



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

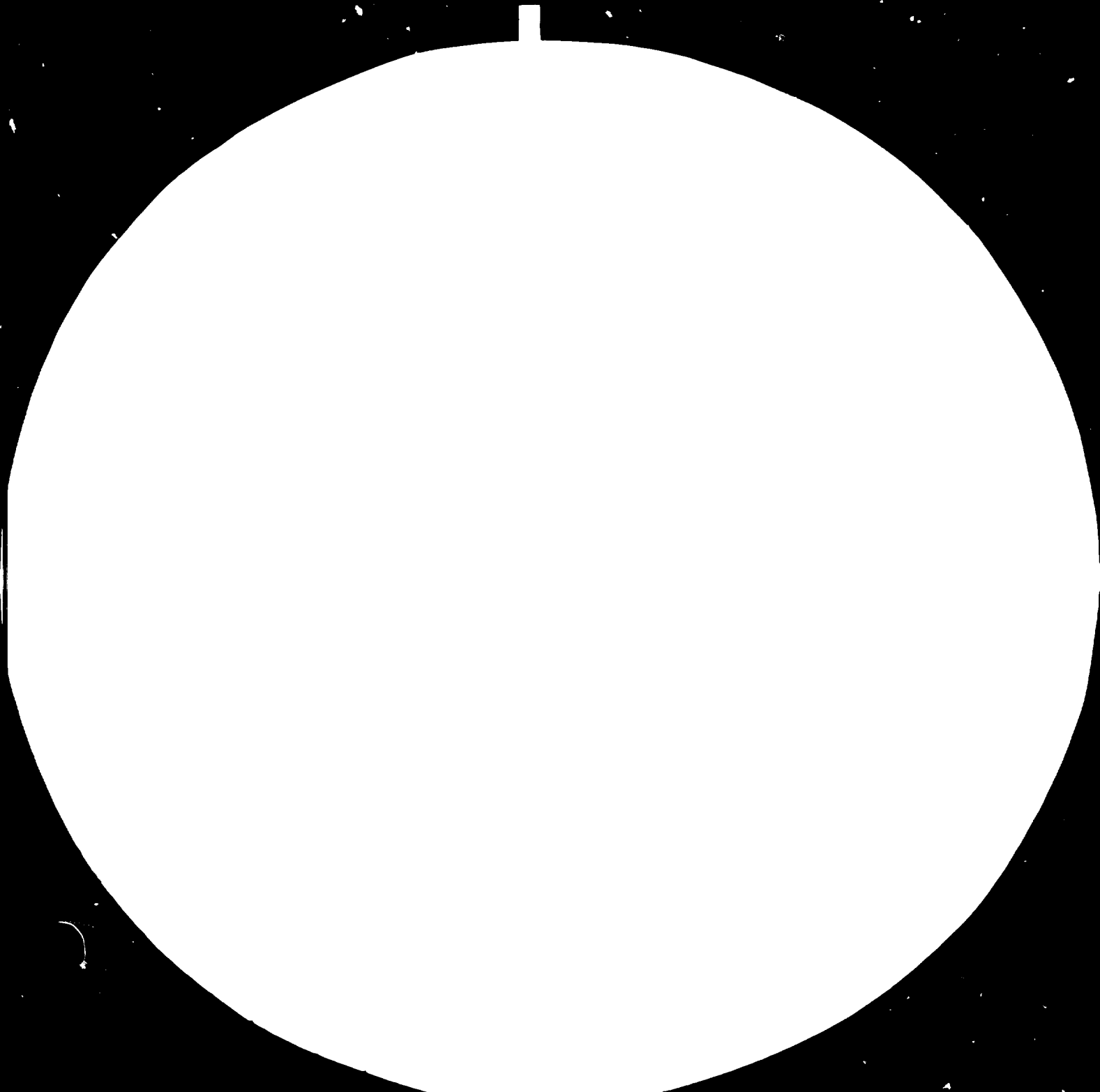
FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

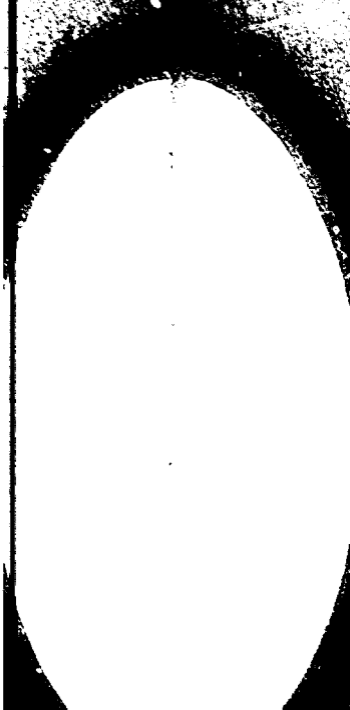




MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)



ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL



**LE SON DE RIZ :
UNE MATIÈRE PREMIÈRE SOUS-UTILISÉE**

**LE SON DE RIZ :
UNE MATIÈRE PREMIÈRE
SOUS-UTILISÉE**



**ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR
LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL**

Vienne, 1987

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, ville ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'ONUDI.

ID/320

PUBLICATION DE L'ONUDI
Numéro de vente : F.84.II.B.3
ISBN 92-1-206150-8
02100P

Préface

Le riz est incontestablement l'un des principaux aliments de l'homme. C'est de loin la plus importante des céréales alimentaires de l'Asie du Sud-Est et de l'Extrême-Orient, et la faveur dont il jouit grandit rapidement en Afrique et en Amérique latine.

La structure du riz est toutefois sensiblement différente de celle des autres céréales communes, et des traitements spéciaux sont nécessaires pour le rendre propre à la consommation. Le paddy est donc la matière première d'une branche importante de l'industrie alimentaire, la rizerie. Dans une rizerie rationnellement exploitée, la production du riz blanc va de pair avec celle de son sous-produit, le son de riz. Or, jusqu'à présent, le son de riz, doté d'une riche teneur en huile, en protéines, en minéraux et en vitamines, n'a pas reçu l'attention que mérite sa qualité de matière première secondaire très précieuse pour la production d'huile végétale et d'aliments de l'homme et des animaux.

De nombreux établissements de recherche nationaux et internationaux ont entrepris de développer la production et le traitement du son de riz et d'ouvrir ainsi la voie à une exploitation industrielle rationnelle. Grâce à leurs efforts, et certainement aussi parce que l'industrie des huiles végétales souffre dans les pays en développement d'une grave pénurie de matières premières, l'emploi du son de riz comme matière première pour la production d'huile végétale et d'aliments protéinés du bétail est en progrès. Il reste toutefois encore beaucoup à faire pour que les industries alimentaires arrivent à tirer de ce sous-produit tout le parti possible et à le faire ainsi contribuer efficacement à l'alimentation humaine, notamment dans les pays en développement.

Le présent ouvrage a été rédigé par MM. S. Barber et C. Benedito de Barber, de l'Instituto de Agroquímica et Tecnología de Alimentos de Valence (Espagne). Il entend fournir à tous ceux qui s'intéressent à la production et au traitement du son de riz des informations détaillées et complètes sur ses propriétés de sous-produit et de matière première. L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUUDI) espère que sa publication apportera une réponse à nombre des problèmes que pose le développement de ce précieux sous-produit.

ABRÉVIATIONS

En plus des sigles, abréviations, signes et termes habituels, on trouvera aussi dans le présent ouvrage :

Abréviations et symboles techniques

CBB	Indice d'équilibre du son coloré
CEM	Méthode d'échange de gaz carbonique
FDND	Fluorodinitrobenzène
AGL	Acides gras libres
HgBPB	Chlorure de mercure — bromophénol bleu
KIST	Korean Institute of Science and Technology
KS	Klett-Summerson
UNP	Utilisation nette de protéines
RAP	Réactif acide périodique
PER	Taux de rendement protéique
HRE	Humidité relative à l'équilibre
tr/min	Tours/minute
sp/g	Spores par gramme
ATB	Acide tiobarbiturique
TDT	Temps de destruction thermique

Organisations

AOCS	American Oil Chemists Society
CFTRI	Central Food Technological Research Institute
IATA	Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos
PPRC	Paddy Processing Research Centre

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Pages</i>
Préface	v
Abréviations	vi
 <i>Chapitres</i>	
I. LE GRAIN DE RIZ, SON USINAGE ET LA PRODUCTION DU SON	1
Le grain de riz, matière première de la production du son	1
Anatomie du grain de riz	1
Histologie du grain de riz	4
Composition chimique du grain de riz	15
L'usinage et la production du son	15
Le traitement	16
Les rizeries et leur matériel	30
 II. PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA STABILISATION DU SON DE RIZ	 50
Valeur et objectif final de la stabilisation	50
Stabilisation et poststabilisation	50
Coexistence de composants précieux et nocifs	50
Destruction des micro-organismes	51
Destruction thermique	51
Destruction des micro-organismes par les rayonnements ionisants	58
Désactivation des enzymes	60
Principes fondamentaux	60
Agents dénaturants (ou désactivants)	61
Désactivation des enzymes par la chaleur	62
Effets de l'activité de l'eau sur l'activité enzymatique	70
Effets du pH sur l'activité et la stabilité enzymatiques	72
Autres agents thermiques de désactivation	75
Lutte contre d'autres composants nocifs du son pendant la stabilisation	76
Perte d'éléments constitutifs utiles du son pendant la stabilisation	77
Moyens de stabiliser le son et stabilité des éléments constitutifs ...	77
Effets des divers moyens de stabilisation sur les éléments constitutifs utiles	78

	<i>Pages</i>
III. MORPHOLOGIE, ANATOMIE, HISTOLOGIE ET HISTO- CHIMIE DES PARTICULES DISCRÈTES DU SON DE RIZ DU COMMERCE	85
Introduction	85
Particules discrètes simples du son du commerce	87
Fragments de glumelles inférieures et supérieures	87
Fragments de glumes stériles	90
Fragments de pédicelle	91
Fragments de péricarpe	91
Fragments de l'albumen amylicé	91
Germe	94
Fibres	118
Particules discrètes composées du son du commerce	118
Fragments de péricarpe avec tégument	118
Fragments de tégument avec assise à aleurone	120
Autres types de particules composées	120
IV. CONTROLE DE LA PRODUCTION DU SON DE RIZ	126
Contrôle des traitements	126
Méthode de mesure du degré d'usinage du riz	127
Contrôle de la production du son	131
Son de riz, fractions de son et sous-produits connexes : terminologie et définitions	136
Facteurs qui déterminent les propriétés du son	139
Facteurs relatifs au riz	140
Facteurs relatifs à l'usinage	150
V. TECHNIQUES DE STABILISATION DU SON DE RIZ	161
Introduction	161
Méthodes de stabilisation	161
Stabilisation chimique	161
Stabilisation physique	163
Stabilisation par la chaleur : une technique très en faveur	167
Critères d'évaluation des méthodes de stabilisation	207
Critères d'évaluation de la stabilité du son traité	208
Critères d'évaluation de la perte de propriétés utiles du son en cours de stockage	212
VI. LE STOCKAGE DU SON DE RIZ	221
Le stockage en pratique	221
Les facteurs qui agissent sur la transformation du son	221
Le rôle de l'eau : isothermes de sorption	222
Température	226
Autres facteurs	227

	<i>Pages</i>
Causes des modifications du son.....	228
Réactions chimiques.....	228
Réactions enzymatiques.....	228
Changements biologiques.....	231
Modifications de la composition et des propriétés du son pendant le stockage.....	236
Couleur, goût et odeur.....	237
Composition chimique moyenne.....	238
Composition et caractéristiques des éléments constitutifs chimiques du son.....	241
ABSTRACT/EXTRACTO.....	259/261

Tableaux

Chapitre premier

1. Dimensions des grains de riz des variétés du commerce.....	3
2. Répartition anatomique de la masse dans le grain de riz.....	3
3. Composition chimique du riz et modifications en cours de traitement.....	15
4. Séparation et récupération à la main du germe dans un séparateur de germes.....	41

Chapitre II

1. Résistance de diverses unités biologiques aux rayonnements ionisants.....	60
2. Méthodes d'analyse pour déterminer les modifications des huiles et graisses.....	80

Chapitre III

1. Types de particules discrètes constatés dans le son du commerce et leur composition anatomique.....	87
2. Répartition des éléments anatomiques du caryopse du riz.....	94
3. Répartition des organes et structures dans les zones histologiques du germe de riz.....	103

Chapitre IV

1. Quantité de son enlevée au riz pendant l'usinage, par pays.....	126
2. Types de son et de fractions de son, terminologie française et espagnole....	137
3. Taille, forme et poids des grains de riz brun du commerce aux Etats-Unis d'Amérique.....	140
4. Statistiques des mesures de l'épaisseur de la couche de son du caryopse du riz.....	143
5. Statistiques des mesures de l'épaisseur de la couche de son en différents points du caryopse.....	144
6. Enlèvement du germe pendant le blanchiment.....	147
7. Effets de l'étuvage sur le poids du germe et sa teneur en huile.....	148
8. Effets de l'étuvage sur la teneur en huile du son.....	150
9. Composition du son obtenu dans une installation du type "huller" et dans une installation à cônes.....	151
10. Composition moyenne du son provenant de différents types de décortiqueurs.....	152

	<i>Pages</i>
11. Effet des différents types de décortiqueurs sur la teneur en huile du son provenant des machines à blanchir	153
12. Répartition par dimension des particules de divers types de son provenant de machines à blanchir	154
13. Composition moyenne du son provenant de machines à blanchir par frottement et par abrasion	154
14. Effet des brisures sur la teneur en huile du son du commerce provenant d'une machine à cône abrasif	155

Chapitre V

1. Essais de compositions chimiques pour la stabilisation du son de riz	164
2. Divers types de traitement thermique pour la stabilisation du son sans addition d'eau	169
3. Conditions de désactivation de la lipase du son par traitement thermique sans addition d'eau	171
4. Effets produits sur la couleur de l'huile par le traitement du son dans le stabilisateur à main	174
5. Cuiseurs à extrusion; effets de la température et du temps de rétention sur la teneur en humidité et l'activité des peroxydases du son de riz	189
6. Capacité de production, température de traitement et consommation d'énergie pendant l'extrusion de son de riz	190
7. Conditions d'étuvage du riz spécifiées pour la qualification du son	194
8. Conditions recommandées pour la stabilisation du son de riz par traitement direct à la vapeur sur lit fixe	196
9. Stabilisation du son de riz par traitement direct à la vapeur sur lit mobile ..	197
10. Stabilisation du son par un prototype industriel du stabilisateur de l'IATA	205

Chapitre VI

1. Moisissures capables de produire des métabolites toxiques dans le son	234
2. Quelques mycotoxines produites par les moisissures et leurs effets pathologiques	235
3. Effets du stockage sur les propriétés sensorielles du son de riz brut	237
4. Effets du stockage sur le rendement et la couleur de l'huile extraite du son par pression	241
5. Teneur en sucre et en humidité du son de riz avant et après stockage	241
6. Effet de l'humidité sur la vitesse de formation des acides gras libres pendant le stockage du son à 35 °C	243
7. Modification de la teneur en moisissures, microbes et acides gras libres pendant le stockage du son traité pendant deux heures en autoclave à 121 °C et séché pendant une heure à 60 °C	247
8. Modifications du compte des moisissures et de la teneur en acides gras libres dans des sons non inoculés stérilisés et dans des sons inoculés par <i>Aspergillus chevalieri</i> pendant le stockage à divers degrés de teneur en humidité	248
9. Capacité de production d'acides gras libres de diverses variétés d' <i>Aspergillus</i> prélevés sur son de riz	249
10. Modification des proportions relatives d'acides gras libres dans le son en cours de stockage	251
11. Résultats d'échantillonnages effectués dans les rizeries espagnoles pour déceler la présence éventuelle d'aflatoxines dans le son et la balle	254

Figures

Chapitre premier

	Pages
1. Grain de riz (paddy, riz brut)	1
2. Coupe transversale de la glumelle inférieure d'un grain de riz	4
3. Coupe histologique transversale de la balle du grain de riz	5
4. Trichome de la balle du grain de riz	6
5. Coupe de la balle du grain de riz	7
6. Histologie du péricarpe du grain de riz	9
7. Coupe du grain de riz montrant l'assise à aleurones	10
8. Détail de l'enveloppe extérieure du grain de riz	12
9. Coupe longitudinale du germe de riz	14
10. Opérations d'une rizerie européenne	16
11. Nettoyeur	18
12. Tamis nettoyeur	19
13. Décortiqueur à meules	20
14. Décortiqueur à rouleaux de caoutchouc	21
15. Séparateur de balle avec "plansifter"	22
16. Séparateur de balle à double effet	23
17. Séparateur de paddy à compartiments	24
18. Séparateur de paddy à plateaux et décortiqueur	25
19. Représentation schématique du blanchiment	27
20. Machine à blanchir	28
21. Machines à blanchir par abrasion et par frottement	29
22. Machine du type "huller" (blanchisseur)	32
23. Installation du type "huller"	35
24. Monobloc de décortiquage et de blanchiment du riz	36
25. Monobloc avec prénettoyeur, élévateur à godet et dispositif d'entraînement	37
26. Usine modernisée comportant un blanchisseur	37
27. Schéma d'un système d'usinage du riz	38
28. Schéma d'une installation d'usinage du riz, avec séparateur de germes	39
29. Procédé de séparation du germe d'avec le son de riz	40
30. Schéma d'un séparateur de germes	40
31. Instrument de laboratoire pour la séparation du germe d'avec le son de riz	41
32. Divers systèmes d'usinages du riz et leur effet sur le son obtenu	45

Chapitre II

1. Représentation à l'échelle linéaire des changements du nombre des micro-organismes survivants après traitement thermique	52
2. Graphique semi-logarithmique montrant le nombre de micro-organismes survivant à un traitement technique en fonction du temps	53
3. Graphique semi-logarithmique de la survie des micro-organismes dans un échantillon à microflore hétérogène naturelle	54
4. Temps de destruction thermique en fonction de la température	55
5. Effet de l'humidité relative sur la désactivation du <i>Bacillus subtilis</i> var. <i>niger</i> à 125 °C	57
6. Courbes montrant la destruction des micro-organismes par les rayonnements ionisants	59
7. Effet de la chaleur sur la stabilité des lipases du son de riz	62
8. Tracés semi-logarithmiques montrant la relation entre désactivation thermique de divers enzymes et la température	63

	<i>Pages</i>
9. Relation entre temps et température dans la désactivation de la lipase c. de la peroxydase du lait	65
10. Désactivation thermique d'une lipase microbiologique (<i>Pseudomonas fluorescens</i>) et fraction thermostable de peroxydase de la pomme de terre en fonction de la température	66
11. Désactivation thermique de la peroxydase du son de riz; effet de la teneur en humidité du son	67
12. Effets des conditions de stabilisation (teneur en humidité, temps et température) sur l'activité de la peroxydase du son de riz	68
13. Effets des conditions de stabilisation (teneur en humidité, temps et température) sur l'activité de la lipase du son de riz	69
14. Désactivation thermique de la peroxydase du son de riz : effet de pH	70
15. Effet de l'activité enzymatique initiale sur l'efficacité du processus de stabilisation, à 12 % d'humidité relative et sous une température de 110 °C	71
16. Relation entre la régénération de la peroxydase du navet et la vitesse de chauffe pendant la désactivation	72
17. Taux d'hydrolyse enzymatique de la lécithine dans un mélange de malt d'orge broyé avec 2 % de lécithine, stocké à 30 °C pour divers niveaux d'activité de l'eau	73
18. Effets de pH sur l'activité enzymatique	73
19. Effet de pH sur la stabilité de la lipase du son de riz	74
20. Taux de désactivation de lipoxydase de fève de soja à pH 4 et pH 7	75
21. Effet du traitement par la vapeur sur le rendement protéique et l'activité de l'inhibiteur de trypsine dans la farine de soja crue	77
22. Effet de la chaleur sur l'activité de l'inhibiteur de trypsine du son de riz en fonction du temps de traitement et de la teneur en humidité du son	78
23. Parcours des pertes d'éléments nutritifs dues aux modifications oxydantes des lipides	79
 <i>Chapitre III</i>	
1. Particules du riz du commerce montrant le caractère hétérogène de la composition	86
2. Coupe transversale de la glumelle inférieure	88
3. Coupe transversale de la glumelle supérieure	89
4. Coupe d'une particule de péricarpe	92
5. Coupe transversale d'une particule d'albumen	93
6. Préparation histologique de son de riz du commerce, montrant la présence de divers fragments de germe	95
7. Coupe transversale du germe du riz	96
8. Coupe transversale du plumule du germe de riz	98
9. Préparation histologique de riz du commerce montrant un fragment de plumule	99
10. Coupe longitudinale de riz, montrant plumule et radicule	100
11. Coupe transversale du radicule du germe de riz	101
12. Coupe longitudinale de l'épithélium du germe de riz	104
13. Détail d'une coupe longitudinale du germe de riz, montrant l'épiderme du coléorhiza et les enveloppes extérieures	105
14. Détail d'une coupe longitudinale du germe de riz, montrant la zone de liaison (suspendeur) entre l'aleurone et le coléorhiza	106
15. Coupe longitudinale du germe de riz	110
16. Coupe longitudinale du germe de riz	111
17. Coupe transversale de l'axe embryonnaire du germe de riz	112
18. Enveloppes extérieures du germe de riz	114
19. Coupe longitudinale du germe de riz, montrant les enveloppes extérieures	115

	<i>Pages</i>
20. Coupe longitudinale du germe de riz	116
21. Coupe longitudinale du germe de riz	117
22. Coupe d'une particule composée de son du commerce	119
23. Préparation histologique de son de riz du commerce, montrant les diverses particules composées.....	121

Chapitre IV

1. Echantillons prélevés sur un même lot de riz, ayant subi divers degrés d'usinage et colorés au réactif de May-Grünwald	130
2. Variation de la teneur en graisse de surface de riz usiné dans diverses machines à blanchir, en fonction du degré d'usinage	131
3. Histogrammes de l'intensité de la pigmentation du son résiduel de grains de riz isolés, à différents stades du blanchiment	133
4. Uniformité de l'usinage du riz à la fin de stades successifs du processus de blanchiment	134
5. Histogramme représentant le pourcentage des zones à son et à aleurone dénudées pour différents degrés de polissage	142
6. Saillies dues à l'usinage	143
7. Résistance à l'abrasion pendant l'usinage de différentes variétés et de différents lots de riz brun	145
8. Modifications de la résistance à l'abrasion pendant le stockage d'un riz brun traité dans une usine différentielle.....	146
9. Paries du caryopse séparées sous forme de son pendant le blanchiment	147
10. Teneur en huile de fractions successives de son extraites de riz brut et étuvé	149

Chapitre V

1. Changements de la teneur en acides gras libres pendant le stockage de son traité pendant deux heures à 110 °C	170
2. Stabilisateur à main	174
3. Stabilisateur chauffé indirectement par les gaz de combustion de la balle....	176
4. Schéma d'un processus de stabilisation chauffé indirectement par les gaz de combustion de la balle	177
5. Désactivateur de son associé à un refroidisseur	177
6. Stabilisateur de l'Institut central de recherche technique sur l'alimentation de Mysore	178
7. Stabilisateur à air chaud associé à un brûleur de balle	180
8. Stabilisateur de son	182
9. Séchage par transporteur pneumatique	183
10. Stabilisateur de son de riz à lit fluidisé avec agitateur	184
11. Stabilisateur à lit fluidisé à phases combinées	185
12. Cuiseur à extrusion bon marché; profil des températures	188
13. Cuiseur à extrusion; pertes d'humidité du son de riz à différentes températures.....	189
14. Cuiseur à extrusion; désactivation de la peroxydase à diverses températures	191
15. Stabilisateur à vapeur direct, avec séchoir et refroidisseur	199
16. Stabilisateur de son en cours de montage.....	200
17. Autre type de stabilisateur	201
18. Stabilisateur élaboré par l'Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), agissant directement par la vapeur sur lit fluidisé avec séchoir et refroidisseur	202
19. Stabilisateur de l'IATA	203
20. Stabilisation du son de riz dans un prototype industriel : rétention et temps nominal de maintien en fonction du débit du son	204

	<i>Pages</i>
21. Cuiseur à extrusion à injection directe de vapeur et d'eau chaude	206
22. Cuiseur à extrusion expérimental à injection directe de vapeur	207

Chapitre VI

1. Liens d'hydrogène entre l'eau et divers groupes fonctionnels	223
2. Isothermes de sorption et de désorption caractéristiques du son de riz	223
3. Courbe de sorption montrant la présence d'eau solvante	225
4. Isothermes de désorption pour le blé à différentes températures	226
5. Hydrolyse des glycérides catalysées par la lipase.....	229
6. Taux de réaction en fonction de l'activité de l'eau dans les produits alimentaires	230
7. Décomposition des hydroperoxydes résultant de l'oxydation des lipides	231
8. Effet de la température et de l'humidité relative sur certaines moisissures ...	232
9. Limites générales de température et d'humidité relative de la multiplication des espèces biologiques	233
10. Profil des composés volatils du son de riz peu après la production et stocké pendant 50 jours à -20 et +25 °C	239
11. Effets du stockage sur la teneur en huile du son de riz brut et étuvé	240
12. Effets de l'humidité sur la formation des acides gras libres pendant le stockage du son de riz à 30 °C	242
13. Effets du stockage à 25 °C et à divers degrés d'humidité relative sur la formation d'acides gras libres dans le son	243
14. Effets du stockage à différentes températures sur la formation d'acides gras libres dans le son de riz.....	244
15. Formation d'acides gras libres dans l'huile neutre de son de riz après addition de son	245
16. Variation des acides gras libres pendant le stockage de son provenant du premier et du second cône	246
17. Modification de la teneur en acides gras libres et infestation par les insectes pendant le stockage du son	249
18. Evolution des acides gras libres en cours de stockage de son provenant du premier et du second cône de blanchiment	250
19. Evolution de l'acidité dans le son et le germe de riz pendant le stockage à 30 °C.	252

I. Le grain de riz, son usinage et la production du son

Le grain de riz, matière première de la production du son

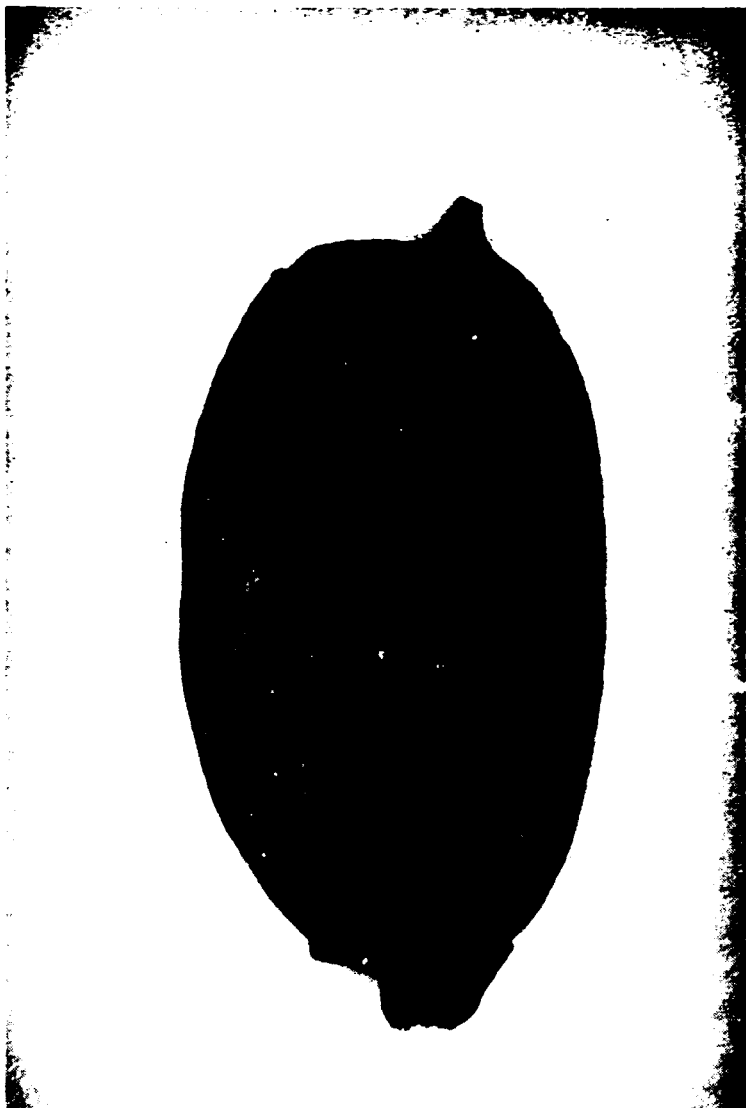
Anatomie du grain de riz

Le grain de riz ou paddy (voir figure 1) se compose du caryopse (riz décortiqué ou riz brun) et des éléments qui lui sont associés — glumelle inférieure, glumelle supérieure, rachéole, glumelle stérile et barbe [1], dont l'ensemble constitue la balle. La rachéole se trouve à l'extrémité inférieure et est séparée du pédicelle par une assise d'abscission; au-dessus de la rachéole se trouvent deux glumelles stériles ("glumes stériles", "glumes externes") avec deux glumes florifères, l'inférieure et la supérieure, qui enveloppent le caryopse. Les deux glumes stériles, qui peuvent être de longueur et de forme différentes, sont plus courtes que les glumelles inférieure et supérieure. La glumelle inférieure, située sur la face ventrale du caryopse et couvrant le germe, a cinq faisceaux vasculaires. Elle est plus longue, plus large et d'une épaisseur plus uniforme que la glumelle supérieure (0,1 mm environ) mais un peu plus petite. La glumelle supérieure, située sur la face dorsale du caryopse, a trois faisceaux vasculaires. Ses bords ont un lodicule qui assure un contact hermétique avec la glumelle inférieure [2]. Les glumelles inférieure et supérieure se terminent par une protubérance ou apicules comportant, chez la glumelle inférieure, un prolongement filiforme, la barbe ou apex. La surface extérieure des glumelles est recouverte de nombreux trichomes, mais on a obtenu des variétés sans poils avec peu ou pas de trichomes [2, 3]. La balle et le grain sont séparés par un espace dont la largeur diffère selon les variétés, ce qui explique peut-être en partie pourquoi le décortilage est plus difficile dans certains cas que dans d'autres [4].

Pendant le battage, le grain se sépare normalement du pédicelle au niveau de l'assise d'abscission. Dans certaines variétés, toutefois, la séparation peut avoir lieu lors de la rupture du pédicelle lui-même [1]. Le riz une fois décortiqué, le caryopse est à découvert. Son fruit est ovoïde, allongé ou arrondi, et se compose en grande partie de grain [5] dont la surface est garnie d'arêtes correspondant aux côtes des glumelles inférieure et inférieure et supérieure [1]. La couche extérieure du caryopse comprend le péricarpe, qui enveloppe et protège la graine à laquelle il est solidement fixé. Juste au-dessous du péricarpe se trouve le tégument du grain¹; viennent ensuite l'assise à aleurones et l'albumen amylicé.

¹Le tégument est parfois dénommé à tort testa (tégument externe). La testa provient des téguments internes de l'ovule qui est détruit avant que le caryopse arrive à maturité. Le tégument constitue les couches cellulaires internes des téguments internes de l'ovule [1].

Figure 1. Grain de riz (paddy, riz brut)



Le germe est logé dans un creux situé au bas de la région abdominale du grain et adhère à l'albumen. Il est recouvert par l'assise à aleurones, le tégument, le péricarpe et enfin la gaine inférieure.

C'est en partant de la morphologie du grain et d'autres caractéristiques (répartition géographique, morphologie de la plante, stérilité des hybrides et réaction sérologique) que l'on a classé le riz cultivé en trois sous-espèces : *indica*, *japonica* et *javanica*. Le grain de la première est mince et assez plat; celui de la seconde court et arrondi; celui de la dernière large et épais [1].

Longueur et forme (rapport longueur/largeur) des grains de riz cultivé présentent des différences marquées, qu'ils soient ou non décortiqués ou traités (voir tableau 1). Ces différences ont permis d'établir un classement des riz par qualités, qui a été inséré dans les lois réglementant le marché du riz.

Dans le riz cultivé, les proportions des divers éléments anatomiques du grain présentent elles aussi des différences (voir tableau 2).

TABLEAU 1. DIMENSIONS DES GRAINS DE RIZ DES VARIÉTÉS DU COMMERCE^a

(En millimètres)

Type de riz	Longueur	Largeur	Épaisseur
Usiné : grain long	6,7-7,0	1,9-2,0	1,5-1,7
grain moyen	5,5-5,8	2,4-2,7	1,7-1,8
grain court	5,2-5,4	2,7-3,1	1,9-2,0
Brun : grain long	7,0-7,5	2,0-2,1	1,6-1,8
grain moyen	5,9-6,1	2,5-2,8	1,8-2,0
grain court	5,4-5,5	2,8-3,0	2,0-2,1
Paddy : grain long	8,9-9,6	2,3-2,5	1,8-1,9
grain moyen	7,9-8,2	3,0-3,2	1,9-2,1
grain court	7,4-7,5	3,1-3,6	2,1-2,3

Source : Webb [6].

^aBhattacharya (1974) [7] donne des gammes de valeurs plus étendues : longueurs de 10,84 mm pour le paddy et de 3,99 mm pour le riz usiné; largeurs de 2,28 mm pour le paddy et de 1,71 mm pour le riz usiné; épaisseurs de 1,59 mm pour le paddy et de 1,43 mm pour le riz usiné.

TABLEAU 2. RÉPARTITION ANATOMIQUE DE LA MASSE DANS LE GRAIN DE RIZ

Élément anatomique	Pourcentage de la masse
Balle	17-22 ^a
Péricarpe	1-2 ^b
Aleurones et tégument du grain	4-6 ^b
Albumen amylicé	89-94 ^b
Germe	2-3 ^b

^aGammes de valeurs les plus fréquentes.

^bJuliano [8].

Histologie du grain de riz²

Balle

Les structures histologiques des deux glumes florifères se ressemblent mais présentent quelques différences; par exemple la région de la côte principale est plutôt plus épaisse et les cellules épidermiques sont un peu plus petites dans la glumelle supérieure que dans la glumelle inférieure. L'épaisseur moyenne est de 120 μm environ [2].

Une coupe de l'une ou l'autre des glumes florifères permet de distinguer quatre couches : l'épiderme externe, le sclérenchyme, le parenchyme et l'épiderme interne (voir figure 2) [2, 3]. L'épiderme externe présente une surface sinueuse et côtelée constituée par des cellules épithéliales allongées radicalement, à parois épaisses, ridées, présentant des creux profonds et disposées

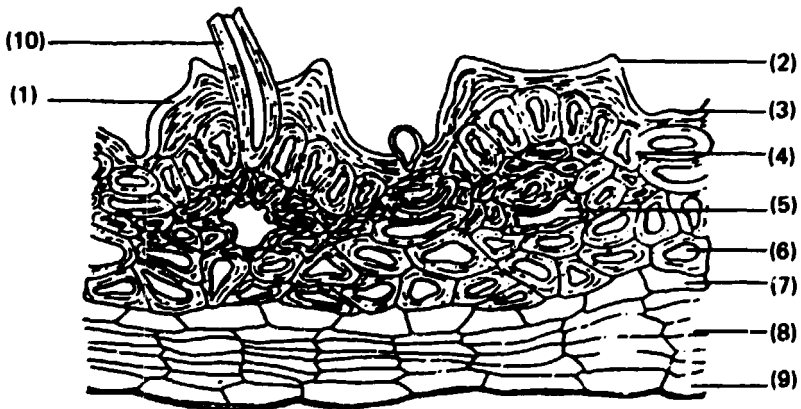
Figure 2. Coupe transversale de la glumelle inférieure d'un grain de riz
(Grossi 140 fois, coloré à la safranine phénolique)



²Les dimensions indiquées ici peuvent être influencées par la technique de préparation de l'échantillon, et il faut tenir compte de cette éventualité.

axialement en rangées. Des préparations histologiques d'échantillons trempés dans l'acide nitrique et le chlorate de potasse ont permis de constater que la longueur des cellules épithéliales de la glumelle supérieure varie de 30 à 80 μm et leur largeur de 20 à 100 μm , que la longueur de celles de la glumelle inférieure varie de 60 à 90 μm et leur largeur de 50 à 120 μm [2]. Les trichomes sont répartis uniformément entre ces cellules. Ils percent à l'extérieur en traversant la couche de cutine-silice et, à l'intérieur, pénètrent jusqu'au sclérenchyme (voir figure 3). Les trichomes (voir figure 4) sont coniques, transparents, incolores, creux et unicellulaires; leur taille dépend de la variété de riz et de leur emplacement sur le grain (ceux de la région dorsale sont plus longs que ceux des surfaces latérales). Leurs parois sont plus épaisses à la base; avec le temps, elles s'épaissent encore et la cavité rapetisse [2]. Le sclérenchyme est constitué par deux ou trois couches de cellules (celles des préparations histologiques d'échantillons trempés mentionnés plus haut mesurent de 150 à 600 μm à parois angulaires très épaisses (de 4 à 5 μm). La couche parenchymateuse, d'épaisseur variable, se compose de deux à quatre couches de cellules spongieuses [9], soit tangentiellement allongées, à parois épaisses et sinueuses, soit courtes, à parois minces [2]. Elles ont de 20 à 30 μm de longueur et de 10 à 15 μm de largeur [9]. Les cellules parenchymateuses sont soit tubulaires, soit cruciformes [3, 10]. Les faisceaux vasculaires sont situés entre les couches sclérenchymateuse et parenchymateuse. Ceux de la glumelle supérieure, et notamment le faisceau central, sont plus différenciés que ceux de la glumelle inférieure. L'épiderme interne, épais de 6 à 12 μm [9], est constitué

Figure 3. Coupe histologique transversale de la balle du grain de riz
(Grossi 400 fois)

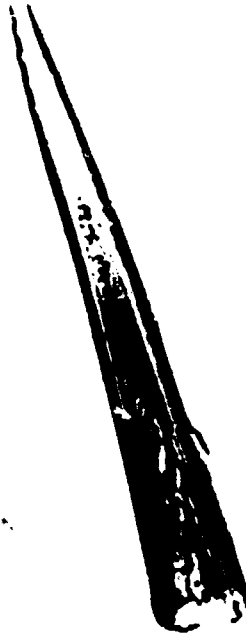


Légende :

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Cuticule | 6. Fibres sclérenchymateuses |
| 2. Apex de la couverture siliceuse | 7. Cellules tubulaires |
| 3. Bandes siliceuses longitudinales | 8. Cellules longitudinales |
| 4. Epiderme externe | 9. Epiderme interne |
| 5. Cellules sclérenchymateuses ramifiées | 10. Poils (trichomes) |

Source : Angladette [10].

Figure 4. Trichome de la balle du grain de riz
(Grossi 800 fois; coloré à la safranine phénolique)



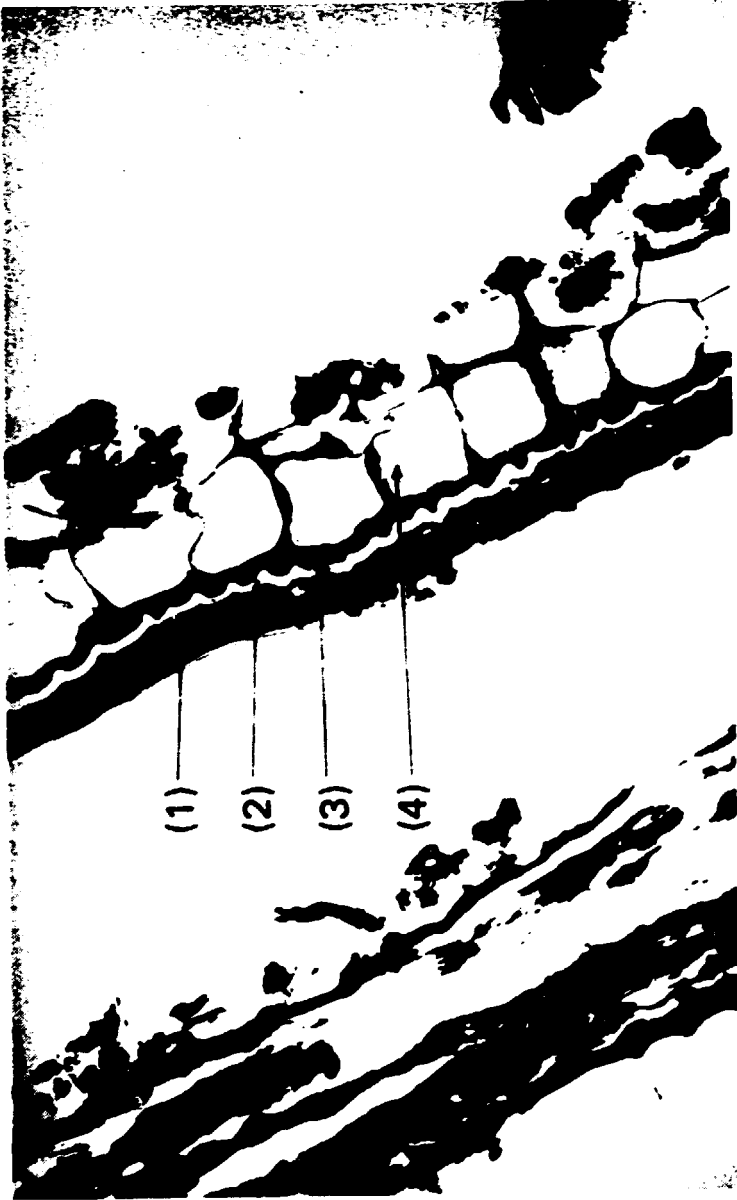
par quelque trois couches de cellules de diamètre uniforme, à parois très minces et lumen vide; ces couches sont fermement comprimées et il est difficile de les différencier [2, 10].

La structure histologique des glumes stériles est plus simple que celle des glumes florifères. Elles sont en forme de bateau, pointues à l'avant et arrondies à l'autre extrémité qui touche à la rachéole. La longueur de la côte peut aller de 3,35 à 1,75 mm [9]. La coupe transversale des glumes stériles se compose d'une couche cellulaire épidermique extérieure et d'une autre couche intérieure constituée par des cellules rectangulaires, allongées tangentiellement, à parois épaisses. Entre ces couches se trouvent deux ou trois autres couches de cellules parenchymateuses dont certaines sont allongées, à parois épaisses et ondulées et d'autres courtes, à parois minces; dans la région de la côte, la surface est peu différenciée [2].

Couverture du caryopse

La couverture du caryopse se compose de trois couches : le péricarpe, le tégument et la nucelle (voir figure 5). Les tissus du péricarpe sont parfois

Figure 5. Coupe de la balle du grain de riz
(Grossi 925 fois, coloré au réactif périodique acide RAP de Schiff)



Légende :
1. Péricarpe 2. Cuticule lipide 3. Vestiges de tégument interne et de nucelle 4. Cellules d'aleurone

fortement comprimés et il est difficile de distinguer les couches qui les composent. Dans certaines variétés [8, 11], ils comportent plusieurs couches de cellules (voir figure 6). Les différences que présentent leurs caractéristiques morphologiques permettent de les subdiviser en cellules épidermiques, hypodermiques, transversales et tubulaires. L'épiderme consiste en une couche de cellules allongées transversalement à parois côtelées recouvertes d'un cuticule, mesurant de $5 \times 3 \mu\text{m}$ à $20 \times 10 \mu\text{m}$ [9]. L'hypoderme est constitué par plusieurs couches de cellules parenchymateuses en partie aplaties, à parois droites et allongées transversalement, dont les dimensions vont de $5 \times 12 \mu\text{m}$ à $15 \times 80 \mu\text{m}$ (voir figure 6). Une coupe longitudinale permet de constater la présence de deux à cinq couches de cellules transversales ou croisées, allongées perpendiculairement à l'axe principal du grain, larges de $6 \mu\text{m}$ et épaisses de 1 à $2 \mu\text{m}$ environ. En coupe transversale elles ont l'aspect de pointes (voir figure 6). Ces cellules sont très nombreuses; l'ensemble des cellules parenchymateuses et transversales constitue un tissu qui ressemble un peu à un grillage. La couche la plus interne se compose de cellules tubulaires allongées et d'une forme à peu près cylindrique, au diamètre de 3 à $5 \mu\text{m}$. Le péricarpe des deux variétés *Oryza sativa* cv. Caloro et *Oryza sativa* cv. Labelle a récemment fait l'objet de mesures qui ont donné une épaisseur de $10 \mu\text{m}$ environ [12]. Immédiatement au-dessous du péricarpe se trouve le tégument, qui comprend : a) le cuticule gras; b) le spermoderme du côté le plus proche du péricarpe; c) le péricarpe du côté de l'assise à aleurones. Le cuticule peut avoir $1 \mu\text{m}$ ou davantage d'épaisseur et est parfois discontinu [9, 13]. Le tégument est plus mince au voisinage du germe que près de l'endosperme. Dans les variétés à grain court (Balilla X Sollana), on a constaté des épaisseurs de $0,8-1,5 \mu\text{m}$ et $1,5-2,3 \mu\text{m}$ respectivement [14]. Le cuticule de la région du germe est lui aussi plus mince ($0,5 \mu\text{m}$ environ) [12]. Derrière le tégument, entre ce dernier et l'assise à aleurone, se trouve le nucellus, composé d'un cuticule extérieur épais ($0,8 \mu\text{m}$) et d'une couche de cellules nucellaires aplaties, au voisinage du germe [12]. Ces cellules vides, réduites à une simple paroi, sont disposées en rangées et forment une membrane mince mais solide [1, 15]. Dans certains cas, le nucellus du caryopse du riz mûr n'a pu être découvert alors que dans d'autres il ne se présente que sous la forme d'un cuticule [12, 14].

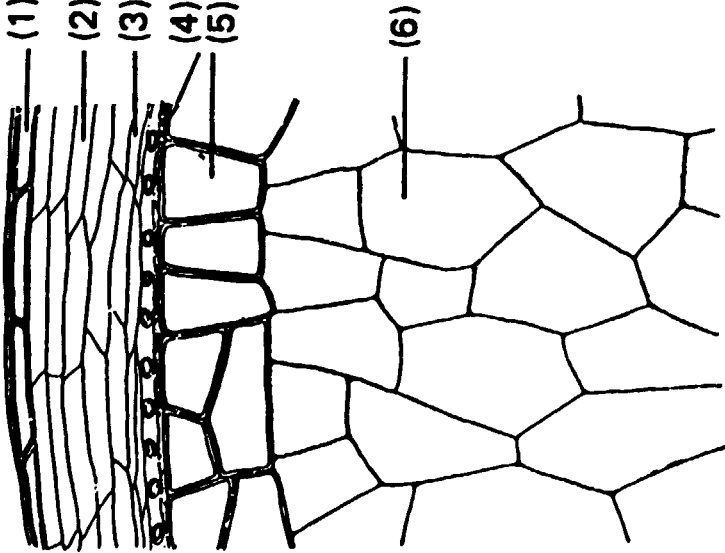
L'assise à aleurones

Botaniquement parlant, l'assise à aleurone fait partie de l'endosperme où elle prend naissance (voir figure 7). Elle est située au-dessous de la couche nucellaire et enveloppe l'albumen amylicé et le germe auquel elle est attachée, excepté au voisinage immédiat du scutellum et du coleorhiza (voir plus loin, sous "Germe"). L'épaisseur et le nombre des cellules de l'assise à aleurones varient selon la variété du grain, la région de culture et les conditions dans lesquelles elle s'effectue [15, 16, 17].

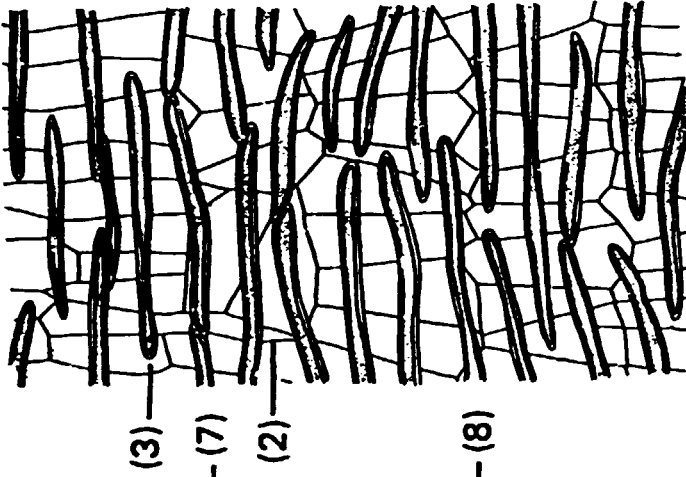
L'assise comprend deux types différents de cellules, l'un autour de l'albumen amylicé et l'autre autour du germe [12, 14]. Les cellules qui entourent l'albumen sont le plus souvent polygonales; celles de la face ventrale sont des rectangles presque parfaits et celles de la face dorsale des hexagones irréguliers [13, 16]. Ce sont des cellules vivantes nucléées parenchymateuses [5].

Figure 6. Histologie du péricarpe du grain de riz

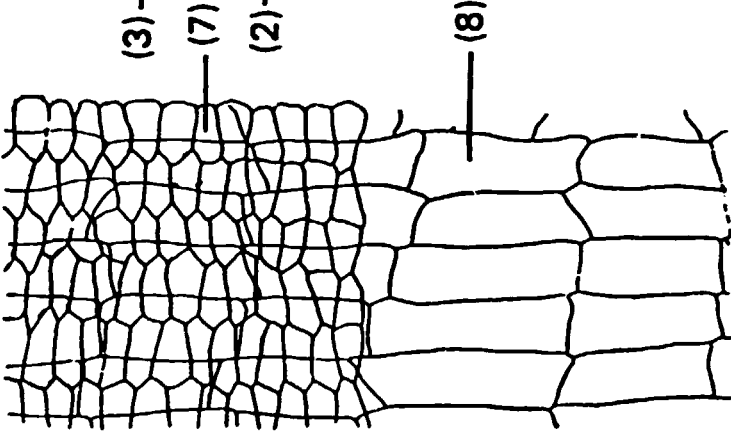
A. Structure générale du péricarpe
(Grossi 200 fois)



C. Coupe transversale du mésocarpe
(Grossi 200 fois)



B. Coupe longitudinale du mésocarpe
(Grossi 200 fois)



Légende :

- 1. Epicarpe
- 2. Mésocarpe

- 3. Endocarpe
- 4. Couche hyaline

- 5. Assise à aleurone
- 6. Albumen amylicé

- 7. Cellules tubulaires
- 8. Cellules longitudinales

Figure 7. Coupe du grain de riz montrant l'assise à aleurones
(Grossi 765 fois; coloré au Soudan noir)



mesurant approximativement de 15 à 30 μm , à parois d'épaisseur uniforme (2 μm environ) [9, 13, 14]. Dans le cytoplasme des cellules, on a constaté la présence de granules d'aleurone, de "corps gras", de plastides, de mitochondries, de microcorps, de vésicules et de réticules endoplasmiques [12].

Les granules d'aleurones sont sphériques, au diamètre de 1 à 3 μm [18, 19] et se composent d'au moins deux éléments constitutifs : une particule à haute teneur phytinique qui est le noyau du granule de protéine et le revêtement environnant, composé de protéines et d'hydrates de carbone [20]. Le noyau du granule, qu'on a proposé d'appeler "particule" ou "corps phytinique" a récemment été isolé [20]. L'acide phytinique s'accumule dans la particule d'aleurone [21] ou, plus précisément, dans la particule phytinique [20]. Ce fait a été démontré en employant la micro-autoradiographie pour suivre la répartition du ^3H -*myo*-inositol administré aux grains de riz pendant leur maturation. ^3H se manifeste exclusivement dans les granules d'aleurone. Les différences entre les granules d'aleurones et les corps protéiniques de l'albumen sont particulièrement marquées en ce qui concerne : a) l'emplacement, car les premières se trouvent dans l'aleurone et les seconds dans l'albumen; b) la composition, car les granules d'aleurone ont une forte teneur en phosphore (12 %) et une faible teneur en protéine (11,7 %) alors que les corps protéiques contiennent peu de phosphore (0,5 %) et une forte teneur en protéine (60 %); c) la structure, car, au microscope électronique, on constate que les corps protéiques sont stratifiés alors que les granules d'aleurones présentent des corps riches en électrons [18].

Les cellules de l'assise à aleurones qui entourent le germe sont beaucoup plus aplaties (3-5 μm) (voir figure 8A) que dans la région de l'albumen (15-20 μm) (voir figure 8B) surtout au voisinage du plumule [14]. Le cytoplasme de l'assise à aleurones qui entoure le germe est moins compact que dans la région de l'albumen amylicé; les granules d'aleurones sont absentes, les corps gras sont plus rares et plus petits, les vésicules sont nombreuses, les mitochondries et les plastides sont épars dans le cytoplasme et l'on peut voir des fibres minuscules, d'une épaisseur de 0,0125 μm et d'une longueur atteignant 2 μm . A la place des granules d'aleurones, on a constaté la présence d'autres structures protéiques (peut-être des corps protéiques) [12].

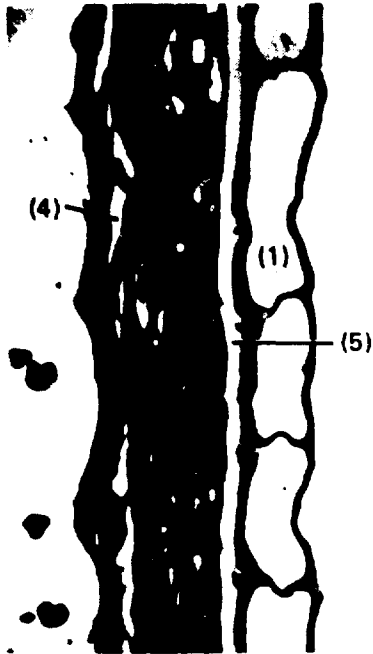
L'albumen amylicé

L'albumen amylicé est entouré par l'assise à aleurones, sauf dans sa partie ventrale inférieure où il est en contact direct avec le grain. Il est constitué par des cellules parenchymateuses à parois minces, mesurant en moyenne 0,25 μm . La disposition des cellules est la même dans toutes les variétés : des petites cellules sont disposées comme des pavés autour d'un noyau central et les cellules plus grandes sont en rayons. Leur forme diffère elle aussi selon leur emplacement dans le grain. Celles de la partie centrale sont arrondies et polygonales (elles mesurent de 45 \times 50 μm à 80 \times 105 μm). Les cellules adjacentes sont plus grandes et de diamètre uniforme, plutôt allongées ou légèrement aplaties radialement. Les cellules situées dans la zone dorsale ou

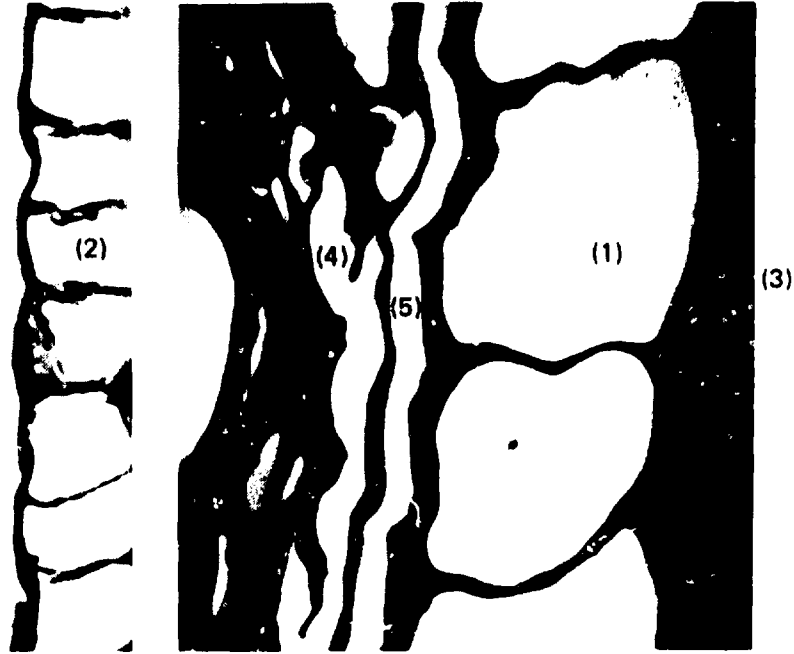
¹Egalement appelés "corps lipides" mélangés mécaniquement pour former un corps unique plus vaste [12].

Figure 8. Détail de l'enveloppe extérieure du grain de riz
(Grossi 2 220 fois)

A. Dans la zone du germe



B. Dans la zone de l'albumen adjacente au germe



Légende :

1. Assise à aleurones 2. Coléoptile 3. Albumen 4. Péricarpe 5. Tégument

Source : Barber, Navarro et Tortosa [14].

ventrale proche du noyau sont de forme variable notamment radialement [13]. On a fait observer que le riz cultivé peut avoir de 12 à 22 cellules dans le rayon dorsal, de 10 à 18 dans le rayon ventral, de 10 à 17 dans le rayon latéral et de 103 à 256 cellules dans le diamètre longitudinal [8, 22, 23].

On peut distinguer dans l'albumen amylicé la région subaleurone et la région de l'albumen central. La première possède un nombre relativement faible de granules d'amidon composés de forme ovaie. Les granules sont polyédriques et très petits (2 à 4 μm). On trouve également de minuscules granules d'amidon près du germe [13]. Les granules d'amidon sont entourés de corps protéiques [24, 25] qui peuvent être sphériques, au diamètre de 1 à 2 μm , avec des centres denses et des anneaux concentriques ou des faces radiales, sphériques mais plus petits (0,5-0,75 μm de diamètre), sans centres denses mais avec des anneaux concentriques ou des faces radiales, ou bien ronds, cristallins et constitués par de petites unités angulaires d'un diamètre de 2 à 3,5 μm [26]. La région centrale de l'albumen se compose en grande partie de granules d'amidon polyédriques (5 à 9 μm) plus grands que ceux qu'on trouve dans la couche subaleurone [13]. La dimension des granules peut varier considérablement (de 0,3 à 13 μm) [27]. Les granules composés sont également de dimension variable (de $12 \times 10 \mu\text{m}$ à $20 \times 10 \mu\text{m}$ dans la variété Bahia à grain court) [9]. Chaque granule d'amidon est entouré de matériau protéique logé dans de petits sacs. On trouve également des protéines dans la partie centrale de l'albumen; les seuls qu'on ait pu déceler jusqu'à présent sont semblables aux corpuscules sphériques de 1 à 2 μm qu'on trouve dans la couche subaleurone [26]. La région subaleurone contient un grand nombre de corps protéiques mais il y en a peu dans la partie centrale de caryopse [28].

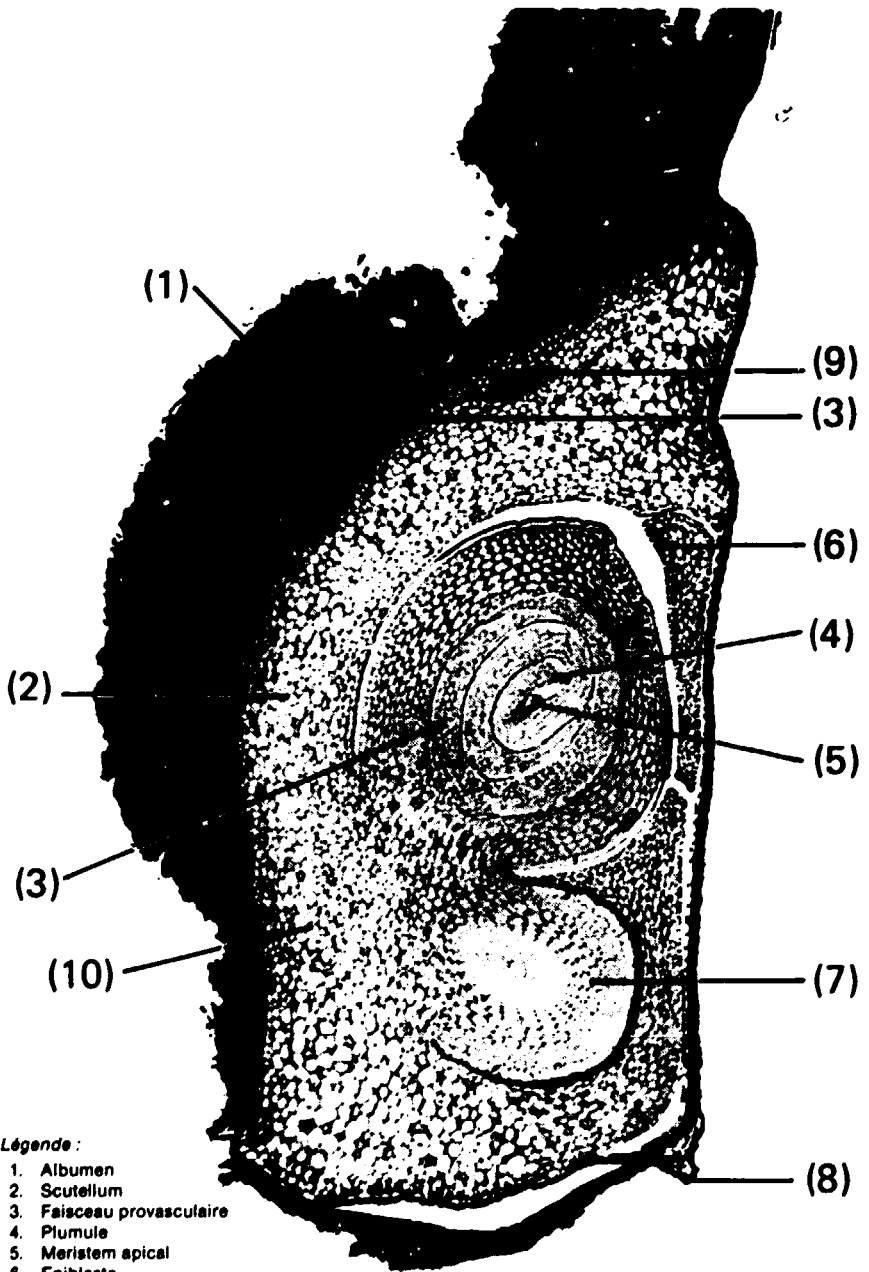
Le germe

Le germe est logé dans un creux de la région ventrale à la base du caryopse, près de l'endroit où le grain est attaché à l'épi. Il est recouvert par l'assise à aleurones sur sa face extérieure et par l'albumen amylicé sur la face interne. Il est relié à l'albumen par une couche de cellules aplaties, pauvres en protoplasme, à parois minces. La couche est d'une épaisseur variable et se présente comme une masse amorphe où l'on distingue difficilement les cellules. Lorsqu'on sépare à la main le germe du caryopse, la couche reste en partie attachée au germe. Les cellules aplaties proviennent de l'albumen et ont dégénéré pendant la maturation du grain, perdant ainsi leur contenu. Le germe, de dimension variable, a une forme lenticulaire, avec une quille extérieure longitudinale. Dans la variété de *japonica* Ballila X Sollana, le germe mesure 2,12 \times 0,91 \times 1,45 mm et le grain 6,03 \times 3,25 \times 2,28 mm (14).

Le germe présente une différenciation histologique considérable et sa structure anatomique est complexe (voir figure 9). Il consiste en un axe embryonnaire en forme de L comprenant la radicule, le plumule, l'hypocotyle et le coléoptile; c'est de lui que partent le scutellum, l'épiblaste, le coléorhiza et le calypstre.

Comme le germe se retrouve entier et intact dans le son, dont il est un des principaux composants physiques, nous décrirons plus complètement sa structure histologique au chapitre III qui traite dans le détail de l'histologie du son.

Figure 9. Coupe longitudinale du germe de riz



Légende :

1. Albumen
2. Scutellum
3. Faisceau provasculaire
4. Plumule
5. Meristème apical
6. Epiblaste
7. Radicule
8. Crête
9. Glande épithéliale
10. Coléorhiza

Composition chimique du grain de riz

Pour que le riz puisse servir d'aliment, il faut normalement usiner le paddy pour en séparer d'abord la balle (décorticage) et ensuite le son (blanchiment). Bien que la seule partie véritablement immangeable soit la balle, la séparation d'avec le son rend le riz plus consommable et en améliore la couleur, et le consommateur apprécie ces deux propriétés. Ce changement est dû aux différences considérables de composition chimique et de propriétés physiques qui séparent les composants anatomiques du grain. Le décorticage et le blanchiment entraînent des modifications sensibles de la composition chimique du riz (voir tableau 3). Pendant le décorticage, les changements les plus marqués se produisent dans la fibre brute (~90 % de perte); pendant le blanchiment, les principaux changements intéressent la graisse (~75 % de perte) et la fibre (~70 % de perte). Ces modifications varient considérablement selon la variété de riz, son origine, l'historique de l'envoi et l'usinage, mais elles sont toujours importantes.

La comparaison entre les données sur la composition chimique du riz et celles qui concernent les matières qui restent lorsque l'on transforme le paddy en riz comestible fait apparaître aussitôt l'importance de l'usinage et de ses sous-produits.

Juliano [8, 29], Barber [30] et Kennedy [31] ont donné des descriptions détaillées de la composition chimique du riz et de ses éléments constitutifs.

L'usinage et la production du son

Il n'existe pas de publication entièrement consacrée à l'étude exhaustive de l'usinage du riz. Le grain, les machines, les conditions de travail et leurs effets sur le grain et ses sous-produits, l'entretien, la gestion et l'administration sont des sujets qu'il faut traiter un par un de façon scientifique et technique, en tenant compte des multiples aspects d'une telle étude qui doit porter sur un terrain plus vaste que celui de la simple pratique industrielle. D'excellents travaux ont toutefois été faits récemment dans certains domaines limités, notamment par Gariboldi [32], Araullo, de Padua et Graham [33] et Spadaro, Matthews et Wadsworth [34].

TABLEAU 3. COMPOSITION CHIMIQUE DU RIZ ET MODIFICATIONS EN COURS DE TRAITEMENT

(En pourcentage)

Paddy	Teneur relative en			Modification pendant	
	Paddy	Riz brun	Riz usiné	Le décor- ticage	Le blan- chiment
Protéines	9,24	10,12	8,38	+8,55	-17,19
Graisse	2,11	2,38	0,63	+6,16	-73,53
Fibre brute	8,84	0,91	0,29	-89,71	-68,13
Cendre	3,35	1,19	0,55	-64,47	-53,78
Extrait exempt d'azote	76,44	85,30	90,10	+11,59	+5,62

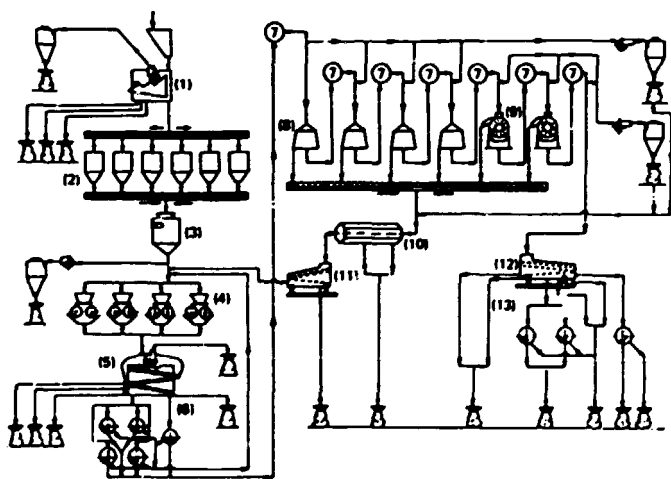
On traite toujours le paddy pour le transformer en grain propre à la consommation. Personne ne traite le riz uniquement pour produire du son. C'est pourquoi les procédés de traitement portent entièrement sur le grain; il faut s'assurer qu'il ne perd rien de ses qualités et qu'il gagne en apparence; en bref, il s'agit d'obtenir un produit fini présentant un maximum de valeur commerciale. Cet objectif n'exclut pas la possibilité de produire du son de qualité, mais les principes essentiels et les particularités du procédé risquent d'être négligés, ce qui compromettra plus tard l'emploi du son. D'ailleurs, en se familiarisant avec les procédés de séparation du son, on obtient à coup sûr un perfectionnement du traitement du riz et une amélioration de la qualité du produit final.

Nous nous attachons expressément ici à la production du son considérée comme faisant partie de l'usinage du riz. Après une brève description du procédé, nous décrivons les divers types de matériel employé et leur fonctionnement, les caractéristiques que présente le riz une fois que le son en a été séparé, enfin les effets des diverses machines et opérations sur la quantité et la qualité du son produit.

Le traitement

Les étapes essentielles du traitement du riz sont a) le nettoyage; b) le décortiquage; c) le blanchiment et d) le classement. Le schéma de la figure 10 montre le déroulement des opérations.

Figure 10. Opérations d'une usinerie européenne



Légende :

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Nettoyage | 8. Cônes à blanchir |
| 2. Silos régulateurs de l'alimentation | 9. Cônes à polir |
| 3. Bascules | 10. Séparateur de son |
| 4. Décortiqueur à rouleaux de caoutchouc | 11. Séparateur de germes |
| 5. Séparateur de balle | 12. Séparateur de grains entiers |
| 6. Séparateur | 13. Triage des brisures |
| 7. Aspiration | |

Le nettoyage

A l'usine, le paddy est nettoyé afin d'éliminer tous les corps étrangers y compris la paille, la terre, les cailloux, les ficelles, les particules métalliques et les graines étrangères. Bien que le paddy ait subi un nettoyage préalable avant d'être séché et emmagasiné, il peut encore contenir des impuretés à son arrivée à l'usine. Le nettoyage repose sur les différences de dimension, de forme ou de poids que présentent les impuretés par rapport au grain. Les impuretés les plus légères sont enlevées par aspiration ou par criblage; celles qui sont plus denses que le grain mais d'une dimension différente sont séparées par criblage; et celles qui ont la même dimension que le grain mais sont plus denses par gravité; les grains qui ont la même forme, la même dimension et le même poids que le riz sont difficiles à séparer et passent avec lui à l'opération suivante.

Les machines utilisées à ce stade, à savoir le nettoyeur (voir figure 11), le séparateur à tamis (figure 12), le classeur à cribles vibratoires ("plansifter"), le séparateur par gravité ou table densimétrique⁴ et le séparateur à disques [35, 36] combinent ou non la séparation par aspiration, tamisage ou gravité. A un stade ultérieur, les impuretés sont éliminées au moyen d'un séparateur magnétique [33].

Décortilage

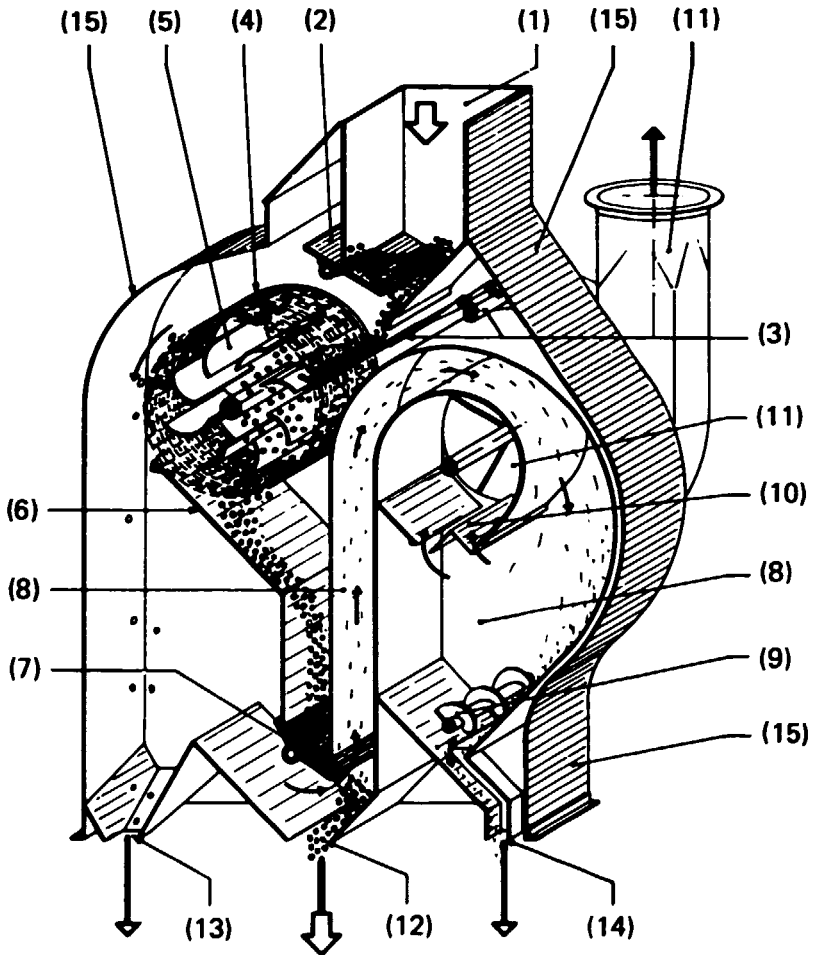
Le paddy une fois nettoyé, la balle est séparée du caryopse au moyen d'un décortiqueur. Les machines le plus souvent employées à cet effet sont le décortiqueur à meules (figure 13) et le décortiqueur à rouleaux de caoutchouc (figure 14)^{5, 6}. Dans le décortiqueur à meules, le grain de riz est pincé longitudinalement et légèrement frotté afin de séparer les glumelles inférieure et supérieure et de dégager le caryopse. La machine consiste en deux disques en fer parallèles et coaxiaux, dont les surfaces sont revêtues d'un abrasif. L'écartement entre les surfaces est légèrement inférieur à la longueur des grains à décortiquer. Le disque supérieur fixe est percé en son centre d'une ouverture qui permet au riz d'entrer, et le disque inférieur tourne. Les grains sont contraints de tourner vers l'extérieur avec le disque inférieur jusqu'au moment où ils se trouvent en position verticale et sont alors agrippés et frottés entre les surfaces, ce qui enlève la balle. Le décortiqueur à rouleaux de caoutchouc (figure 14) part du principe que si les côtés du grain de paddy se trouvent comprimés entre deux surfaces élastiques qui se déplacent dans la même direction, les glumes se sépareront [37]. La machine se compose de deux rouleaux en élastomère synthétique, l'un en position fixe et l'autre réglable de manière que l'écartement entre les deux soit toujours un peu plus petit que l'épaisseur des grains de paddy. Les rouleaux tournent en sens opposés à des vitesses angulaires différentes. Les grains de paddy sont décortiqués au moment où ils passent entre les rouleaux.

⁴Qui sépare aussi les cailloux. On ne s'en sert que sur du paddy propre ou du riz brun qui a été décortiqué avant de passer au blanchiment.

⁵Les possibilités d'application des décortiqueurs centrifuges sont très limitées.

⁶En fait, ce "caoutchouc" est un élastomère synthétique.

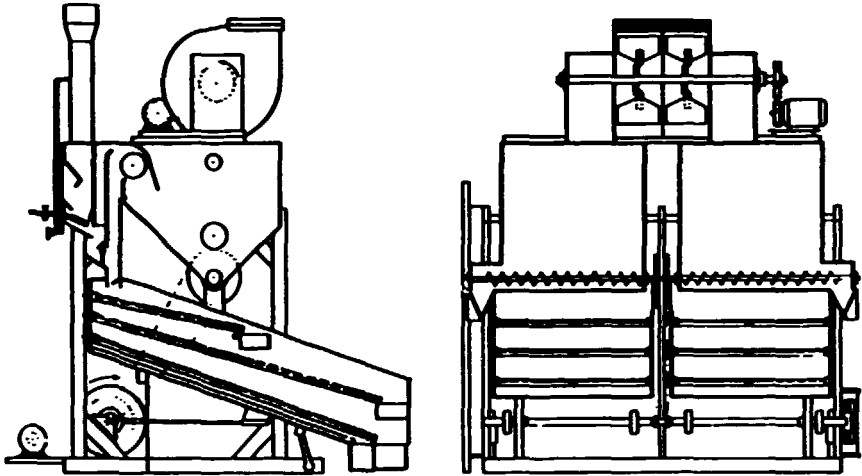
Figure 11. Nettoyeur

**Légende :**

- | | |
|--|---|
| 1. Trémie d'alimentation | 9. Vis d'évacuation |
| 2. Volet de réglage de l'alimentation | 10. Déflecteur de sortie d'air |
| 3. Palette ajustable | 11. Ventilateur aspirateur |
| 4. Calibreur rotatif de refus en fil spiralé | 12. Sortie du grain propre |
| 5. Lames rotatives | 13. Sortie des grosses particules (refus) |
| 6. Palette de réception des grains | 14. Sortie des fines (tamisage) |
| 7. Volet obturateur | 15. Bâti et carter |
| 8. Conduit d'aspiration et chambre de dépôt | |

Source : Borasio et Gariboldi [35].

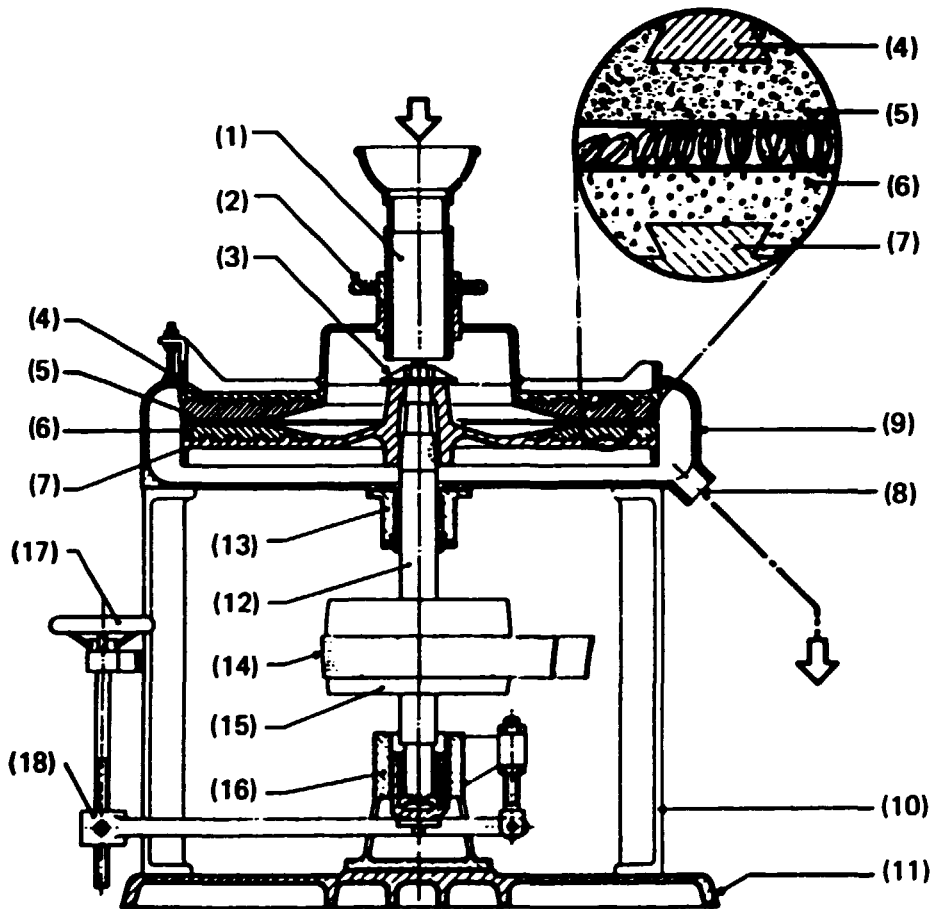
Figure 12. Tamis nettoyeur



Ce qui sort du décortiqueur est un mélange de riz brun, de balle, de fines, de poudre, de grains crayeux et verts et aussi de grains non décortiqués, les décortiqueurs étant réglés pour décortiquer 95 % environ des grains en une seule passe. Le son et la poudre sont éliminés dans un tamis réglé à cet effet ou par aspiration à la partie supérieure d'un crible, et recueillis séparément (à moins qu'on ne les introduise dans le courant de son des machines à blanchir). Les fines sont d'ordinaire séparées dans un autre tamis, avant l'enlèvement des balles par aspiration, afin d'éviter qu'une partie d'entre elles soit emportée avec les balles. Les grains verts et crayeux sont également séparés au préalable lorsque cette opération ne présente pas de difficulté.

Gariboldi [37] et Van Ruiten [38] ont décrit plusieurs modèles de séparateurs et les différentes méthodes de séparation du son. Dans l'un le séparateur (figure 15) est associé à un "plansifter" fixé à un cadre massif en acier placé juste au-dessus de l'aspirateur de balles. Ce "plansifter" est muni de deux cribles automatiques déblocables. Le premier est percé de trous de petit diamètre permettant le passage du son et de la poudre. Le second a des trous plus grands qui laissent tomber les fines. Le mélange de balles, de paddy et de riz brun est rejeté par les cribles. Dans une autre machine (figure 16), le mélange de balles, de riz brun et paddy, de fines, de grains verts et crayeux, de son et de poudre est déchargé dans un crible oscillant. Le son, la poudre et les fines passent au crible et sont déchargés dans deux ouvertures (à droite et à gauche) de la partie postérieure de l'aspirateur lui-même. Un courant d'air traversant le rideau de sous-produits sépare des fines le son et la poudre qui tombent, les fines étant déchargées par une ouverture pratiquée au bas de la machine.

Figure 13. Décortiqueur à meules

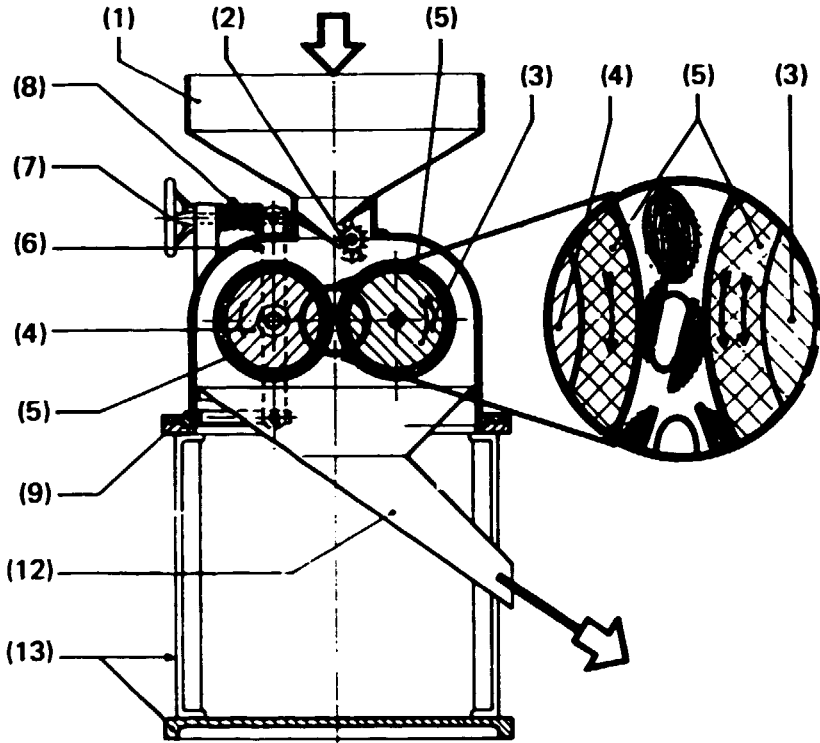


Légende :

- | | |
|--|---|
| 1. Trémis d'alimentation | 10. Bâti |
| 2. Volant de réglage de l'alimentation | 11. Socle |
| 3. Ecrou du disque intérieur | 12. Arbre |
| 4. Disque en fer fixe | 13. Palier |
| 5. Surface abrasive du disque fixe | 14. Courroie d'entraînement |
| 6. Surface abrasive du disque rotatif | 15. Poulie d'entraînement |
| 7. Disque en fer rotatif | 16. Palier |
| 8. Sortie du riz brun et des balles | 17. Volant de réglage de l'écartement des disques |
| 9. Logement du disque | 18. Bras de support de l'arbre |

Source : Borasio et Gariboldi [35].

Figure 14. Décortiqueur à rouleaux de caoutchouc



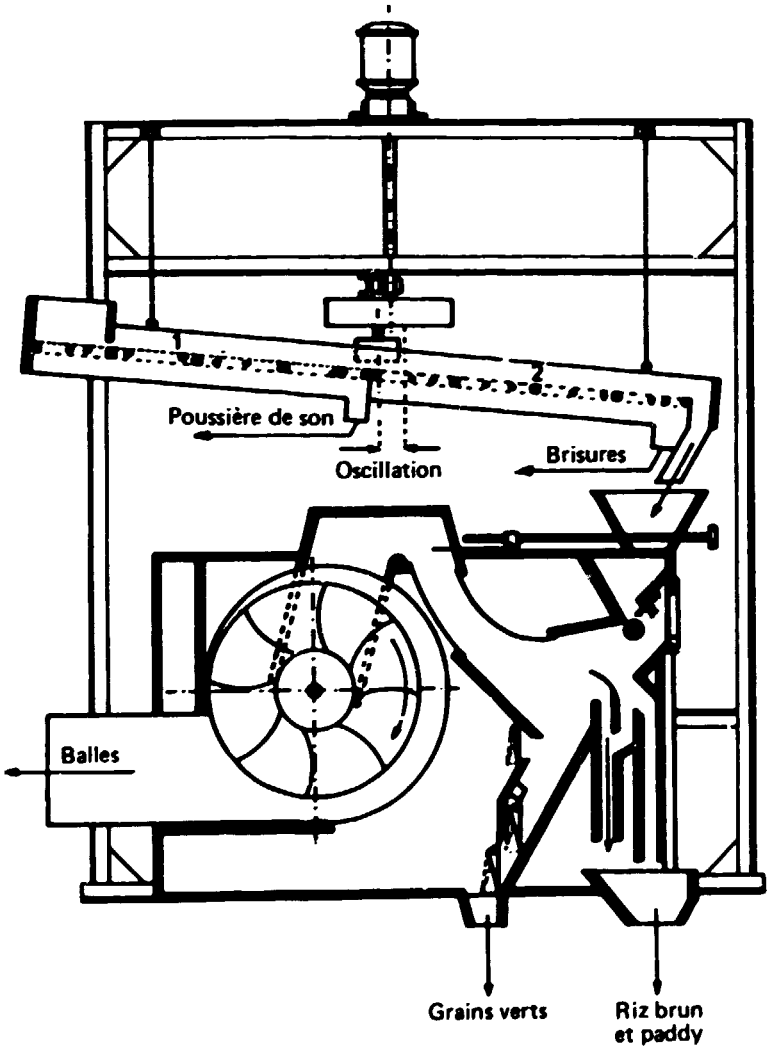
Légende :

- | | |
|---|---|
| 1. Trémie | 7. Volant à main de réglage d'écartement des rouleaux |
| 2. Rouleau d'alimentation | 8. Ressort de rappel du rouleau |
| 3. Rouleau rapide | 9. Boîtier |
| 4. Rouleau lent | 10. Sortie du riz brun et des balles |
| 5. Surface en caoutchouc (élastomère synthétique) | 11. Socle et bâti |
| 6. Bras de réglage du rouleau | |

Source : Borasio et Gariboldi [35].

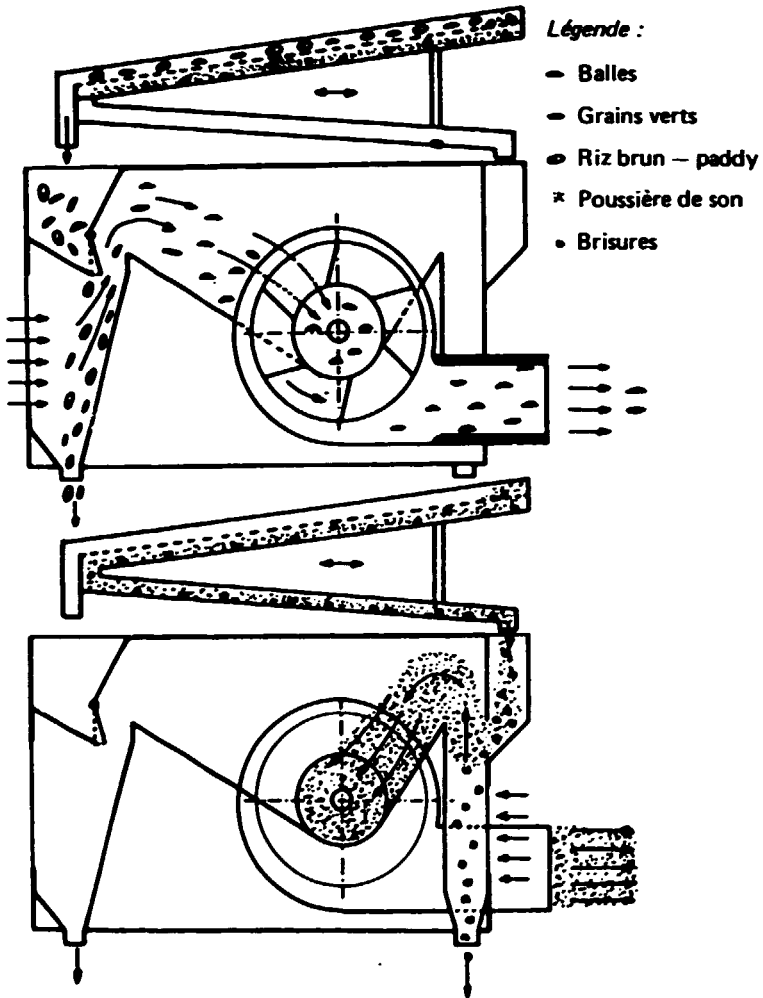
Le décortiqueur à meules et le décortiqueur à rouleaux donnent l'un et l'autre ce qu'on appelle le son de décorticage qui consiste essentiellement en fragments de balle et peut contenir une faible part de péricarpe, de germe, de rachéole, de petits fragments d'albumen, de poudre et de terre. Le décortiqueur à meules est plus brutal et la machine la plus soigneusement réglée griffe le péricarpe et arrache une part considérable du germe. Il donne d'ordinaire de 1 à 2,5 % de son par rapport au paddy. Le décortiqueur à rouleaux de caoutchouc, s'il est bien réglé, n'endommage guère le péricarpe et ne sépare que rarement le germe du caryopse. En ce cas, le son consiste en fragments de balle et en impuretés. Sa production représente moins de 0,5 % du paddy. Cette petite quantité est aspirée avec le gros du son ou, plus souvent, rebutée par la balle.

Figure 15. Séparateur de balle avec "plansifter"



Source : Van Ruiten [38].

Figure 16. Séparateur de balle à double effet



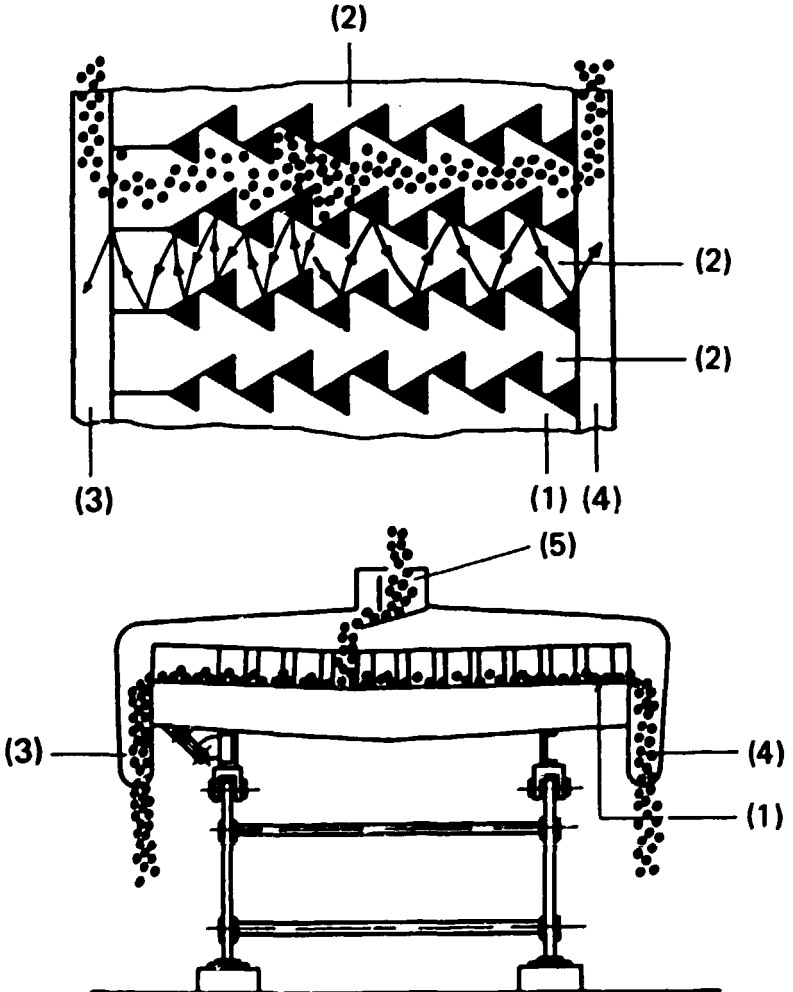
Source : Van Ruiten [38].

Séparation du paddy

Les décortiqueurs industriels ne décortiquent que de 80 à 95 % des grains de paddy à la fois. Il reste donc, après séparation du son et de la poudre, des fines et de la balle, un mélange de riz brun et de paddy. Il y a généralement aussi des grains verts et crayeux, qui, comme on l'a dit plus haut, sont difficiles à éliminer plus tôt. Le séparateur de paddy sert à achever la tâche.

Les séparateurs de paddy les plus couramment utilisés ont une structure à compartiments (figure 17). Leur fonctionnement repose sur la différence de comportement entre paddy et riz brun lorsqu'ils se déplacent sur un plan incliné. Les grains de riz brun, qui sont plus petits, plus denses, arrondis et lisses glissent plus vite que les grains de paddy qui sont plus gros, plus légers et plus rugueux. Il existe un modèle plus récent de séparateur de paddy, le séparateur à plateaux (figure 18) dont le fonctionnement repose, lui aussi, sur

Figure 17. Séparateur de paddy à compartiments



Légende :

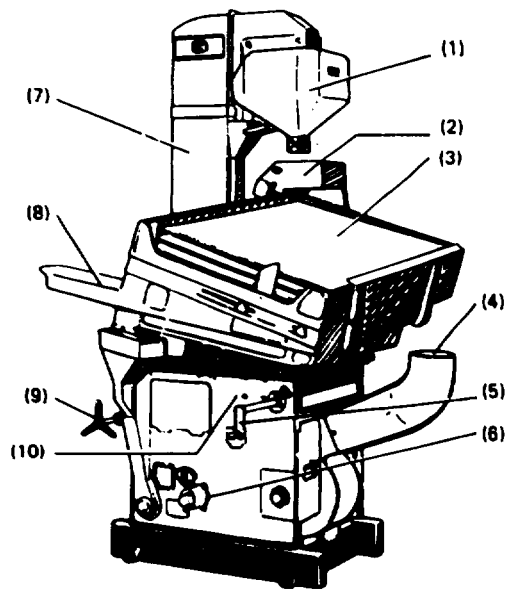
1. Table
2. Compartiments
3. Sortie du riz brun

4. Sortie du paddy
5. Entrée du mélange de riz brun et de paddy

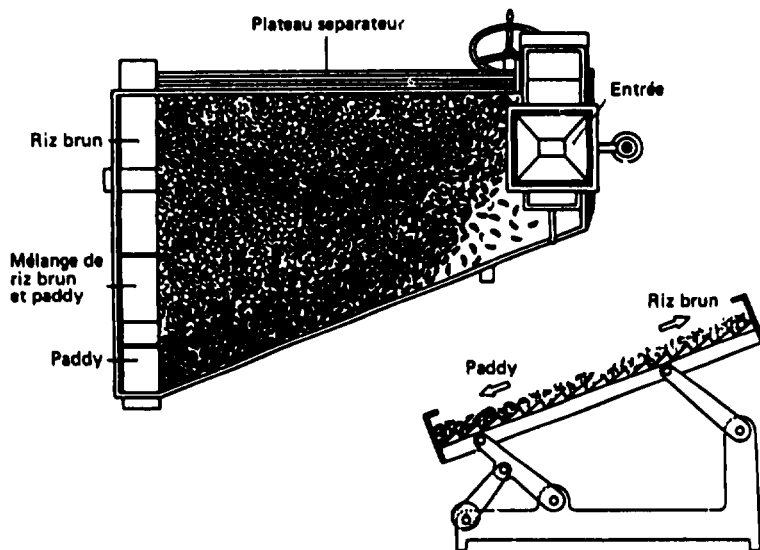
Source : Gariboldi [37].

Figure 18. Séparateur de paddy à plateaux et décortiqueur

A. Séparateur



B. Décortiqueur



Légende :

1. Bac de réglage automatique de l'alimentation
2. Distributeur
3. Plateau séparateur
4. Sortie des balles
5. Poignée de réglage de la pente du plateau
6. Sortie des grains verts
7. Elévateur à godet
8. Sortie du riz brun
9. Poignée de réglage du rouleau en caoutchouc
10. Chambre de décorticaue

les différences de densité et de rugosité des grains. Il consiste en une série de plateaux disposés les uns au-dessus des autres, dont la surface en pente est garnie de dents, animés d'un mouvement vertical de va-et-vient. Le riz rebondit sur le plateau, les grains bruns sont entraînés vers sa partie supérieure, le paddy vers le bas. Ces deux types de séparateurs, à compartiments ou à plateaux, donnent, à condition d'être bien réglés, un riz brun entièrement exempt de paddy.

Blanchiment

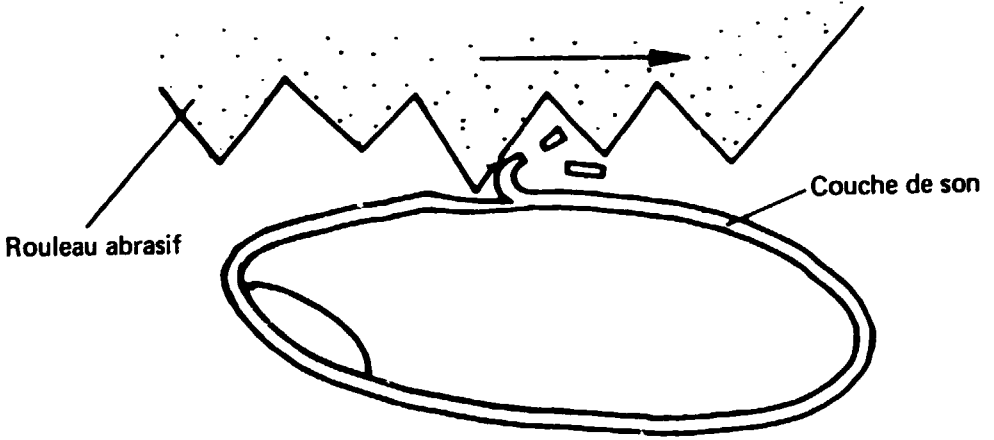
Le riz brun passe du séparateur de paddy à la machine à blanchir qui élimine le son et blanchit le grain. Les machines actuellement en usage opèrent par abrasion ou par frottement. La machine à abrasion peut avoir un arbre vertical, comme les cônes à blanchir européens, ou horizontal, de conception japonaise : la machine à frottement est à arbre horizontal comme le "polisseur à réaction" japonais. Dans les machines à abrasion, le riz brun est blanchi en passant dans l'espace vide qui se trouve entre un cône abrasif et un écran (usine européenne) ou un cylindre perforé (usine japonaise). Le cône abrasif, muni de lames en particules vitrifiées, agit comme un couteau qui coupe et enlève de petits fragments de la couche de son du grain décortiqué comme lorsqu'on pèle une orange par petits morceaux d'écorce sans couper la pulpe [39]. Ces machines industrielles causent aussi un certain frottement mais c'est l'abrasion qui prédomine (voir figure 19). La machine (figure 20) consiste en un rotor conique en fonte, inversé, (vertical en Espagne) garni d'une substance abrasive⁷ et monté sur un arbre vertical, qui tourne à l'intérieur d'un cadre ou d'un boîtier. Le cadre porte un écran ou une tôle perforée divisée en segments, placée à 10 mm environ de la surface abrasive. Le boîtier de l'écran porte les freins en caoutchouc ou organes de résistance disposés parallèlement au cône, à une distance de 2 à 3 mm. La largeur de l'intervalle entre cône et écran et entre cône et freins est réglable, ce qui permet de varier la proportion de bran à séparer du grain. Le riz brun est introduit dans la machine par la partie supérieure, projeté vers l'extérieur par la force centrifuge et tombe entre le cône et le grillage, ce qui le fait tourner dans la direction du cône. Les grains viennent heurter les freins en caoutchouc sur lesquels ils s'accumulent et le cône les fait tourner et se frotter les uns contre les autres. Les grains subissent ainsi l'action abrasive du cône et dans une certaine mesure un frottement entre eux et avec l'écran (en toile métallique ou tôle perforée) jusqu'à ce qu'ils soient arrêtés par le frein. Ils s'échappent peu à peu d'un frein pour être happés par le suivant, et continuent à tomber jusqu'à ce qu'ils atteignent la sortie. Les couches extérieures du grain, séparées pour constituer le son, s'échappent par les trous de l'écran, aidées par le courant d'air qui traverse la machine pour refroidir le grain. Le son est recueilli dans un bac circulaire où des pales rotatives le déchargent dans le collecteur général. Le courant d'air emporte une partie du son, qui est récupéré dans un cyclone.

Le blanchisseur par abrasion à sabre horizontal (voir figure 21 A) traite le riz à son passage dans l'espace qui sépare le cylindre central abrasif du cylindre

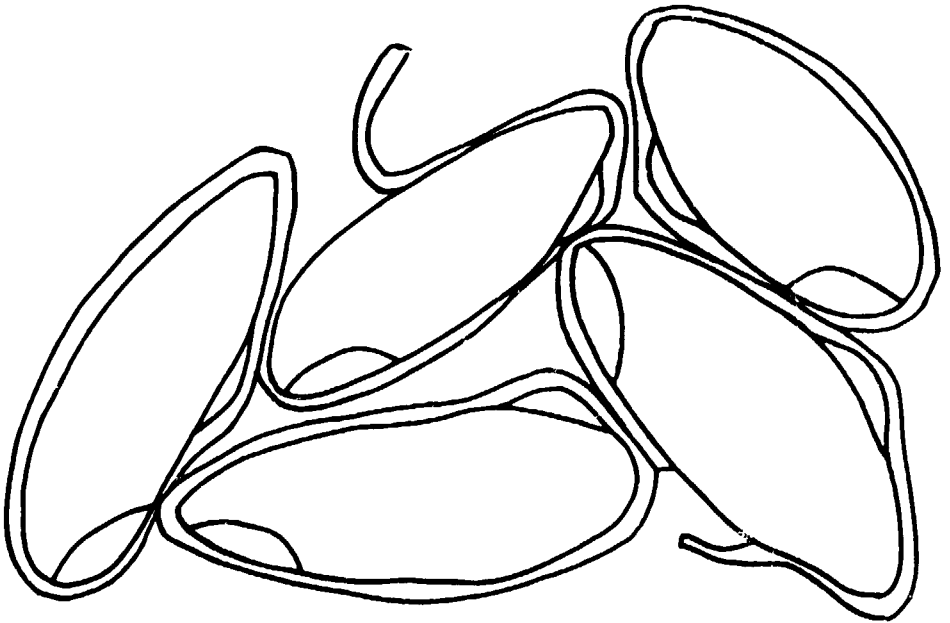
⁷On trouvera une description détaillée de l'abrasif et des instructions pour la préparation de la pâte abrasive et sa pose sur les cônes dans Gariboldi [37].

Figure 19. Représentation schématique du blanchiment

A. Par abrasion

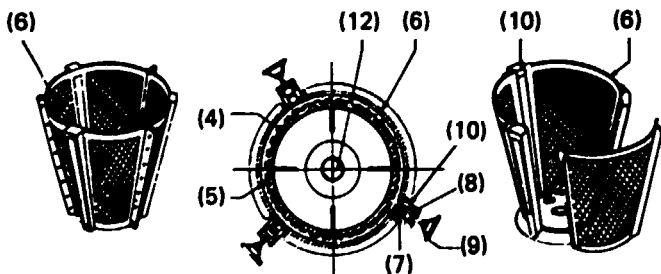
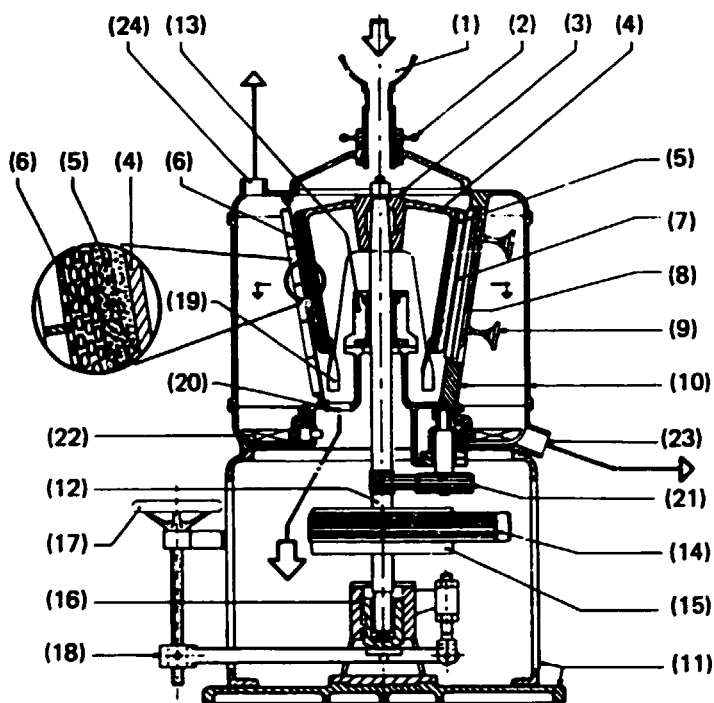


B. Par frottement



Source : Koga [39].

Figure 20. Machine à blanchir



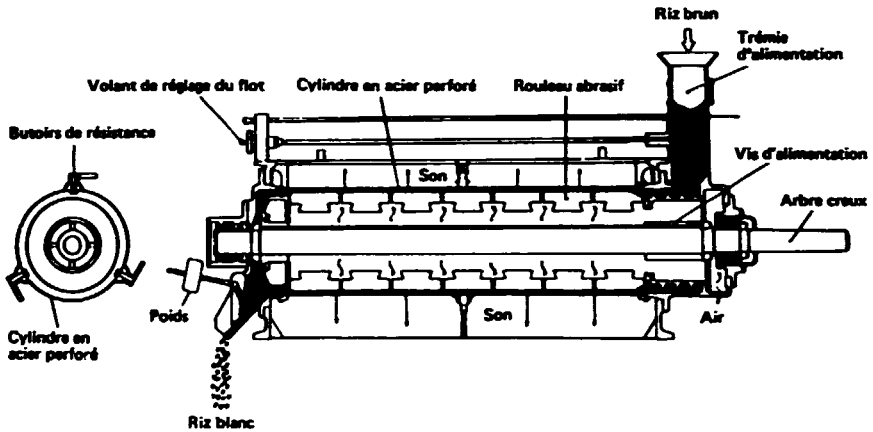
Légende :

- | | |
|---|--|
| 1. Trémie d'alimentation | 12. Arbre du cône |
| 2. Volant à main de réglage de l'alimentation | 13. Palier |
| 3. Niveau de fixation du cône | 14. Courroie d'entraînement |
| 4. Cône | 15. Poulie d'entraînement |
| 5. Surface abrasive du cône | 16. Palier |
| 6. Boîtier d'écran en segments amovibles, avec freins en caoutchouc | 17. Volant à main de réglage de l'écartement entre écran et cône |
| 7. Frein | 18. Bras de support de l'arbre |
| 8. Fixation du frein | 19. Transporteur de riz |
| 9. Volant à main de réglage du frein | 20. Sortie du riz |
| 10. Boîtier | 21. Poulie d'entraînement du transporteur de son |
| 11. Cadre | |

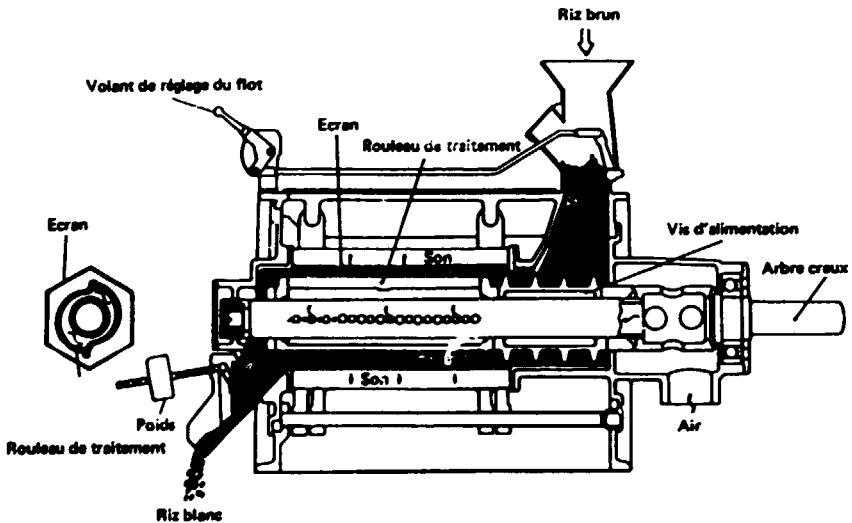
Source : Borasio et Gariboldi [35].

Figure 21. Machines à blanchir par abrasion et par frottement

A. Machine à blanchir par abrasion à arbre horizontal



B. Machine à blanchir par frottement à arbre horizontal



en acier perforé qui l'enveloppe. Le grain est maintenu en place par la pression de la soupape de sortie qui règle le temps de maintien du grain dans la machine et détermine la proportion de son à séparer. Les freins fixés sur le cylindre perforé modifient la trajectoire et la vitesse des grains dans leur parcours depuis la trémie d'entrée jusqu'à la sortie. L'air injecté par la partie creuse du cylindre

central passe entre les grains de riz en emportant le son, pour ressortir par les trous du cylindre perforé. On utilise généralement en même temps deux ou plus de deux de ces machines.

Le principe de la machine à blanchir par frottement est différent (figure 21 B). Le son se détache lorsque les grains se frottent les uns contre les autres sous pression. Cette machine comporte un arbre perforé en partie creux; un cylindre d'acier moulé à arêtes de frottement et muni d'entrées pour l'injection d'air glisse le long de cet arbre. Ce cylindre est logé dans une chambre hexagonale à sillons perforés laissant un espace libre pour le passage du riz. La chambre est alimentée par une vis montée à la base de la trémie d'alimentation, la circulation du grain étant réglée par une vanne de sortie qui commande une pression sur la masse du riz. Le frottement ainsi provoqué détache le son de la surface et l'air qui passe dans le riz l'entraîne à travers l'écran. Le réglage de la vanne de sortie détermine la pression intérieure et le temps de maintien, qui déterminent à leur tour la proportion de son qui peut être séparé du grain. Ces machines sont employées dans de nombreuses usines pour parachever le blanchiment effectué au moyen d'une ou plusieurs machines à abrasion.

Le polissage

Le blanchiment qui, dans de nombreuses rizeries, s'arrête là, se poursuit dans d'autres par une opération de polissage. Bien que les machines à blanchir portent dans certains pays le nom de polisseuses, le polissage à proprement parler est une opération très différente. Il s'agit d'éliminer du grain déjà blanchi les petites particules de farine qui adhèrent à la surface, afin de donner au riz un aspect brillant et satiné. En même temps, on recueille encore une fraction de son. Les éléments essentiels d'une machine à polir sont les mêmes que ceux d'une machine à blanchir, la différence essentielle étant l'absence de revêtements en émeri et de freins en caoutchouc. Les deux types de polisseuses les plus fréquemment utilisées — à cônes verticaux ou à cylindres horizontaux — reposent sur le même principe. Dans les premières, le cône est recouvert de bois auquel sont cloués des bandes de cuir. Le riz est introduit dans la machine comme dans les machines à blanchir; en passant par l'intervalle qui sépare le cône et l'écran, il est mis en mouvement par les bandes de cuir qui le font rouler et les grains se frottent les uns contre les autres, contre le grillage et contre le cuir lui-même. La poudre qui se détache alors est extraite de la machine et récupérée dans un cyclone.

Opérations finales

Dans la plupart des pays, la production du son s'achève par le polissage. Bien que, comme on l'a vu, chaque courant ou portion de son soit produite séparément, on réunit le tout avant de mettre le son sur le marché. Le riz qui sort des machines de blanchiment est un mélange de grains entiers et brisés — ces derniers de dimensions différentes — qu'il faut séparer et classer avant la vente. C'est là une partie importante du traitement du riz, mais elle sort du cadre de la présente étude, et ce sujet a été traité ailleurs de façon détaillée [33].

Les rizeries et leur matériel

Catégories d'usines

La complexité des méthodes employées pour l'usinage du riz varie selon les pays, les régions et les circonstances. Saunders et d'autres [40] ont classé les installations de transformation du riz en catégories correspondant à divers niveaux de complexité technique et sociale : a) vivrière; b) rustique; c) quasi commerciale; d) exportatrice. La première catégorie est celle où le riz est produit uniquement pour la consommation, généralement à l'échelon individuel ou familial, sans investissement en machines. La seconde est celle du propriétaire d'une petite installation consistant en une seule machine avec laquelle il traite le riz apporté en sacs par les clients (petits cultivateurs ou autres) par lesquels il se fait payer souvent en riz ou en sous-produits. C'est là, selon les auteurs, le premier niveau auquel on peut adopter des perfectionnements mécaniques plus ou moins compliqués parce que le capital nécessaire peut être apporté par un groupe soit directement (en coopérative) ou indirectement (en actions). La catégorie quasi commerciale est celle de l'usiner qui a très peu de machines mais investit des capitaux, a le sens des affaires, et partage les aspirations et les difficultés de l'industriel situé au niveau immédiatement supérieur. Son champ d'action est toutefois très limité, comme le sont ses ressources. La catégorie exportatrice ou commerciale se distingue de la précédente principalement par son champ d'action, qui n'est pas limité puisqu'il peut comporter l'exportation ou qui est susceptible d'expansion (à l'échelon national), par la qualité de riz qu'elle exige et par son aptitude à la concurrence et sa technicité, toutes choses qui impliquent des investissements importants.

Types de matériel et leur mode d'action sur le son

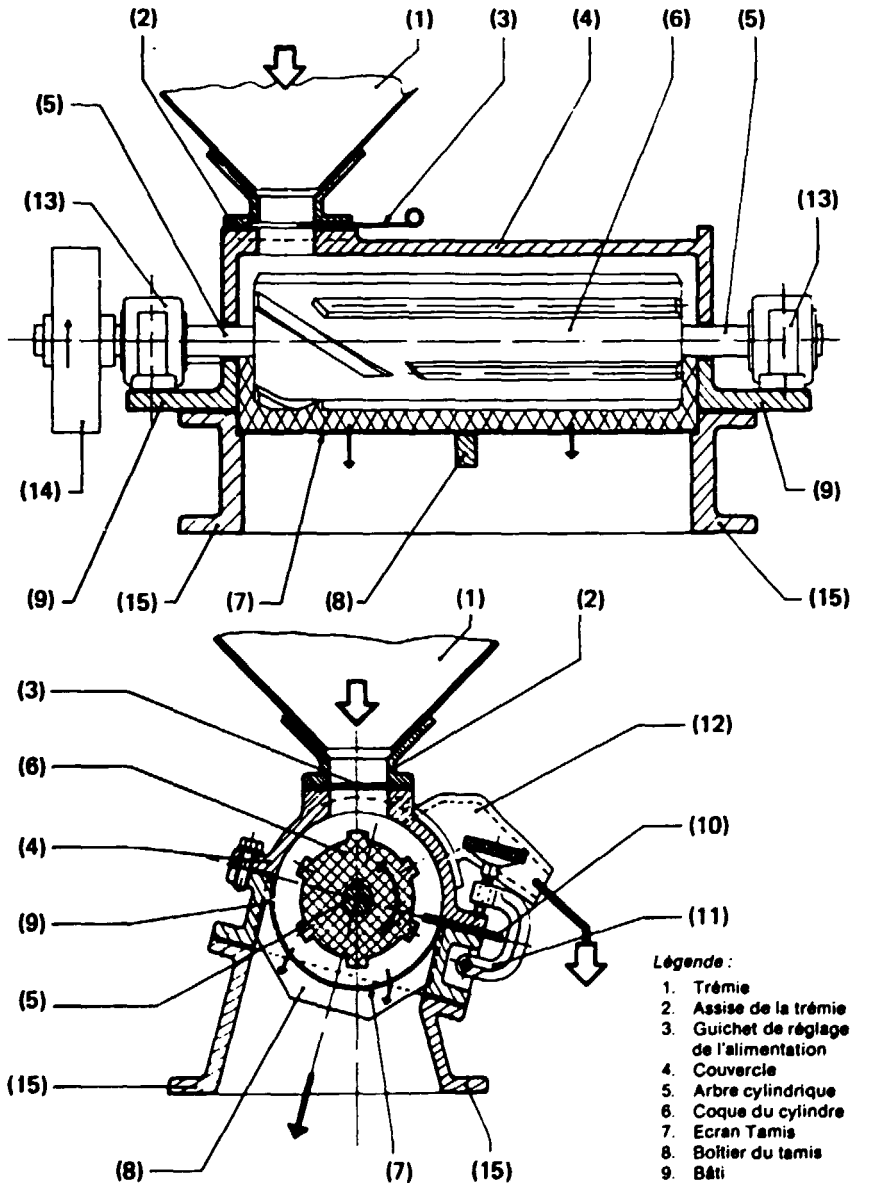
Abstraction faite des opérations manuelles qui caractérisent la catégorie "vivrière"⁸, le mode le plus simple de traitement mécanique, qui caractérise la catégorie "rustique"⁹, consiste en l'emploi d'une machine unique qui ne donne que deux produits : le riz traité (avec une proportion variable de fines) et un sous-produit consistant en un mélange de balle moulue, de riz écrasé, de son et d'impuretés de toutes sortes telles que paille, terre, cailloux, etc. La machine la plus fréquemment utilisée est le "huller" (par exemple le kiskisan¹⁰) (voir figure 22). Il consiste en un cylindre en acier rainuré, qui tourne sur un axe à l'intérieur d'un boîtier muni d'un tamis à sa partie inférieure; le riz circule dans l'espace entre le cylindre rotatif et le boîtier en direction de la sortie et tourne sous l'action des rainures; les premières rainures sont en pente et poussent le riz vers la sortie. Une lame réglable règle la quantité de riz qui passe et détermine

⁸Dans les campagnes de certains pays — Bangladesh, Inde, Indonésie, par exemple — on traite beaucoup de riz au pilon et au mortier actionnés à la main ou au pied.

⁹Plus rarement, on trouve dans cette catégorie des installations possédant une machine à décortiquer et une autre à blanchir, ainsi qu'un tamis pour le triage et la séparation.

¹⁰Le kiskisan sert à décortiquer et à blanchir en une ou deux passes, ou bien à blanchir après passage dans un décortiqueur à meules ou à rouleaux.

Figure 22. Machine du type "buller" (blanchisseur)



Source : Borasio et Gariboldi [35].

la proportion de son qui se sépare du grain¹¹. La balle moulue, les brisures fines, le son et les impuretés passent par le tamis inférieur et sortent par l'orifice d'échappement. Le riz et les fragments de balle plus gros sortent ensemble par un autre orifice. Le principal inconvénient de ces machines est qu'une bonne partie du riz est brisée et que le rendement est faible¹², notamment parce que les grains de petite et de moyenne dimension se perdent au tamis. De plus, comme ces installations n'ont pas de séparateur de paddy pour débarrasser du riz blanc définitif les grains non décortiqués qui restent, il faut pousser davantage le traitement pour laisser derrière soi le moins possible de grains de paddy. C'est notamment le cas du riz brut dont la balle est difficile à détacher. S'agissant du son, les inconvénients sont manifestes car le son obtenu a une forte teneur en silice et en fibres et une très faible teneur en huile; de plus, il s'accompagne de terre et des autres impuretés que contient le paddy.

En dépit de tous ces inconvénients, les possesseurs d'installations de ce genre ne sont guère disposés à se moderniser, notamment dans les régions où l'on pratique l'étuvage. Le nombre de ces installations est d'ailleurs en augmentation¹³. Pillaiyar et autres [42] énumèrent plusieurs raisons de ce phénomène : premièrement la machine est bon marché, facile à installer, à faire fonctionner et à entretenir, même en milieu rural; deuxièmement, certaines machines ont une faible capacité, peuvent fonctionner par intermittence et, par conséquent, traiter les faibles quantités de paddy — brut ou étuvé — dont a besoin la clientèle rurale, et troisièmement, elle donne un riz traité de qualité acceptable.

Des facteurs économiques ont parfois entraîné une prolifération des installations de ce genre. En Inde, par exemple, le procédé fiscal utilisé par le gouvernement consiste à acheter au-dessous du prix du marché une certaine proportion de riz traité par les installations commerciales. Cette proportion varie mais est généralement supérieure à 50 % de la production totale. Les installations à "huller" ne sont pas considérées comme commerciales et sont exemptées de cette forme de taxation ainsi que des impôts sur l'achat et la vente. C'est à cette différence de traitement fiscal qu'il faut peut-être attribuer le fait qu'au Bengale occidentale le nombre des "hullers" a passé de 6 000 environ à plus de 22 000 [43]. Aux Philippines, dans certains cas où la Banque mondiale et la Banque asiatique du développement avaient accordé des prêts spéciaux pour construire de nouvelles installations dotées de décortiqueurs à rouleaux en caoutchouc, ces derniers ont été remplacés, après le passage de l'inspection, par des "hullers" [40].

Le Ministère indien de l'agriculture et de l'irrigation a récemment adopté une procédure expéditive pour améliorer les installations de "hullers" à une seule machine; une installation de ce type est automatiquement reconnue en vertu de la loi sur l'industrie du riz comme "installation moderne" jouissant de tous les avantages administratifs accordés à cette catégorie d'entreprises [44].

¹¹ Elle agit aussi sur l'alimentation et la sortie.

¹² Le rendement des installations de traitement de paddy au moyen de décortiqueurs à rouleaux en riz est supérieur de 2,5 % à celui des décortiqueurs à meules et de 6,6 % à celui des "hullers". S'agissant du riz étuvé, les chiffres sont respectivement 0,8 et 1,6 %. Les différences en riz complet sont de 6,1 et 15,1 % respectivement pour le paddy et de 1,3 % pour le riz étuvé [41].

¹³ Il y avait en Inde, d'après des chiffres publiés en 1965, plus de 30 000 installations à "huller" comportant des machines individuelles ou combinées. Les statistiques pour les deux années 1972-1973 ont porté le chiffre à 72 000, et il avoisinait 90 000 en 1977.

Les renseignements techniques publiés par le Ministère confirment que le rendement est plus élevé, qu'il y a moins de brisures et que le son obtenu est de meilleure qualité. Le matériel se compose d'un décortiqueur centrifuge¹⁴ et d'un appareil consistant en un tamis qui, en combinant un mouvement d'oscillation avec un dispositif d'aspiration, sert d'abord à nettoyer et ensuite à séparer le paddy. Les opérations s'effectuent naturellement par lots; enfin le "huller" sert à blanchir le riz brun.

Le même secteur industriel offre un nouvel exemple de modernisation [42]. Dans une installation comportant deux "hullers", capable de traiter une tonne/heure de paddy étuvé, on a employé l'un d'eux pour décortiquer et l'autre pour blanchir; le riz blanc, avec les fines et un peu de balle, est nettoyé et trié dans le plateau de la tarare; le son ainsi obtenu contient 6 % environ d'huile et 15 % de silice. L'usine a été modernisée par l'installation : a) d'une nouvelle tarare pour le prénettoyage; b) d'un nouveau décortiqueur non aspirant à rouleaux de caoutchouc; c) de la tarare existante, modifiée pour pouvoir servir de séparateur de paddy ainsi que d'aspirateur de balle et de nettoyeur¹⁵; d) d'un des "huller" existants pour servir uniquement au blanchiment; e) d'une nouvelle tarare pour séparer les fines et le son détaché qui adhère au riz blanc; enfin f) d'un tamis simple, nouveau lui aussi, pour séparer les petites fines et un peu de balle du son (voir figure 23). La nouvelle machine a non seulement donné un meilleur rendement en riz et réduit la consommation d'énergie de quelque 30 %, mais a encore permis une sensible amélioration de la qualité du son obtenu, avec une augmentation de près de 20 % de la teneur en huile. Cet investissement peu coûteux a été particulièrement réussi.

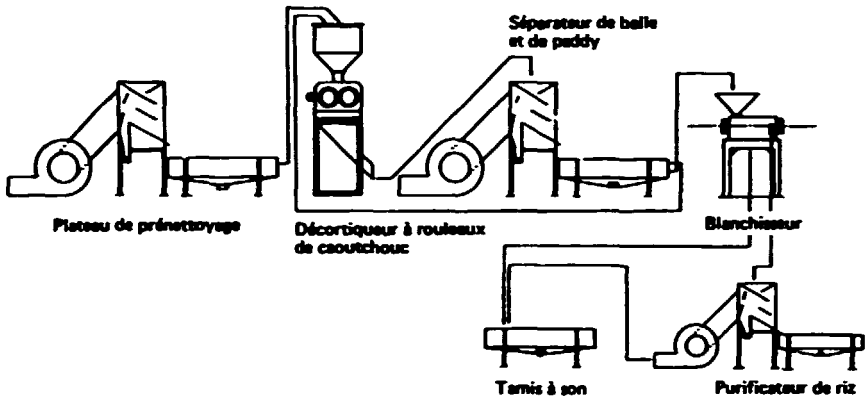
Plusieurs constructeurs ont combiné la machine à décortiquer et à blanchir avec d'autres appareils dans une unité monobloc afin de pouvoir accomplir en une seule passe le processus entier, depuis le décortilage et la séparation de la balle d'avec le riz décortiqué jusqu'au blanchiment et à la séparation du son avec une seule machine (figure 24).

La machine comprend un tamis vibrant qui sépare les grosses impuretés (paille, rachéole, etc.) ainsi qu'un séparateur magnétique, un décortiqueur à rouleaux de caoutchouc, un séparateur de balle qui écarte aussi les grains verts, une machine à blanchir horizontale refroidie par injection d'air qui, en même temps, extrait le son. Lorsque le paddy contient beaucoup d'impuretés, le monobloc peut être associé à un prénettoyeur (voir figure 25). La capacité de la machine varie de 0,5 à 1 tonne/heure, selon le modèle. Comme le riz que traitent ces machines est d'ordinaire de qualité inférieure et comme le

¹⁴Le décortiqueur centrifuge consiste en deux disques métalliques parallèles séparés par un faible intervalle et tournant à 3 500 tr/min. D'après les renseignements communiqués, son rendement est comparable à celui d'un décortiqueur à rouleaux, mais il n'y a plus de brisures ni de mélange de balle et de son; on dit aussi que le caryopse reste intact. Le paddy entre au milieu et est guidé par des pièces métalliques situées entre les disques. Les grains, projetés par la force centrifuge, heurtent un disque fixe en caoutchouc placé contre l'anneau extérieur, et perdent là leur balle. La capacité de ces machines est ordinairement de 400 kg/h environ. Elles peuvent traiter de petits lots et fonctionner avec moins de 1 ch [44]. Les résultats ont été meilleurs avec le riz étuvé qu'avec le riz brut et c'est peut-être pourquoi Saunders et autres [40] ont signalé que ce système n'a pas donné de bons résultats aux Philippines.

¹⁵La modification n'a pas posé de problèmes graves car il a été jugé bon d'avoir 5 % de paddy dans le riz décortiqué pour faciliter le blanchiment.

Figure 23. Installation du type "balle"

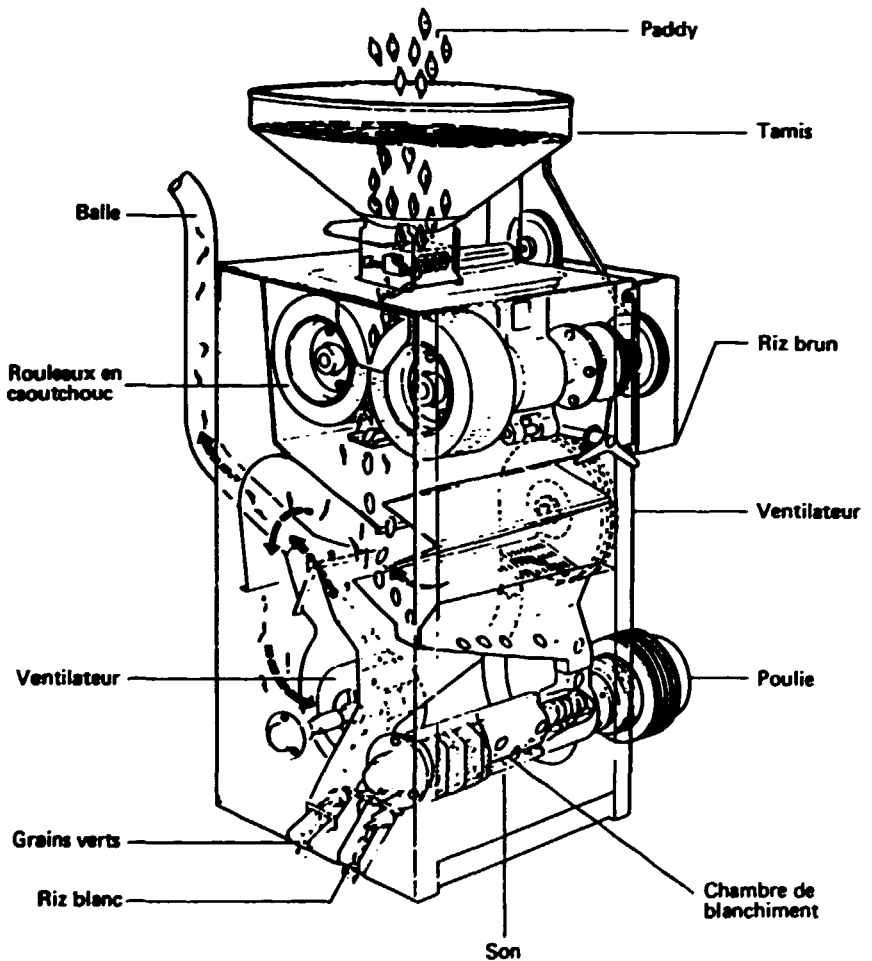


blanchiment s'effectue en une seule passe, elles occasionnent généralement davantage de brisures et le son contient une plus forte proportion d'albumen amylicé. De plus, le nettoyage et la séparation du riz d'avec la balle sont loin d'être parfaits, ce qui influe aussi sur la qualité du son.

Avec les éléments essentiels décrits plus haut et d'autres accessoires, on peut construire des installations d'usinage plus ou moins complexes (voir figures 26 à 28). Il faut signaler particulièrement le trieur de paddy et le décortiqueur à rétroaction, le dépierreux, utilisé avant les machines à blanchir, le nombre des étapes de blanchiment et le séparateur de germes, dont nous exposerons plus loin les fonctions. Le séparateur de germes (figures 29 et 30) mérite une mention particulière. Bien que dans la plupart des pays le son du commerce contienne le germe, d'autres, comme l'Italie et l'Espagne, ont l'habitude de le séparer. Dans les rizeries espagnoles, le mélange de sons provenant des diverses machines à blanchir (on en utilise de trois à six) passe par le tamis rotatif et le séparateur de germes. Le tamis, qui a la forme d'un prisme hexagonal à mailles d'environ 0,8 mm, sépare le son, les fragments de germe et les très petites fines. Le séparateur de germe comporte un tamis vibrant et une aspiration afin de séparer les particules dont les dimensions et les densités diffèrent. Il comprend un premier tamis, à trous de 0,8 mm, qui sépare les germes, et un troisième, à perforations de 2 mm, qui sépare les petites fines des plus grandes et des particules (y compris les grains entiers) qu'il peut y avoir. Un courant aspirant passe par la sortie des germes afin d'éliminer les impuretés de faible poids (brisures de balle et de son). L'épuration définitive du germe peut s'effectuer pneumatiquement. D'après le type de machine utilisé et les conditions de fonctionnement, on obtient un produit marchand dont la teneur en germes purs va de 40 à 85 % [45].

On a essayé types de machines de séparation par voie pneumatique du germe et des très petites brisures de grain [46].

Figure 24. Monobloc de décortiquage et de blanchiment du riz



On a aussi essayé de séparer le germe du grain avant le traitement [47] comme on le fait parfois pour le blé. Après enlèvement de la balle, on maintient le riz sur un lit fluidisé où le frottement entre le grain et les parois perforées finit par séparer le germe du caryopse. Il n'a pas été possible d'éviter la séparation et la brisure simultanées. Le germe, les particules de son et les petits fragments d'albumen, à mesure qu'ils se présentent, sont emportés à travers les perforations de la chambre par un courant d'air. Les trois éléments obtenus sont ensuite séparés au moyen d'un crible et d'une tarare. Le tableau 4 donne des renseignements sur l'emploi de ce système avec les variétés de riz cultivées en Inde, ainsi qu'en ce qui concerne le riz étuvé.

Figur- 25. Monobloc avec prénettoyeur, élévateur à godet et dispositif d'entraînement

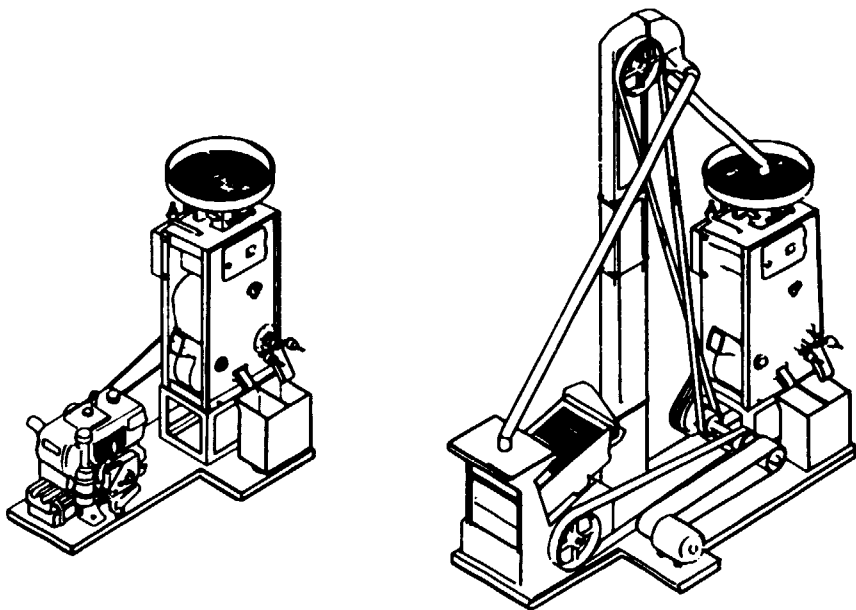
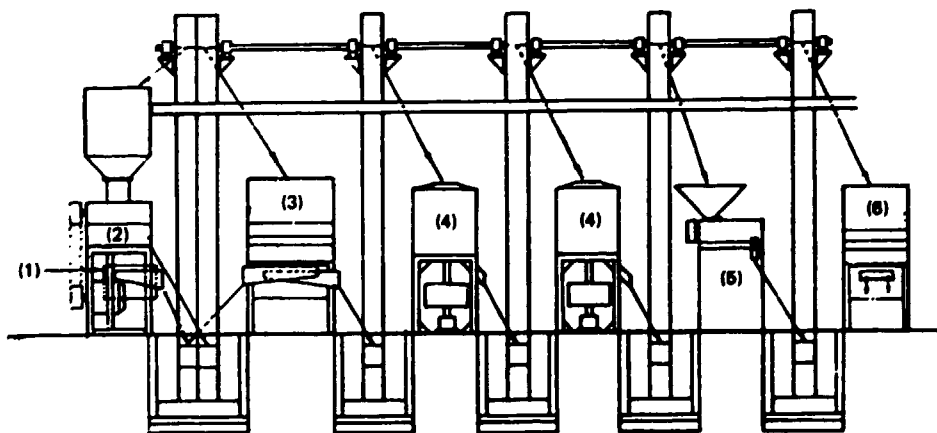


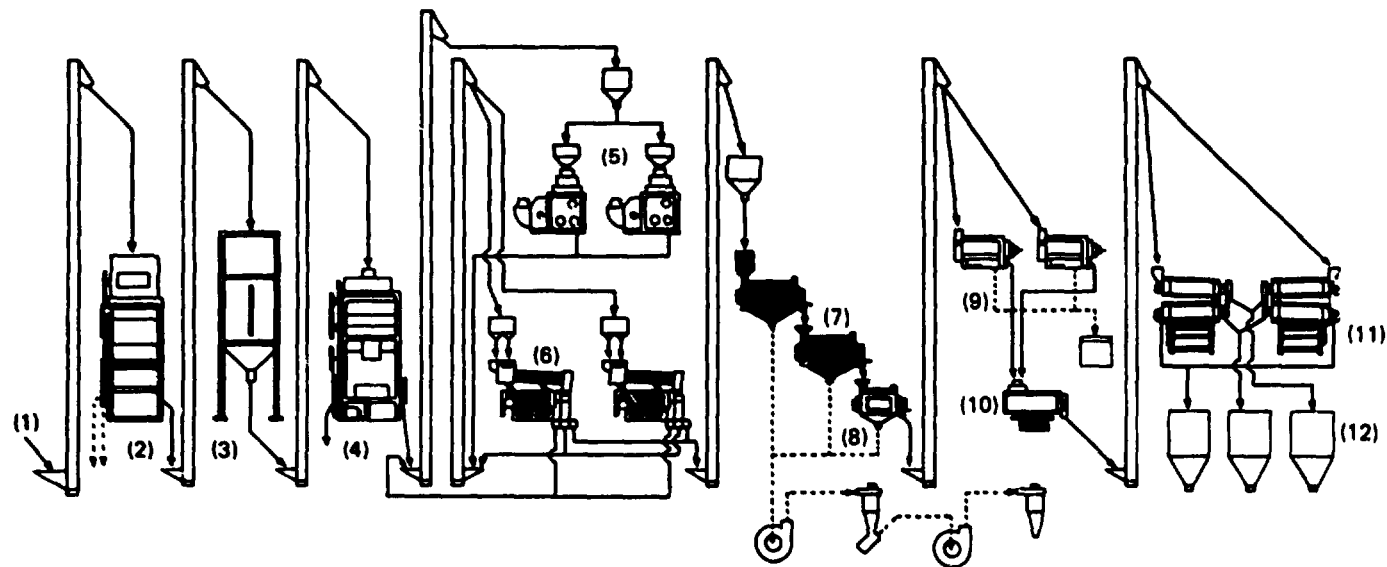
Figure 26. Usine modernisée comportant un blanchisseur



Légende :

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| 1. Nettoyeur | 4. Cônes de blanchiment |
| 2. Décortiqueur | 5. Blanchisseur |
| 3. Séparateur de paddy | 6. Trieur de riz — grains moyens |

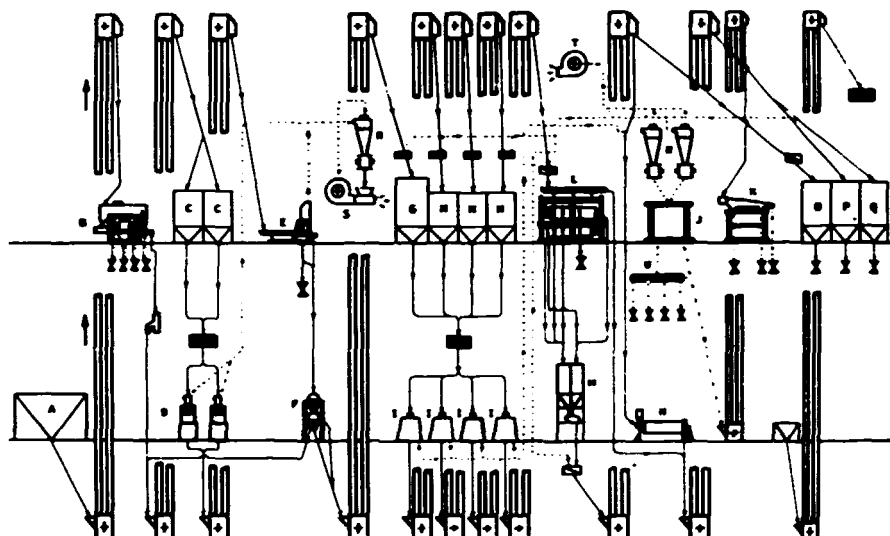
Figure 27. Schéma d'un système d'usinage du riz



Légende :

- | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 1. Entrée du paddy | 5. Décortiqueur | 9. Machine à raffiner |
| 2. Nettoyeur | 6. Séparateur de paddy | 10. Crible giratoire |
| 3. Réservoir | 7. Machine à blanchir par abrasion | 11. Trieur de riz |
| 4. Aspirateur et épierreur | 8. Machine à blanchir par frottement | 12. Réservoirs |

Figure 28. Schéma d'une installation d'usinage du riz, avec séparateur de germes



Légende :

- | | |
|---|---|
| A. Trémie d'alimentation | L. Séparateur de brisures |
| B. Nettoyeur | M. Machine à doser les brisures |
| C. Bac à paddy propre | N. Mélangeur de riz |
| D. Décortiqueurs | O. Bac à riz usiné |
| E. Séparateur de balle | P. Bac à riz mélangé |
| F. Triage | Q. Bac à riz complet |
| G. Bac à riz décortiqué | R. Cyclones de sûreté |
| H. Réservoir d'attente pour le riz à blanchir | S. Machine d'aspiration et de transport pneumatique de la balle |
| I. Machines à blanchir | T. Aspirateur général |
| J. Séparateur de son | U. Convoyeur de son |
| K. Séparateur de germes | |

Les principales impuretés que contient le germe sortant de l'installation consistent en fragments de balle et notamment en très petites brisures de grain. Lorsqu'on a besoin d'une pureté plus poussée, par exemple pour les travaux de laboratoire, l'appareil de la figure 31 donne de bons résultats. Il opère sur des lots atteignant 50 grammes. Le germe impur est criblé dans deux cribles à mailles de 1,5 et 0,8 mm (ou d'autres dimensions plus appropriées à la taille du germe de la variété en question). La partie maintenue entre les deux cribles est apportée au grillage de l'épurateur à la partie inférieure du tube en verre ou en plastique qui constitue la partie essentielle de l'appareil, et l'on insuffle de l'air sous pression par l'orifice inférieur. Une différence de pression de 20 mm environ au manomètre à eau suffit pour séparer pratiquement toute la balle. En portant la pression au-delà de 100 mm, on peut séparer le germe sans emporter les fragments d'albumen, qui restent sur la grille.

Figure 29. Procédé de séparation du germe d'avec le son de riz

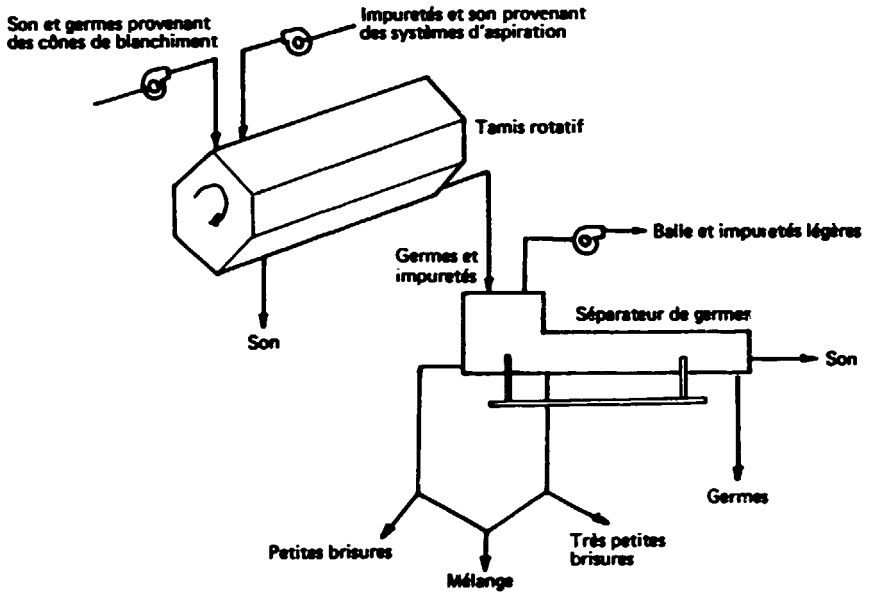
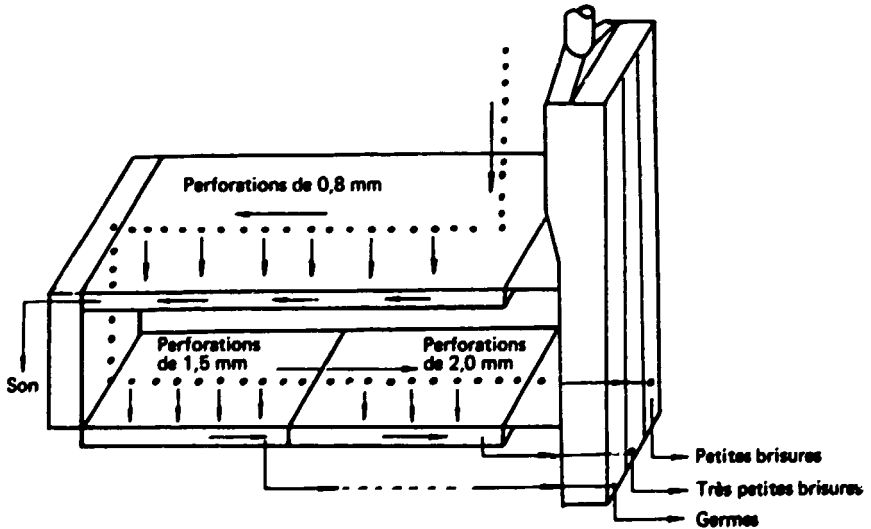


Figure 30. Schéma d'un séparateur de germes



Légende :

A. Perforations de 1,5 mm

B. Perforations de 2,0 mm

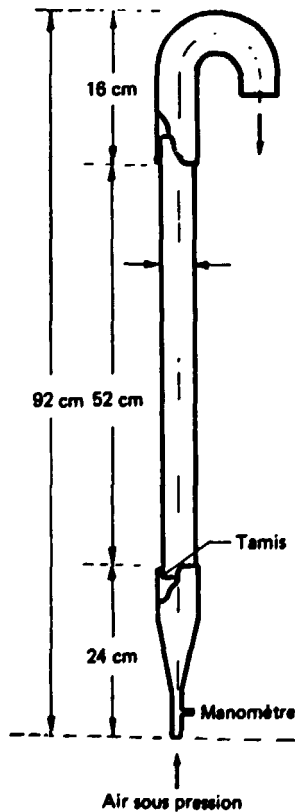
TABLEAU 4. SÉPARATION ET RÉCUPÉRATION A LA MAIN DU GERME DANS UN SÉPARATEUR DE GERMES^a
(En grammes par 100 grammes de riz décortiqué)

Variété et type de riz brun	Rendement		
	Germes	Son	Fines
ADT-8			
Brut	2,6	3,6	28
Etuvé	1,0	3,0	3
IR-20			
Brut	1,6	3,1	22
Etuvé	0,5	2,5	3,8

Source : Vasan et autres [47].

^aUtilisé par le Centre de recherche sur le traitement du paddy (PPRC) de Thiruvapur (Inde).

Figure 31. Instrument de laboratoire pour la séparation du germe d'avec le son de riz



Brève description des rizeries de quelques pays ou régions

Saunders et autres ont rédigé un rapport sur les pertes de riz après récolte qui donne des renseignements sur les installations d'usinage du riz de plusieurs pays [40]. Nous en donnons ici un bref résumé en indiquant les types et qualités de son obtenus dans chaque cas, ainsi qu'un complément d'information provenant d'autres sources, notamment d'un intéressant rapport sur les techniques d'après récolte dans quatre pays d'Asie [48].

Afrique

On estime qu'il existe au Libéria environ 150 installations du type kiskisan et 90 installations à décortiqueur à rouleaux de caoutchouc associés à une machine à blanchir par frottement¹⁶. Dans certain cas, le décortiqueur à rouleaux est utilisé dans un premier temps et le kiskisan pour le blanchiment. Il n'y a au Libéria que trois installations de dimension industrielle, dotées de prénettoyeurs, de décortiqueurs à rouleaux, d'aspirateurs de balle, de séparateurs de paddy et de cônes de blanchiment. On estime que le traitement manuel assure 77 % de la production, les petites usines 20 % et les grandes 3 %. La Sierra Leone possède des installations rurales et industrielles. Les installations rurales sont de plusieurs types. Certaines consistent en un décortiqueur à rouleaux associé à une machine à blanchir par frottement, en une seule passe, d'une capacité de 200 kg/h environ; elles seraient au nombre de 20 environ¹⁷. Une autre installation du même type, mais d'une capacité de 500 kg/h, utilise à l'occasion un prénettoyeur. Un troisième type se compose d'un décortiqueur et d'une machine à blanchir combinés, d'une capacité de quelque 200 kg/h; il y en aurait 350 environ dans le pays. A l'échelon industriel, il y a quelques usines qui ne représentent que 4 % du total du secteur de la transformation, contre 13 % à l'échelon rural. Le traitement à la main représente encore 83 % du total. Dans de nombreux pays, le pilonnage à la main représente encore une proportion considérable du traitement, par exemple 92 % en Gambie et au Nigéria, 62 % au Ghana, 46 % en Côte d'Ivoire et 30 % au Bénin. Les proportions entre les installations rurales, qui sont surtout du type kiskisan, et les installations industrielles, reposant sur l'emploi d'un décortiqueur à rouleaux associé à une machine à blanchir par frottement ou du type kiskisan, sont les suivantes : en Gambie et au Nigéria, 6 % et 2 %; au Ghana, 24 % et 14 %; en Côte d'Ivoire, 31 % et 23 %; au Bénin, 30 % et 40 %.

Bangladesh

Les grandes usines du Bangladesh ne transforment que de 2 à 6 % du riz produit; elles sont situées dans les zones urbaines ou dans leur voisinage. Dans les zones rurales, deux types de techniques sont en usage : le procédé manuel et le "huller"; ce dernier traite 20 % du riz produit. Il existe environ 7 600 installations à "huller"; leur capacité varie de 500 à 1 300 kg/h. Les grandes installations industrielles ont des batteries qui peuvent compter jusqu'à 5 machines [49].

¹⁶D'après d'autres sources, il y aurait 400 kiskisans et de 150 à 200 installations dotées de décortiqueurs à rouleaux et de machines à blanchir.

¹⁷D'après d'autres sources, il y en aurait 50.

Indonésie

L'usinage du riz a beaucoup changé en Indonésie depuis quelques années. On estime qu'en dix ans la part de la production traitée par pilonnage à la main est passée de 80 à 20 %¹⁸. Les 700 grandes installations et les 7 000 petites, qui donnaient jusqu'à 7,5 et 2,5 tonnes par jour, respectivement, en 1968, ont atteint en 1974 le nombre de 1 144 et 28 000, respectivement¹⁹. On utilise encore en Indonésie des installations construites entre 1900 et 1925²⁰. On y introduit, à l'intention des coopératives, de petites installations japonaises comportant soit des décortiqueurs à rouleaux et des machines à blanchir horizontales en une passe, soit des décortiqueurs à rouleaux, des séparateurs de paddy et des machines à blanchir en deux passes.

Japon

La méthode utilisée au Japon a ceci de particulier que le riz est traité en deux étapes. Le paddy est décortiqué et emmagasiné sous forme de riz brun, et n'est blanchi qu'immédiatement avant d'être consommé. Le décortiquage s'effectue dans des machines à rouleaux ou dans des installations coopératives, le son étant blanchi dans de petites machines de type familial et dans des installations dont 500 ont une capacité de 3 à 30 t/h et 20 000 une capacité de 0,5 t/h. Les machines sont très compliquées.

Malaisie

Il existe en Malaisie quatre types d'installations : des "hullers" à passe unique et des installations japonaises à rouleaux (associées à des séparateurs de balle, des séparateurs de paddy et des machines à blanchir [48, 51], ayant les unes et les autres une capacité de 0,5 t/h, et des installations traditionnelles, dont les unes ont une capacité de 2 t/h environ et les autres (normalement équipées de nettoyeurs, de décortiqueurs, de séparateurs et de machines à blanchir et à trier) d'une capacité de 4 à 8 t/h. D'après les chiffres de 1969, elles se répartissaient de la façon suivante : 45 %, 37 %, 6 % et 12 % respectivement du nombre total d'installations. Une partie considérable de la récolte est donc traitée au moyen du "huller" primitif. De nombreuses petites installations japonaises ont été remplacées par des machines à blanchir à cônes munies de freins en caoutchouc, cependant que les installations industrielles ont remplacé les décortiqueuses à meule par des rouleaux en caoutchouc.

Pakistan

Le nombre des rizeries du Pakistan est estimé entre 1 200 et 1 400. Elles sont de deux types : "huller" à deux, trois ou quatre machines d'une capacité respective de 0,25, 0,35 et 0,5 t/h; installations de décortiquage comportant deux

¹⁸Thet Zin et autres [50] estiment à 10 % en 1974 la proportion du riz décortiqué à la main.

¹⁹D'autres sources [48] estiment qu'il y avait en 1974 environ 20 000 installations du type kiskisan, de 6 000 à 7 000 décortiqueurs japonais associés à des kiskisans servant au blanchiment, et un millier d'installations traditionnelles à grande capacité. Une autre source [50] indique qu'il y avait la même année à Java 624 grandes installations et 6 640 hullers, ne représentant que 60,8 % de la production totale du riz, le reste étant assuré par un nombre indéterminé de petites installations.

²⁰Dans les installations anciennes on brûle la balle pour produire de la vapeur.

ou trois machines à blanchir d'une capacité respective de 0,75 et 1 t/h. On a récemment créé une dizaine d'installations automatiques d'une capacité de 5 à 15 t/h [52].

Philippines

Une faible proportion (3 à 5 %) du riz récolté aux Philippines est traitée à la main. La plus grande partie (40 à 55 %) est traitée dans des installations à "huller"²¹ d'une capacité de 500 kg/h environ. A l'échelon industriel, l'installation à cônes est très en faveur. Elle consiste généralement en un décortiqueur à meules et deux cônes de blanchiment. Le riz non décortiqué doit être séparé et rapporté au décortiqueur. La capacité varie de 0,5 à 4 t/h. Certains types modernes comportent des décortiqueurs à rouleaux en caoutchouc avec des machines horizontales à meules ou à rouleaux pour le blanchiment par abrasion et par frottement du réapprovisionnement. Le matériel existant permet de nombreuses combinaisons de traitement (voir figure 32).

République de Corée

La République de Corée possède plus de 20 000 installations dont la plupart ne sont équipées que pour alimenter en riz un seul village. On a signalé en 1971 l'existence de 784 installations relativement importantes, dont 55 % avaient une capacité supérieure à 7 000 t par an [54]. D'une façon générale, le décortiquage s'effectue dans des machines à rouleaux et le blanchiment dans des machines par frottement à cônes ou à réaction. Le rendement moyen est d'environ 120 kg/h.

Sri Lanka

Les usines d'Etat de Sri Lanka, qui traitent un tiers ou moins de la récolte, utilisent toutes sortes d'installations, depuis les modèles modernes japonais ou européens jusqu'aux "hullers". Les installations contingentées, qui traitent la plus grande partie de la récolte, sont d'ordinaire des machines à deux passes avec décortiqueurs à rouleaux en caoutchouc et des machines à blanchir à cône vertical ou du modèle "huller". Les prénettoyeurs et épierreurs sont rarement employés. Plus de 50 % du riz transformé dans des installations privées sont traités au moyen de machines à "huller" en une seule passe.

Thaïlande

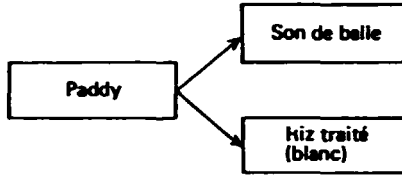
En Thaïlande, outre le traitement à la main encore pratiqué, on se sert, dans les campagnes, de "hullers", de machines à disques abrasifs²² et de "mini-installations", cependant que le secteur industriel emploie un matériel moderne ou modernisé. Ce dernier comporte ordinairement des décortiqueurs à meules

²¹D'après Duff et Estioko [53] les chiffres de 1968 indiquent que les installations à kiskisan, au nombre de 6 991, représentent 80,2 % du total et 53,4 % de la capacité industrielle; pour les installations à cône, au nombre de 1 728, les chiffres correspondants sont 19,8 % et 46,6 % respectivement.

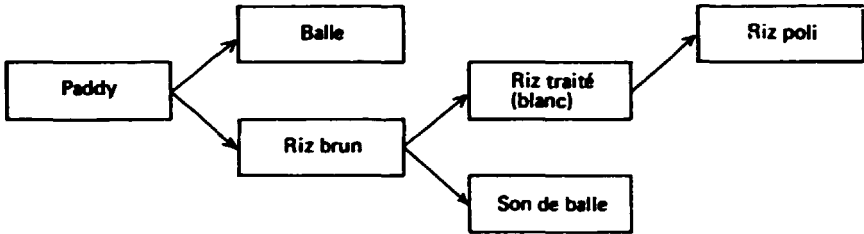
²²Elles fonctionnent sur un principe analogue à celui du décortiqueur. Le rotor a un revêtement abrasif et deux freins en caoutchouc qui font saillie à partir du boltier.

Figure 32. Divers systèmes d'usinage du riz et leur effet sur le son obtenu

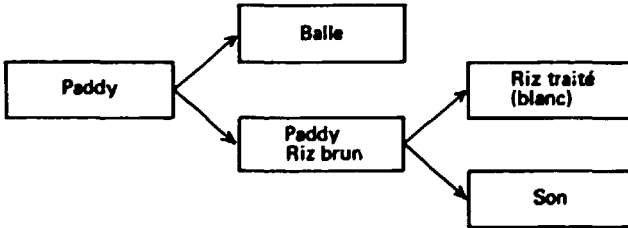
A. *Kishisan sans machine à polir*



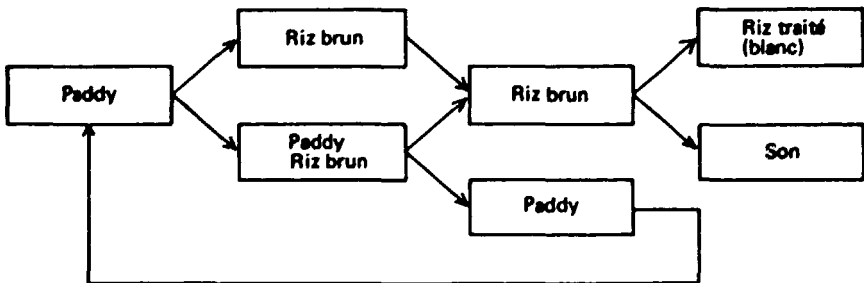
B. *Décortiqueur à rouleaux et kishisan avec machine à polir*



C. *Installation à cônes avec décortiqueur à meules de faible capacité*



D. *Installation à cônes avec décortiqueur à meules de forte capacité*



Source : Duff et Estioko [53].

et des cônes de blanchiment à deux étapes, et consomme un courant électrique créé par la vapeur obtenue en brûlant la balle. Il comporte des tamis de prénettoyage et de triage. Il y a dans certains cas des décortiqueurs à rouleaux à rétroaction, et dans d'autres le décortiqueur à rouleaux a remplacé le décortiqueur à meules classique. Le polisseur à cuir est lui aussi fréquemment employé. On estime qu'il y avait en 1976 environ 800 installations d'une capacité de 2 à 8,3 t/h de paddy, 4 000 d'une capacité de 0,4 à 1,25 t/h et 20 000 environ d'une capacité plus faible.

Amérique latine

Il y a en Colombie environ 450 installations en exploitation. Les plus petites elles-mêmes, d'une capacité de 0,5 t/h travaillent en plusieurs passes. Elles se composent généralement d'un prénettoyeur et d'un décortiqueur à rouleaux et à meules (lorsqu'on dispose des deux modèles, le second sert pour le paddy réapprovisionné), un séparateur de balle pneumatique (qui sépare indépendamment le son de balle d'avec la balle), un séparateur de paddy, des machines à blanchir à cônes, des trieurs et, souvent, des polisseurs à cuir. En Bolivie, les usines sont du vieux modèle européen et ont d'ordinaire des décortiqueurs à rouleaux de caoutchouc. Celles du Brésil et du Pérou sont elles aussi du vieux modèle européen. La capacité moyenne est estimée à 1 à 3 t/h. En Equateur, il y a 2 000 installations environ d'une capacité inférieure à 5 t/h. Elles sont parfois très petites; une installation nouvelle, la plus importante du pays, a une capacité de 20 t/h.

Références

1. T. Chang et E. A. Bardenas, *The Morphology and Varietal Characteristics of the Rice Plant*, Technical Bulletin No. 4 (Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1965).
2. J. K. Santos, "Morphology of the flower and mature grain of Philippine rice", *Philippine Journal of Science*, vol. 52, n° 4 (1933), p. 475 à 503.
3. D. F. Houston, "Rice hulls", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972).
4. T. Srinivas et H. S. R. Desikachar, "Factors affecting the puffing quality of paddy", *Journal of Science and Agriculture*, n° 24, 1975, p. 883 à 891.
5. K. Esau, *Anatomy of Seed Plants* (New York, John Wiley, 1960).
6. B. D. Webb, "Rice quality and grades", *Rice: Production and Utilization*, B. S. Luh, ed. (New York, Avi Publishing, 1980).
7. R. K. Bhattacharya, Rice Technology Course, Kharagpur, West Bengal, Rice Processing Engineering Centre, 1974.
8. B. O. Juliano, "The rice caryopsis and its composition", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972).

9. "The World of millers and middlemen", *The Investor*, février 1976, p. 15 à 20.
10. A. Angladette, *Le riz* (Paris, G. P. Maisonneuve de Larose, 1966).
11. K. Esau, *Plant Anatomy* (New York, John Wiley, 1965).
12. D. B. Bechtel et Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis: the caryopsis coat and the aleurone cells", *American Journal of Botany*, vol. 64, n° 8 (1977), p. 966 à 973.
13. R. R. Little et E. H. Dawson, "Histology and Histochemistry of raw and cooked rice kernels", *Food Research*, vol. 25, n° 5 (1960), p. 611 à 622.
14. S. Barber, L. Navarro et A. Tortosa, "Estudio histológico del germen de arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, n° 2 (1972), p. 232 à 255.
15. J. Cho, "Double fertilization in *Oryza sativa* L. and development of the endosperm with special reference to the aleurone layer", *Bulletin of the National Institute of Agriculture Sciences, Serie D, n° G*, 1956.
16. A. R. del Rosario et autres, "Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel", *Cereal Chemistry*, vol. 45, n° 3 (1968), p. 225 à 235.
17. H. B. S. Desikachar et autres, "Effect of differential maturity of paddy grains in a panicle on their milling quality", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, n° 24, 1973, p. 893 à 896.
18. K. Tanaka et autres, "Subcellar particles isolated from aleurone of rice seeds", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, n° 155, 1973, p. 136 à 143.
19. K. Tanaka, M. Ogawa et Z. Kasai, "The rice scutellum: studies by scanning electron microscope X-ray analysis", *Cereal Chemistry*, vol. 53, n° 5 (1976), p. 643 à 649.
20. M. Ogawa, K. Tanaka et Z. Kasai, "Isolation of high phytin containing particles from rice grains using an aqueous polymer two-phase system", *Agricultural and Biological Chemistry Journal (Tokyo)*, vol. 39, n° 3 (1975), p. 695 à 700.
21. K. Yokochi, "Rice-bran processing for the production of rice bran oil and characteristics and uses of the oil and deoiled bran", *Proceedings of International Conference of Rice By-Products Utilization, Valencia, Spain, 1974* (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. III, p. 1 à 38.
22. K. Hoshikawa, "Studies on the development of endosperm in rice: size and shape and number of endosperm cells in foreign rice varieties", *Nippon Sakumotsu Gakkai Kiji*, n° 37, 1968, p. 87.
23. K. Nagato et Y. Kono, "On the grain texture of rice: relations among hardness distribution, grain shape and structure of endosperm tissue of rice kernel", *Nippon Sakumotsu Gakkai Kiji*, n° 32, 1963, p. 181.
24. H. Mitsuda et autres, "Studies on the proteinaceous subcellular particles in rice endosperm: electron-microscopy and isolation", *Agricultural and Biological Chemistry Journal (Tokyo)*, n° 31, 1967, p. 293.
25. H. Mitsuda et autres, "Fine structure of protein bodies isolated from rice endosperm", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, n° 130, 1969, p. 678 à 680.
26. D. B. Bechtel et Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis: the starchy endosperm", *American Journal of Botany*, vol. 65, n° 6 (1978), p. 684 à 691.
27. W. T. Yamazaki et J. P. Wilson, "Separation of starches into fractions of uniform granule size", in *Methods of Carbohydrate Chemistry*, vol. IV, *Starch*, R. L. Whistler, ed. (Londres, Academic Press, 1964), p. 20 à 24.

28. B. O. Juliano, A. A. Antonio et B. V. Esmana, "Effects of protein content on the distribution and properties of rice protein", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, n° 24, 1973, p. 295 à 306.
29. B. O. Juliano, "Rice lipids", *Il riso*, vol. 26, n° 1 (1977), p. 3 à 21.
30. S. Barber, "Milled rice and changes during ageing", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), chap. 9, p. 215 à 263.
31. B. M. Kennedy, "Nutritional quality of rice endosperm", *Rice Production and Utilization*, B. S. Luh, ed. (New York, Avi Publishing, 1980), chap. 11, p. 439 à 469.
32. F. Gariboldi, *E! Sancochado del arroz*, Cuadernos de Fomento Agropecuario No. 97 (Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1974).
33. E. V. Araullo, D. B. de Pajua et M. Graham, eds., *Rice: Postharvest Technology* (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1976).
34. J. J. Spadaro, J. Matthews et J. I. Wadsworth, "Milling", *Rice Production and Utilization*, B. S. Luh, ed. (New York, Avi Publishing, 1980), chap. 9, p. 350 à 402.
35. L. Borasio et F. Gariboldi, *Glosario ilustrado de máquinas para la elaboración del arroz* (Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1957).
36. H. van Ruiten, "Milling: husk separation", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua et M. Graham, eds. (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1976), p. 230 à 240.
37. F. Gariboldi, *Rice Milling Equipment: Operation and Maintenance*, Bulletin n° 22 (Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1974).
38. H. van Ruiten, "Milling: precleaning", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua et M. Graham, eds. (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1976), p. 207 à 216.
39. Y. Koga, "Drying, husking and milling of rice in Japan: rice milling", *Farming Japan*, août 1969.
40. R. M. Saunders et autres, "1978 survey of rice postharvest losses during threshing, drying, parboiling, milling, and the potential for reducing such losses in developing countries", *Rice Postharvest Losses in Developing Countries* (Berkeley, California, United States Department of Agriculture, 1980).
41. J. Wimberly, "Milling: comparative performance", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua et M. Graham, eds. (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1976), p. 273 à 277.
42. P. Pillaiyar et autres, "Low cost modernization of huller rice mills for the production of high quality bran and its stabilisation", Séminaire sur l'huile de son de riz comestible, Bombay, 25 novembre 1977.
43. V. S. Aggarwal, "Modernization of rice milling industry and edible rice bran oil process and prospects", Séminaire sur l'huile de son de riz comestible, Bombay, 25 novembre 1977.
44. Inde, Ministère de l'agriculture et de l'irrigation, Département de l'alimentation, *Low-cost Modernization for Single Huller Rice Mills* (New Delhi, 1976).
45. S. Barber et C. Benedito de Barber, "Basic and applied research needs for optimizing utilization of rice bran as food and feed", *Proceedings of International Conference of Rice By-Products Utilization, Valencia, Spain, 1974* (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1977), vol. IV, p. 1 à 99.

46. T. C. Mishra, P. K. Chattopadhyay et P. K. Chand, "Design, development and testing of pneumatic rice germ separators", *RPEC Reporter*, vol. 2, n^o 1 (1976), p. 54 à 55.
47. B. S. Vasan et autres, "Separation, processing and utilization of rice germ", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 16, n^o 3 (mai-juin 1979), p. 116 à 118.
48. D. B. de Padua, *Postharvest Rice Technology in Indonesia, Malaysia, the Philippines, Thailand* (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1974).
49. Bangladesh, Ministère de l'agriculture, *Report of the Task Force on Rice Processing and By-product Utilization in Bangladesh* (Dacca, 1978).
50. U. Thet Zin et autres, *Task Force for Rice Grading, Storage and Processing in Indonesia* (Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1974).
51. J. B. Shamsudin, *Quality of Rice Bran: Main Consideration in the Establishment of Bran Oil Extraction Plant* (Kuala Lumpur, Ministère de l'agriculture et des coopératives, 1968).
52. S. A. Khan, "PCSIR's programme for utilization of by-products of the rice milling industry", *Pakistan Journal of Science*, vol. 31, n^{os} 3 à 6 (1979), p. 143 à 149.
53. B. Duff et I. Estioko, "Implementation: design criteria", *Rice Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua and M. Graham, eds. (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1976), p. 289 à 307.
54. T. Kwon et J. Jo, "An assessment of rice processing and storage in the Republic of Korea", *Rice Report 1975*, S. Barber, H. Mitsuda y H. S. R. Desikachar, eds. (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1975), p. 80 à 87.

II. Principes fondamentaux de la stabilisation du son de riz

Valeur et objectif final de la stabilisation

Stabilisation et poststabilisation

Le mot "stabilisation" dans son sens le plus large s'applique à l'ensemble du processus, depuis le moment où le son est produit à la rizerie jusqu'à celui où il est consommé par le bétail ou utilisé comme matière première d'une nouvelle transformation. Ce mot est cependant employé dans un sens beaucoup plus restreint — et c'est ainsi qu'il l'est ici — pour désigner une méthode de traitement destinée à limiter ou à empêcher la détérioration du son de riz; ce traitement se déroule normalement au cours de la brève période qui lui est consacrée après la production, et ne comprend pas le stockage et le transport. Signalons que l'acception plus large du terme, encore que moins souvent utilisée, convient mieux au secteur industriel car la survie du produit exige un processus de stabilisation prolongé. Pour compléter le cycle, il faut donc introduire la notion de poststabilisation. On n'a malheureusement fait que peu de recherches sur la technique de la poststabilisation, et c'est ce qui a en grande partie freiné ses progrès. On peut dire que l'avenir de l'exploitation du potentiel industriel du son de riz dépend aujourd'hui davantage des progrès de la poststabilisation que de ceux de la stabilisation.

Stabilisation et poststabilisation ne sauraient être considérées simplement comme des stades préliminaires de l'extraction de l'huile comestible. Le son ne donne pas que de l'huile comestible; il peut aussi fournir d'autres éléments nutritifs et constitutifs qui se prêtent à l'utilisation industrielle, mais uniquement au prix d'une stabilisation complète et appropriée.

Coexistence de composants précieux et nocifs

Le son peut contenir en même temps des composants nocifs, qu'il faut combattre ou détruire et des composants précieux, qu'il faut protéger et conserver. Au nombre des composants nocifs il y a les enzymes, les micro-organismes, les insectes, les toxines et les inhibiteurs de la croissance ainsi que les adultérants et les impuretés. D'autre part, l'huile, les protéines, les vitamines et autres éléments nutritifs sont tous utiles.

Les enzymes — notamment les lipases —, les micro-organismes et les insectes sont les principales causes de détérioration du son. La stabilisation a pour but d'entraver leur activité ou, de préférence, de les détruire, afin

d'empêcher cette détérioration. Rien ne sert de désactiver des enzymes nocifs si les micro-organismes capables de les créer restent actifs. La poststabilisation a pour but de maintenir au minimum les niveaux d'activité et d'empêcher une contamination venant de l'extérieur. Il y a plusieurs moyens d'y parvenir, dont la chaleur, les rayonnements et les compositions chimiques. La viabilité technique et économique à l'échelon industriel n'est pas le seul critère de succès. Il importe aussi de conserver les éléments constitutifs utiles. En fait, des procédés qui, tout au moins en principe, remplissent le rôle qui leur est assigné en attaquant les composants nocifs risquent aussi de porter atteinte aux composants utiles, ce qui abaisse la valeur du son en tant que matière première. La stabilisation doit être donc considérée comme une manière de compromis en matière de traitement; elle ramène les composants nocifs à un niveau sans danger, comportant un risque acceptable, tout en conservant le plus possible la qualité et la quantité des éléments constitutifs utiles du son.

Pour comprendre le processus de la stabilisation ainsi que la portée et le sens des solutions proposées jusqu'à présent, il est bon de commencer par passer en revue les principes fondamentaux qui déterminent la stabilité des composants tant nocifs qu'utiles. Nous examinerons d'abord la destruction des micro-organismes, ensuite la désactivation des enzymes et autres composants nocifs, et, enfin, les éléments constitutifs utiles du son.

Destruction des micro-organismes

La stérilisation implique la destruction de toutes les formes de vie. D'autres procédés, moins absolus, sont la "pasteurisation" et la "désinfection". La destruction thermique, ou mort d'un micro-organisme, signifie la perte, due à des changements de température, de son aptitude à se reproduire dans des conditions favorables. Il s'agit plus spécialement dans ce chapitre des spores bactériens qui sont les systèmes microbiologiques les plus résistants à la chaleur.

Les agents stérilisants peuvent être physiques ou chimiques. On ne saurait toutefois faire de distinction nette entre leurs diverses actions, car des agents physiques peuvent entraîner la formation de substances chimiques, cependant que des agents chimiques peuvent provoquer des changements physiques, mortels dans un cas comme dans l'autre. L'agent le plus caractéristique est la chaleur, qui peut être sèche ou humide. La vapeur sous pression stérilise rapidement les substances et les surfaces perméables. La chaleur sèche agit plus lentement et exige des températures plus élevées. La destruction thermique des cellules et des spores bactériens est une fonction exponentielle du temps.

Destruction thermique

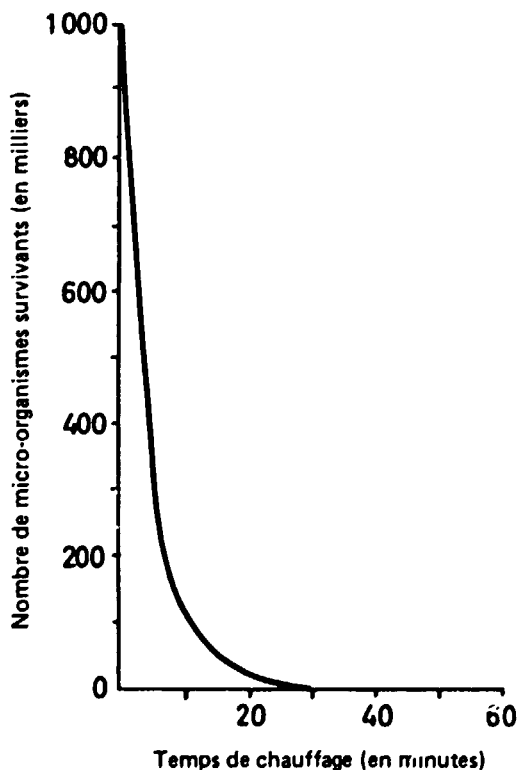
Courbe du rapport entre destruction thermique et temps

Afin de vérifier les effets d'un traitement thermique sur la population microbiologique, on traite des parties aliquotes de l'échantillon à une température donnée pendant des laps de temps variables et l'on détermine ainsi

le nombre restant de micro-organismes capables de se reproduire, c'est-à-dire de former des colonies. La courbe de la figure 1 montre le rapport entre le nombre des micro-organismes survivants et la durée du traitement à une température donnée. Dans la pratique, la population microbiologique initiale peut être de 10^6 à 10^7 micro-organismes par gramme et la population finale de 10^1 à 10^3 micro-organismes par gramme. Il n'est guère possible de représenter des changements de cette ampleur à une échelle linéaire, surtout quand le nombre des micro-organismes restés vivants avoisine zéro. On peut vaincre cette difficulté en employant l'échelle logarithmique pour le nombre des micro-organismes survivants et l'échelle linéaire pour la durée du traitement, ce qui donne ce qu'on appelle une courbe semi-logarithmique (voir figure 2).

On obtient généralement de cette façon une ou deux lignes droites (voir figures 2 et 3)¹. La forme de la courbe pour un genre donné de micro-

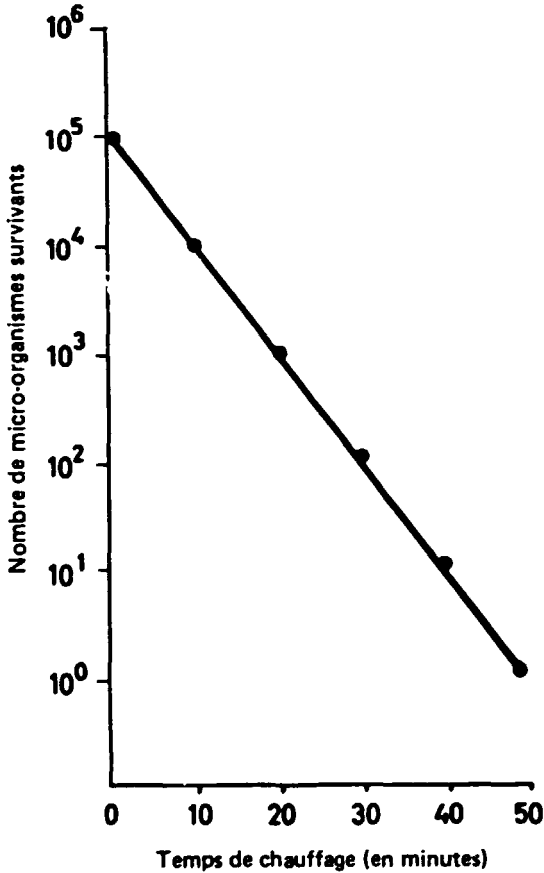
Figure 1. Représentation à l'échelle linéaire des changements du nombre des micro-organismes survivants après traitement thermique



Source : Pflug et Holcomb [1].

¹ Les courbes peuvent aussi être paraboliques ou sigmoïdes.

Figure 2. Graphique semi-logarithmique montrant le nombre de micro-organismes survivant à un traitement technique en fonction du temps



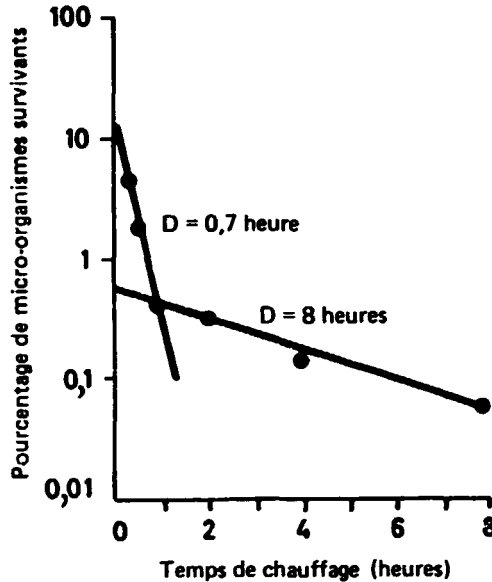
Source : Pflug et Holcomb (1).

organismes peut varier selon la température et la méthode d'essai appliquée. Les échantillons à flore hétérogène naturelle donnent généralement une courbe telle que celle de la figure 3; il y a généralement une grande population de micro-organismes présentant une faible résistance à la chaleur et une petite population présentant une forte résistance.

Modèle de destruction thermique de Rahn

En supposant que la mort thermique des micro-organismes soit due à la désactivation d'une molécule critique de la cellule, ce qui est une réaction du premier ordre, le nombre de micro-organismes N_t après un temps t est

Figure 3. Graphique semi-logarithmique de la survie des micro-organismes dans un échantillon à microflore hétérogène naturelle



Légende :

D = temps nécessaire pour qu'une population N soit ramenée à $N/10$, ou temps nécessaire pour détruire 90 pour cent de la population N .

Source : Pflug et Holcomb [1].

$dN_t/dt = -kN_t$, où k est la vitesse de réaction (supposée constante). L'expression suivante s'obtient par intégration; $N_t = N_0e^{-kt}$ où N est le nombre initial de micro-organismes. En représentant par U le temps écoulé à la température du traitement et en introduisant une nouvelle constante D au moyen de la substitution $K = 1/D \log e$, nous obtenons $\log N_U = -(U/D) + \log N_0$. La courbe semi-logarithmique de N_U en fonction de U sera une ligne droite présentant une pente de $-1/D$. La constante D est considérée comme le temps nécessaire pour que la population N soit ramenée à $N/10$, ou pour que la courbe soit déplacée d'un cycle logarithmique — c'est-à-dire le temps nécessaire pour détruire 90 % de la population bactérienne existant au moment où commence le traitement. Un tiers environ des courbes déterminées expérimentalement pour des cultures homogènes concordent avec le modèle de Rahn.

Coefficient de température

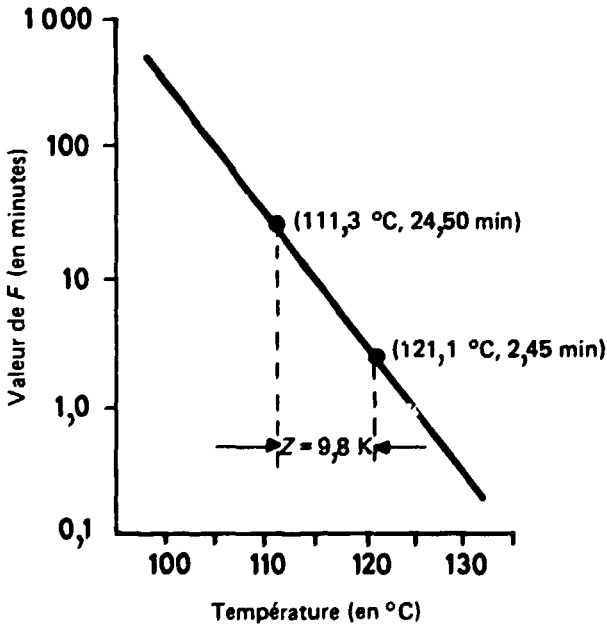
Le coefficient de température se définit normalement comme le changement du taux de destruction thermique qui se produit pour un changement de

température de 10 kelvins : $Q_{10} \equiv k_{T+10}/k_T$ où T est la température absolue. Pflug et Holcomb [1] donnent la gamme suivante des valeurs de Q_{10} dans le processus de destruction thermique des bactéries :

Chaleur sèche 2,2-4,6
Chaleur humide 6,8-100

Si l'on trace la courbe du logarithme de temps nécessaire pour détruire un nombre donné de micro-organismes en fonction de la température, on obtient une ligne droite qui représente la fonction F_T du temps de destruction thermique (TDT) (voir figure 4), dont l'équation est $\log F_T^Z = (1/Z)(T_B - T) + \log F_{T_B}^Z$ où T_B est la température de base et Z le changement de température qui entraîne une multiplication ou une division par dix de F^2 . Il est relié au coefficient de température Q_{10} par l'équation $Z = 10/\log Q_{10}$. Les valeurs de F et de Z définissent le comportement des micro-organismes sous un traitement thermique donné. Le TDT à une température donnée s'obtient graphiquement d'après la courbe TDT ou par calcul à partir de l'équation ci-dessus (voir Costell et Durán [3]).

Figure 4. Temps de destruction thermique en fonction de la température



Source : Townsend, Esty et Baselt [2].

²C'est aussi le changement de température nécessaire pour modifier D d'un facteur de 10. Si l'on trace $\log D$ en fonction de T , la ligne droite obtenue est connue sous le nom de "ligne de résistance à la chaleur" [1].

La gamme des valeurs de Z dans les destructions thermiques de spores est la suivante [1] :

Chaleur sèche 15-30 K

Chaleur humide 5-12 K

Par rapport à l'air chaud et pour une même molarité, la vapeur saturée à 121 °C donne au moins sept fois la chaleur fournie par l'air à la même température. L'air chaud met à peu près 2 000 fois plus de temps que la vapeur pour détruire le *Bacillus subtilis* var. *niger* à cette température.

Facteurs affectant la destruction thermique des micro-organismes

Des formes différentes de race et de souche d'une même espèce peuvent donner des cellules ou des spores présentant des résistances à la chaleur différentes dans le même milieu et sous des conditions de traitement identiques. Les conditions de l'environnement pendant la formation des cellules et des spores entraînent elles aussi des différences de ce genre. Les conditions du milieu pendant le traitement présentent une importance capitale. Une gamme de pH de 6,0 à 8,0 indique normalement la faible résistance à la chaleur des micro-organismes. Les variations à l'intérieur de cette gamme ne sont pas d'ordinaire très grandes, mais il y a une chute brutale aux environs de pH 5,5.

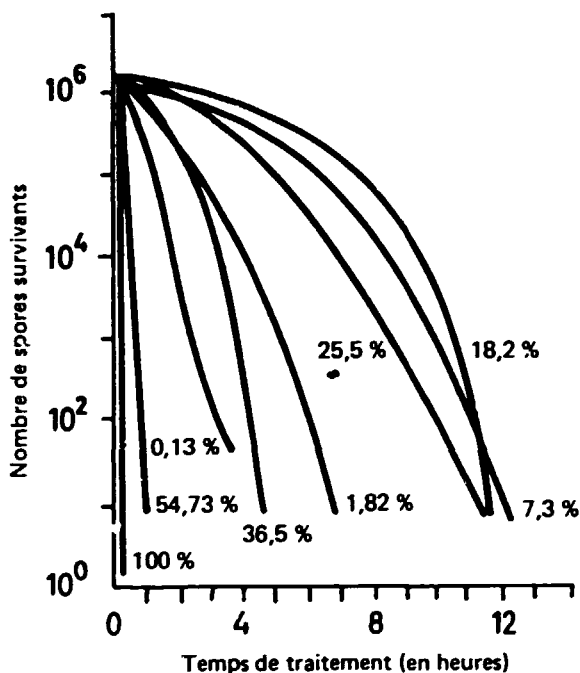
Le riz et le son sont des substances qui contiennent certains micro-organismes facilement détruits par la chaleur sèche et d'autres, notamment ceux qui proviennent du sol, qui sont difficiles à détruire. La microflore normale du sol est variable et hétérogène et le graphique des micro-organismes qui survivent au traitement thermique ressemble à la figure à deux lignes droites (voir figure 3). C'est pourquoi il n'est pas possible d'utiliser la valeur de D qui est un paramètre d'une unique ligne droite.

Des recherches à base de modèles faites sur des spores de laboratoire ont montré que le mode d'action de la chaleur sèche comporte trois variables primaires — température, teneur en eau et temps — et trois variables secondaires — système ouvert ou fermé, propriétés physiques et chimiques des micro-organismes et atmosphère gazeuse. Dans le cas de la chaleur sèche, la température est la variable la plus importante.

Dans la gamme des températures de 90 à 125 °C, les spores d'une teneur en eau moyenne (en équilibre avec une teneur en humidité relative de 20 à 50 %) sont plus résistants à la chaleur (valeur de D plus élevée) que ceux dont la teneur en eau est supérieure ou inférieure (voir figure 5); dans ces conditions Z est de 21 K environ, alors qu'il est de 8 à 10 K lorsque l'humidité relative est de 100 % (chaleur humide) [1].

La destruction des micro-organismes par la chaleur humide est caractérisée par une humidité relative de 100 % et il y a par conséquent présence d'une certaine quantité d'eau à l'état liquide. D'autre part, dans le cas de la chaleur sèche, il n'y a pas d'eau à l'état liquide et la valeur de l'humidité relative peut être à n'importe quel niveau au-dessous de 100 %. Comme le taux de destruction des cellules microbiologiques séchées est fonction de leur teneur en eau, qui est déterminée à son tour par l'humidité relative de l'atmosphère, le taux de destruction varie avec l'humidité relative qu'il faut par conséquent

Figure 5. Effet de l'humidité relative sur la désactivation du *Bacillus subtilis* var. *niger* à 25° C



Source : Campell [4].

préciser, en même temps que la température de traitement, chaque fois qu'on mentionne les taux sous chaleur sèche. A l'état d'équilibre, l'humidité relative de l'atmosphère environnant la cellule est théoriquement équivalente à l'activité a_w de l'eau à l'intérieur de la cellule. Si l'on connaît l'humidité relative du traitement, c'est d'elle qu'il faut faire état et non de la teneur en eau.

L'importance qui s'attache à contrôler la teneur en humidité pendant le traitement thermique est donc évidente. Les principaux paramètres des systèmes "fermés", ceux où la substance est hermétiquement scellée, sont la teneur initiale en humidité et le volume du conteneur ou du récipient. Dans le cas des systèmes "ouverts", la substance à traiter peut perdre ou absorber une quantité illimitée d'humidité du moment que le système est plus sec que l'atmosphère.

Lorsqu'on étudie la destruction des micro-organismes par la chaleur sèche, il faut connaître la température et la teneur en eau des spores pendant la durée du traitement sans quoi les résultats sont sans valeur.

Destruction des micro-organismes par les rayonnements ionisants

Les effets des rayonnements ionisants

L'emploi des rayonnements ionisants est à l'heure actuelle un procédé trop coûteux de destruction des micro-organismes présents dans les aliments. La sensibilité des produits au rayonnement et le manque d'épreuves toxicologiques appropriées y mettent eux aussi obstacle. Cette méthode mérite toutefois au moins un bref examen.

Le rayonnement peut être électromagnétique ou faire intervenir des particules. Les rayons ultraviolets, les rayons gamma et les rayons X appartiennent à la première catégorie, et les rayons alpha, les rayons bêta, les neutrons, les mésons, les positrons et les neutrinos à la seconde. Les rayons bêta (électrons) sont les plus fréquemment employés. Les rayons X et gamma ont une puissance de pénétration considérable, comme les électrons, à condition d'être artificiellement accélérés.

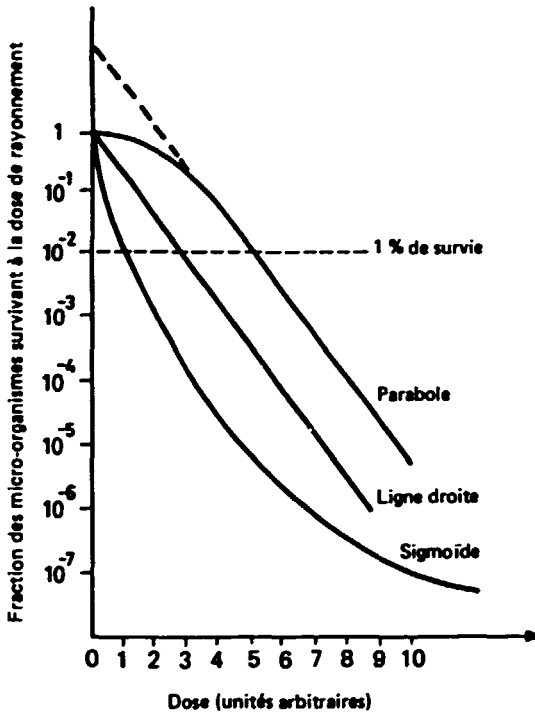
Ces formes de rayonnement produisent des ions, des radicaux libres et des molécules excitées dans les substances qui les absorbent. Du fait de sa nature discrète et de son aptitude à pénétrer dans les substances, le rayonnement a toutefois des effets qui sont précis et localisés. Les effets secondaires, dus à l'action des électrons dotés d'une énergie suffisante, élargissent les zones affectées mais restent localisées. Ces réactions sont très rapides : dans l'eau, l'ionisation primaire se produit en 10^{-18} à 10^{-16} secondes et l'ionisation secondaire en 10^{-12} à 10^{-11} secondes; les produits moléculaires apparaissent en 10^{-7} secondes environ.

Les compositions naturelles subissent diverses modifications chimiques lorsqu'elles sont soumises à des rayonnements ionisants. L'eau irradiée, par exemple, peut contenir des quantités appréciables de radicaux libres H et OH, qui réagissent pour former H_2 , H_2O et H_2O_2 , et réagissent aux substances dissoutes. Des quantités appréciables de radical hydroperoxyde HO_2 se produisent en présence de l'oxygène. Ce radical et l'eau oxygénée (H_2O_2) produits peuvent agir comme oxydants ou comme réducteurs.

Courbe de la relation entre destruction des micro-organismes et dose de rayonnement

Les courbes représentant les modifications du logarithme des micro-organismes survivants en fonction de la dose de rayonnement peuvent être paraboliques, rectilignes ou sigmoïdes (voir figure 6). L'équation d'une droite est $N/N_0 = e^{-(d/d_0)}$ où N/N_0 est la fraction de micro-organismes survivant à une dose d et d_0 la dose létale, c'est-à-dire celle qui entraîne la destruction de 63 % des micro-organismes. Le terme d_{10} , qui représente la dose nécessaire pour réduire la population microbiologique d'un cycle logarithmique, sert à exprimer le taux de survie. Il est facile à obtenir quand la ligne de destruction est une droite, mais plus difficile lorsqu'il s'agit de courbes. Plusieurs équations ont été proposées pour les cas de ce genre [5].

Figure 6. Courbes montrant la destruction des micro-organismes par les rayonnements ionisants



Source : Silverman et Sinsky [5].

Résistance des micro-organismes aux rayonnement ionisants

La résistance des micro-organismes aux rayonnements ionisants est très variable. Les spores des bactéries sont, à de rares exceptions près, les plus résistants, les bâtonnets qui réagissent négativement à l'essai de Gram, sont les plus sensibles et les levures et les moisissures offrent une résistance moyenne (voir tableau 1). Il faut signaler à ce sujet que certaines circonstances (telles que l'état physiologique du micro-organisme et la composition du milieu) peuvent provoquer des variations de la résistivité. Les produits dans lesquels la microflore n'est pas uniformément répartie peuvent nécessiter l'application d'une dose supplémentaire.

Une dose de rayonnement beaucoup plus forte est nécessaire pour désactiver les enzymes et détruire l'aptitude des micro-organismes à se reproduire (voir tableau 1), c'est pourquoi il faut administrer à certains produits un traitement thermique supplémentaire afin de les rendre tout à fait stables.

Un traitement par 4 à 5 mégarads compromet la qualité des aliments.

TABLEAU I. RÉSISTANCE DE DIVERSES UNITÉS BIOLOGIQUES
AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Espèce	d_{10} (en mégarads)	Milieu
Cultures de spores anaérobies		
<i>Clostridium botulinum</i>		
Type A NCTC 7272	0,12	Eau
Type B 53	0,33	Tampon
<i>Clostridium welchii (perfringens)</i>		
Type A	0,12	Eau
Type F	0,20	Eau
<i>Bacillus subtilis</i>	0,66	Salin plus gélatine (5 %)
Bactéries végétatives		
<i>Salmonella typhimurium</i>	0,02	Tampon de phosphate
<i>Pseudomonas sp.</i>	0,003-0,006	Tampon de phosphate
Levures		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,05	Salin plus gélatine (0,5 %)
Moisissures		
<i>Aspergillus niger</i>	0,047	Salin plus gélatine (0,5 %)
<i>Penicillium notatum</i>	0,02	Salin plus gélatine (0,5 %)
<i>Traitements nécessaires pour une destruction complète</i>		
	(en mégarads)	
Désactivation des enzymes	2,0-10,0	
Désinfection	0,1-0,5	
<i>Clostridium botulinum</i>	0,37	Poulet en boîte

Source : Silverman et Sinsky [5].

Note : Les coléoptères sont plus sensibles aux rayons gamma que les lépidoptères : 25 000 rads exterminent toutes les phases des coléoptères : *Sitophilus oryzae* et *Tribolium confusum* mais il faut plus de 100 000 rads pour stériliser le lépidoptère *Sitotroga cerealella* [6].

Désactivation des enzymes

Principes fondamentaux

Dénaturation des protéines enzymatiques et perte d'activité

Les enzymes sont des protéines. Lorsqu'une molécule de protéine dans sa phase secondaire, tertiaire ou quaternaire subit un changement autre que la fission des liens covalents, on dit qu'elle a été dénaturée. La dénaturation consiste en la rupture des liens avec un pont d'hydrogène, une interaction hydrophobique et des ponts salins, et en un déploiement de la protéine [7]. Une des principales conséquences de la dénaturation est la perte partielle ou totale de l'activité enzymatique.

La sensibilité d'une protéine à la dénaturation est déterminée par la facilité avec laquelle l'agent dénaturant porte atteinte à la structure tridimensionnelle intégrale de la molécule. A mesure que les enzymes changent de structure, leur sensibilité aux divers agents et les changements qu'ils subissent doivent eux aussi varier considérablement. Cela signifie qu'une forme donnée de traitement n'affectera pas de la même façon la lipase et la lipoxygénase. De même, quand la dénaturation a lieu dans des conditions différentes, les changements diffèrent eux aussi.

Désactivation réversible et irréversible

La dénaturation de la protéine enzymatique peut être irréversible si les conditions du traitement sont suffisamment dures, ou réversible si elles sont suffisamment douces. Dans ce dernier cas, on peut définir une constante d'équilibre K pour la réaction E (enzyme) = E_d (enzyme dénaturé) qu'on extrairait de l'équation $K = [E]/[E_d]$. La modification de l'énergie libre ΔF serait donnée par l'expression $\Delta F^0 = -2,3 RT \log K$, où ΔF^0 est la différence d'énergie libre entre un système où tous les réactifs se trouvent en quantités équimoléculaires, R est la constante gazeuse et T la température absolue une fois que l'état d'équilibre est atteint. Si $K > 1$, ΔF^0 est négatif et la dénaturation s'approche de l'équilibre. Si $K < 1$, ΔF^0 est positif et la dénaturation s'éloigne de l'état d'équilibre [8].

Energie d'activation

Une quantité d'énergie définie E_a est nécessaire pour activer les molécules de manière à permettre à une réaction chimique ou biologique de se produire, comme l'indique l'équation d'Arrhenius $k = A \exp (-E_a/RT)$ où k le taux de réaction et A (connu sous le nom de "facteur de fréquence") ainsi que E_a (appelé l'énergie d'activation) est une constante empirique. En donnant la forme logarithmique et en intégrant entre les limites T_1 et T_2 on obtient l'expression suivante :

$$\log (k_2/k_1) = \frac{E_a}{2,3 R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1}$$

On détermine l'énergie d'activation en traçant la courbe de $\log k$ en fonction de $1/T$, la pente étant égale à $-0,052 E_a$ (joules). L'énergie d'activation est beaucoup plus élevée dans la dénaturation des protéines que dans d'autres réactions chimiques.

Agents dénaturants (ou désactivants)

Les protéines enzymatiques peuvent être dénaturées par des agents physiques et chimiques. Le principal dénaturant physique est la chaleur; il y a aussi les rayonnements ionisants, les rayons ultraviolets, la pression, et la tension interfaciale.

Désactivation des enzymes par la chaleur

Stabilité thermique des enzymes

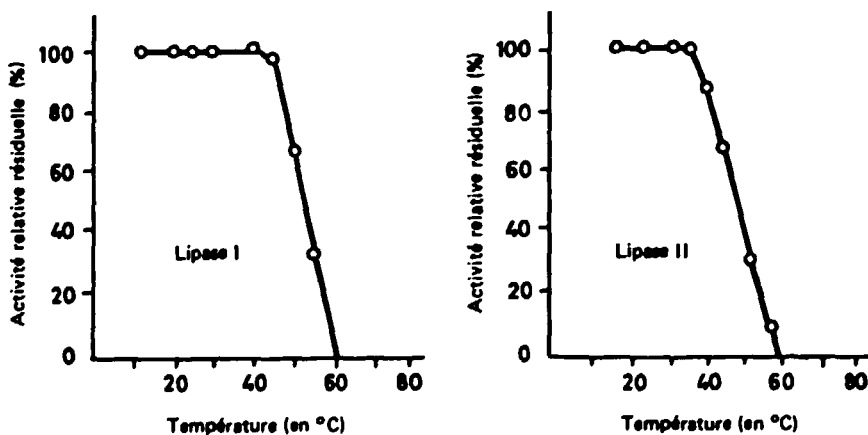
Aizono et autres [9, 10] ont étudié la variation de la stabilité des lipases I et II séparées du son de riz et chauffées (voir figure 7). L'enzyme a été incubé à diverses températures à pH 6,5 pendant 15 minutes en présence de CaCl_2 . Dans le cas de la lipase I, on a déterminé l'activité résiduelle en employant la tributyrine sous N_2 à pH 7,5 et 35 °C. On a constaté que la lipase I était stable au-dessous de 40 °C et la lipase II au-dessous de 30 °C (voir figure 7). La lipase I a cessé d'être active après traitement à 60 °C pendant 15 minutes et la lipase II à 57 °C pendant le même laps de temps. Il faut signaler que la stabilité thermique des enzymes pures est différente de celle que l'on constate *in situ* dans le son lorsqu'elles sont protégées par d'autres composants. Mais les enzymes en solution ne manifestent pas la même stabilité que sous la forme déshydratée ou à des niveaux intermédiaires de teneur en humidité (voir plus loin).

Courbe de la désactivation thermique

Le taux de la dénaturation protéique dépend en grande partie de la température. Alors que dans le plupart des réactions chimiques la vitesse de réaction double à chaque augmentation de 10 K de la température, celle de la dénaturation des protéines peut être multipliée par 600 pour la même augmentation.

La dépendance à l'égard de la température (au-delà d'une certaine valeur critique) résulte de deux effets opposés : premièrement l'accélération de la

Figure 7. Effet de la chaleur sur la stabilité des lipases du son de riz

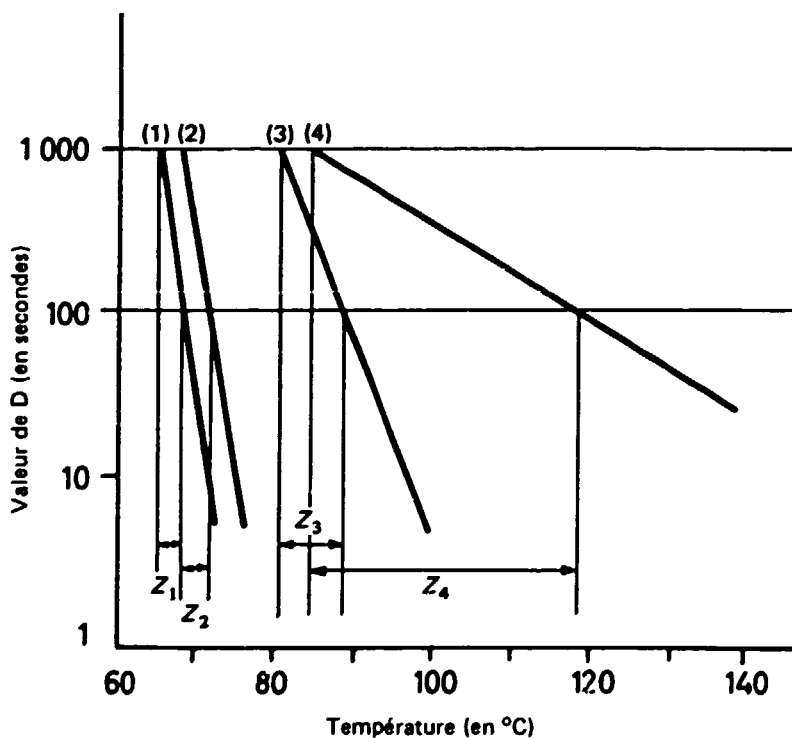


Source : Aizono et autres [9, 10].

réaction enzymatique et deuxièmement celle de la dénaturation de la protéine enzymatique. La vitesse de dénaturation augmente beaucoup plus vite que celle de la réaction catalysée par l'enzyme. En général, les enzymes commencent à subir la dénaturation thermique au-delà de 45 °C.

Là encore, on peut utiliser une équation analogue à celle qui sert à déterminer la variation de la vitesse de destruction thermique des micro-organismes en fonction de la température. La figure 8 montre cette relation entre désactivation thermique et température pour les enzymes de la pomme de terre. La valeur de Z — c'est-à-dire l'augmentation de température nécessaire pour ramener D à 10 % de sa valeur primitive — pour chaque enzyme est facile à déterminer d'après les courbes. On peut voir que les enzymes les plus

Figure 8. Tracés semi-logarithmiques montrant la relation entre désactivation thermique de divers enzymes et la température



Légende :

1. Acrylhydrolase lipolytique $Z_1 = 3,1 \text{ K}$
2. Lipoxygénase $Z_2 = 3,6 \text{ K}$
3. Polyphénoloxydase $Z_3 = 7,8 \text{ K}$
4. Peroxydase $Z_4 = 35 \text{ K}$

Valeur de D = durée du traitement nécessaire pour ramener l'activité enzymatique à 10 % de sa valeur primitive

Z = Augmentation de température nécessaire pour ramener D à 10 % de sa valeur primitive

Source : Svensson [11].

résistants à la chaleur présentent des valeurs de Z plus élevées — la pente de la ligne droite est moins accusée. Cela signifie que, d'une façon générale, les enzymes qui résistent le mieux à la chaleur dépendent moins de la température (leur activité varie moins) que les enzymes moins résistants.

L'énergie d'activation E pour la catalyse, qu'on peut déterminer à partir de Z , est de 25-65 kJ/mol, alors que pour la dénaturation enzymatique elle varie entre 200 et 630 kJ/mol. Cela signifie que l'enzyme sera relativement stable aux températures inférieures, mais que la dénaturation se produira très rapidement aux températures plus élevées, car un nombre relativement important de molécules auront suffisamment d'énergie pour atteindre l'état dénaturé [12].

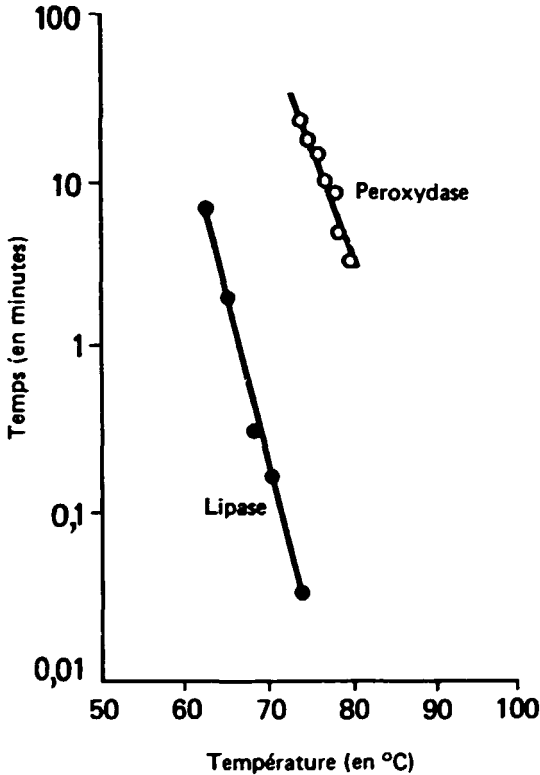
Pour des systèmes enzymatiques hétérogènes, le tracé de la désactivation thermique n'est pas toujours en ligne droite; il peut prendre d'autres formes, comme dans le cas de la destruction thermique des micro-organismes.

Indicateurs de l'efficacité de la désactivation thermique

L'activité enzymatique résiduelle est un indicateur de l'efficacité du traitement thermique. Dans les systèmes contenant des enzymes divers plus ou moins stables (c'est le cas du son) il est bon de prendre pour indicateurs le plus résistant des enzymes présents ou tout au moins des enzymes non susceptibles de jouer par la suite un rôle indésirable s'ils ne sont pas totalement désactivés. La peroxydase est un des enzymes qu'on trouve dans les aliments végétaux qui offrent une grande résistance à la chaleur. C'est pourquoi (et pour pouvoir employer des méthodes de détermination simples et précises) on s'en sert en technologie alimentaire comme indicateur des effets des traitements thermiques. La désactivation de la peroxydase présuppose celle de n'importe quel autre enzyme. Ce critère sert dans de nombreux processus de l'industrie alimentaire et ne se limite pas aux aliments végétaux. Dans le lait, par exemple, les conditions nécessaires pour la destruction de la peroxydase assurent aussi celle de la lipase (voir la figure 9). On a employé avec succès la peroxydase comme indicateur de l'efficacité de la stabilisation du son de riz [13].

Il faut toutefois signaler que les résistances à la chaleur de lipases d'origines diverses présentent de grandes différences, et qu'il existe des lipases extrêmement résistantes produites par des micro-organismes. L'une d'elles est produite par le micro-organisme *Pseudomonas fluorescens*, qui résiste beaucoup mieux à la chaleur que la fraction thermostable de la peroxydase de la pomme de terre (voir figure 10) [11]. Le choix d'un indicateur fiable doit tenir compte de l'éventualité de cas de ce genre. Par exemple, la figure donne la gamme température-temps représentant des valeurs de F entre 2,7 et 10. Aux températures supérieures à 120 °C, le temps de stérilisation est très inférieur à celui qu'il faut pour désactiver l'enzyme à 90 % (tracé de D), ce qui entraîne une désactivation enzymatique insuffisante dans les processus HTST, c'est-à-dire ceux qui comportent une température élevée et un temps de traitement bref. Une combinaison de traitement à température plus basse pendant des laps de temps plus longs (pour la désactivation des enzymes) et de traitements HTST (pour la destruction des micro-organismes) est peut-être à conseiller en présence d'enzymes très résistants à la chaleur ($Z \geq 10$ K).

Figure 9. Relation entre temps et température dans la désactivation de la lipase et de la peroxydase du lait



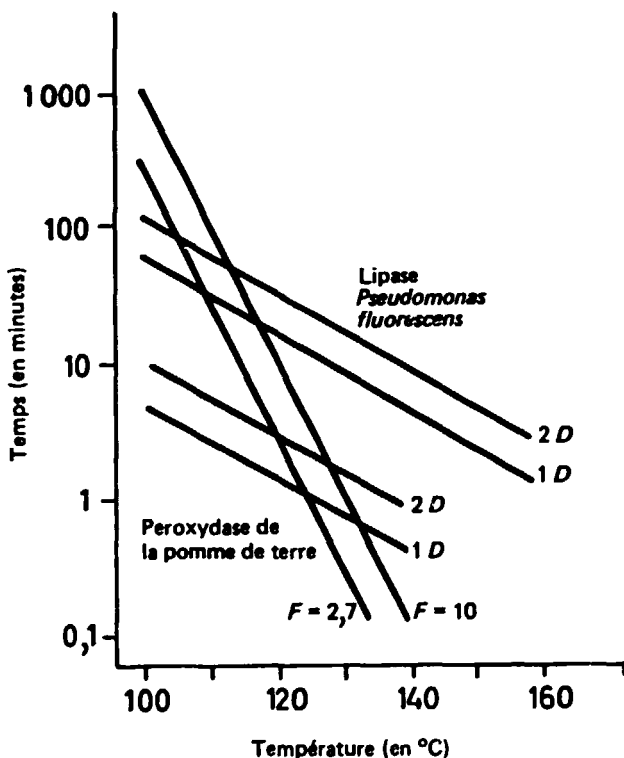
Source : Jenness et Patton [14].

Facteurs agissant sur la désactivation thermique

Teneur en humidité

La vulnérabilité des protéines de la dénaturation thermique dépend de divers facteurs : teneur en humidité, pH, concentration ionique et type des ions présents. L'effet de l'eau est extrêmement important. Par exemple, le germe de blé est dénaturé à peu près autant à 60 °C et 24 % d'humidité qu'à 70 °C et 18 % d'humidité [5]. Les enzymes eux aussi sont plus stables sous la chaleur quand il y a moins d'eau. On a publié à ce sujet des chiffres [13] sur la peroxydase du son de riz dans la gamme des teneurs en humidité de 20 à 35 % (voir figure 11). On a par la suite obtenu des renseignements pour trois températures (90, 100 et 110 °C) dans la gamme des teneurs en humidité de 6 à 18 % pour la peroxydase et la lipase du son de riz (voir figures 12 et 13).

Figure 10. Désactivation thermique d'une lipase microbiologique (*Pseudomonas fluorescens*) et fraction thermostable de peroxydase de la pomme de terre en fonction de la température



Source : Svensson [11].

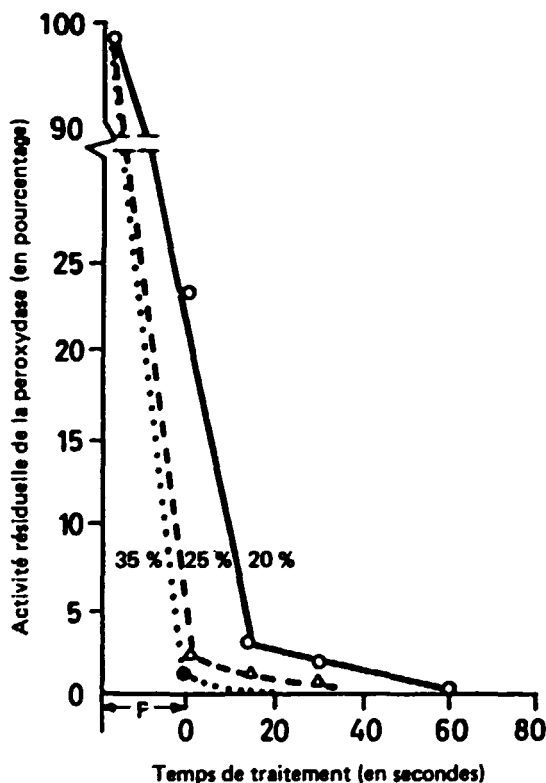
pH

La stabilité thermique des enzymes dépend aussi de la concentration des ions d'hydrogène. La résistance à la chaleur de l'enzyme est normalement plus forte avec des valeurs de pH proches de son point isoélectrique. La figure 14 montre l'effet de pH sur la désactivation thermique de la peroxydase du son de blé à 121 °C avec une teneur en humidité de 35 %.

Activité enzymatique initiale

Les lois qui régissent la désactivation thermique des enzymes et le désir d'éliminer toute activité enzymatique confèrent à l'activité enzymatique initiale un rôle important dans la stabilisation. Elle détermine en partie ce qui restera d'activité après le traitement, comme le montre la figure 15. La combinaison de temps et de température nécessaire pour atteindre un degré donné de désactivation varie selon le niveau de l'activité initiale. Ceci signifie qu'une désactivation qui convient à un lot de son ne conviendra peut-être pas à un autre.

Figure 11. Désactivation thermique de la peroxydase du son de riz; effet de la teneur en humidité du son



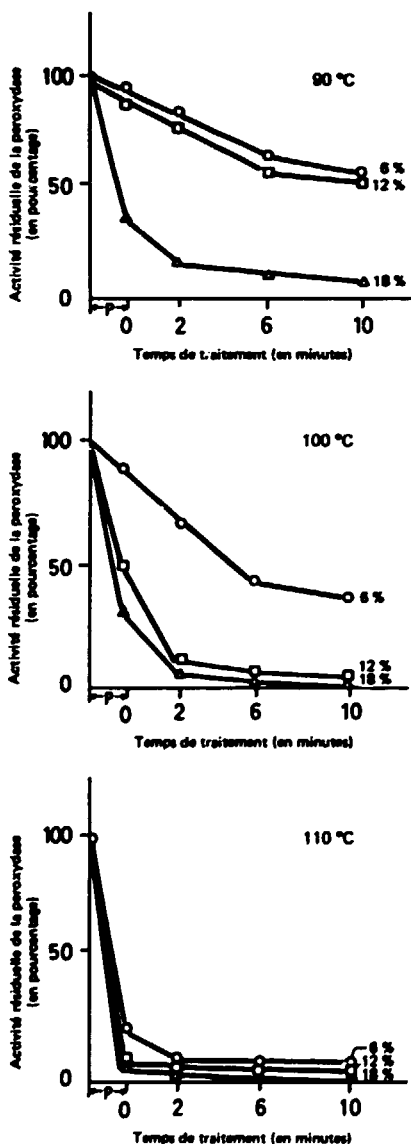
Source : Barber et autres [13].

Note : P représente le temps de préchauffage nécessaire pour atteindre la température requise de 95° C. Les pourcentages indiqués sur les tracés donnent la teneur en humidité du son d'après le poids humide.

Régénération de l'activité enzymatique

Certains enzymes (peroxydase, lipoxygénase, trypsine) peuvent retrouver leur activité catalytique après désactivation par la chaleur. La régénération se produit pendant le stockage après exécution du traitement de désactivation. L'étendue de cette réactivation dépend des conditions dans lesquelles le traitement thermique a été administré et de la température de stockage. La récupération de l'activité catalytique est proportionnelle au taux de désactivation. Les procédés qui combinent des températures élevées avec des temps de traitement brefs (vitesse de désactivation élevée) sont plus propices à la régénération de l'activité enzymatique que ceux qui comportent des températures plus basses associées à des temps de traitement plus longs (faible vitesse de désactivation) pour les mêmes pourcentages de désactivation (voir figure 16).

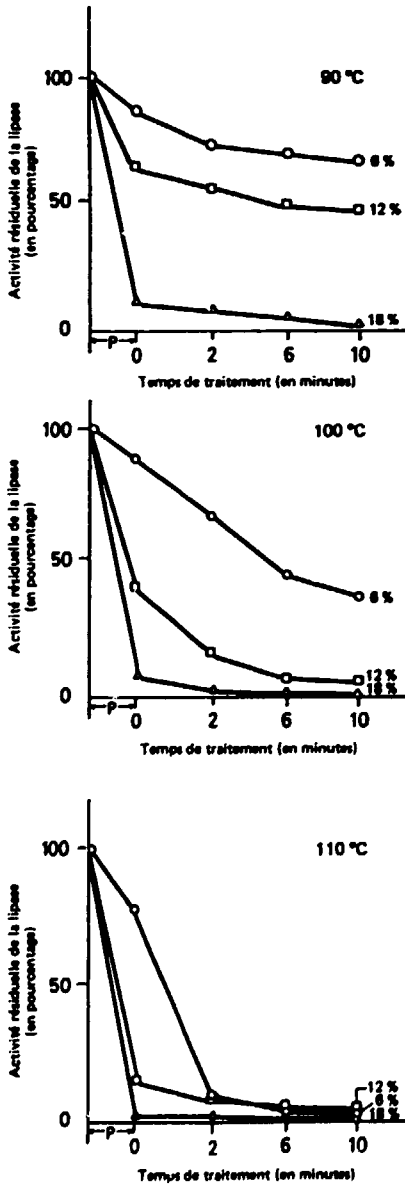
Figure 12. Effets des conditions de stabilisation (teneur en humidité, temps et température) sur l'activité de la peroxydase du son de riz



Source : Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia (Espagne); résultats de V. Cordero et autres, inédits.

Note : P représente le temps de préchauffage nécessaire pour atteindre la température de 95° C requise. Les pourcentages indiqués sur les tracés donnent la teneur en humidité du son d'après le poids humide.

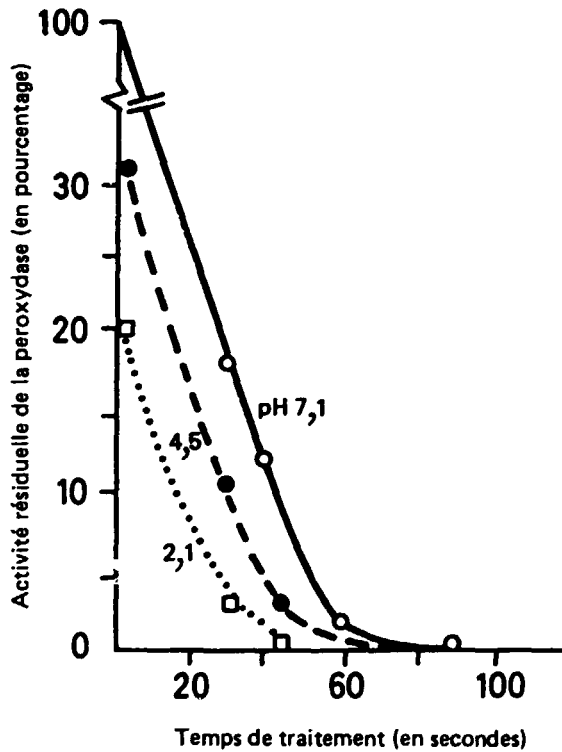
Figure 13. Effets des conditions de stabilisation (teneur en humidité, temps et température) sur l'activité de la lipase du son de riz



Source : Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia (Espagne); résultats de V. Cordero et autres, inédits.

Note : P représente le temps de préchauffage nécessaire pour atteindre la température de 95° C requise. Les pourcentages indiqués sur les tracés donnent la teneur en humidité du son d'après le poids humide.

Figure 14. Désactivation thermique de la peroxydase du son de riz : effet de pH



Source : Barber et autres [13].

Note : Température, 121° C; humidité, 35 %; poids humide.

Il y a plusieurs formes de perte réversible de l'activité enzymatique par la chaleur suivie de récupération après stockage à température plus basse. Elles sont déterminées : a) par des modifications des structures secondaire et tertiaire de la protéine enzymatique; b) par la dissociation des sous-unités de la structure quaternaire; c) par la dissociation des cofacteurs essentiels de l'action enzymatique [12].

Effets de l'activité de l'eau sur l'activité enzymatique

On a déjà vu la dépendance de l'activité enzymatique à l'égard de l'activité de l'eau ou de l'humidité relative. D'une façon générale, l'activité enzymatique n'est importante qu'au-dessus de la zone d'adsorption monomoléculaire. La quantité d'eau libre qui véhicule les processus enzymatiques augmente dans ces conditions. On a déjà signalé toutefois que si le substrat est suffisamment mobile pour se combiner à l'enzyme, la réaction pourra se produire à des

Figure 15. Effet de l'activité enzymatique initiale sur l'efficacité du processus de stabilisation, à 12 % d'humidité relative et sous une température de 110° C

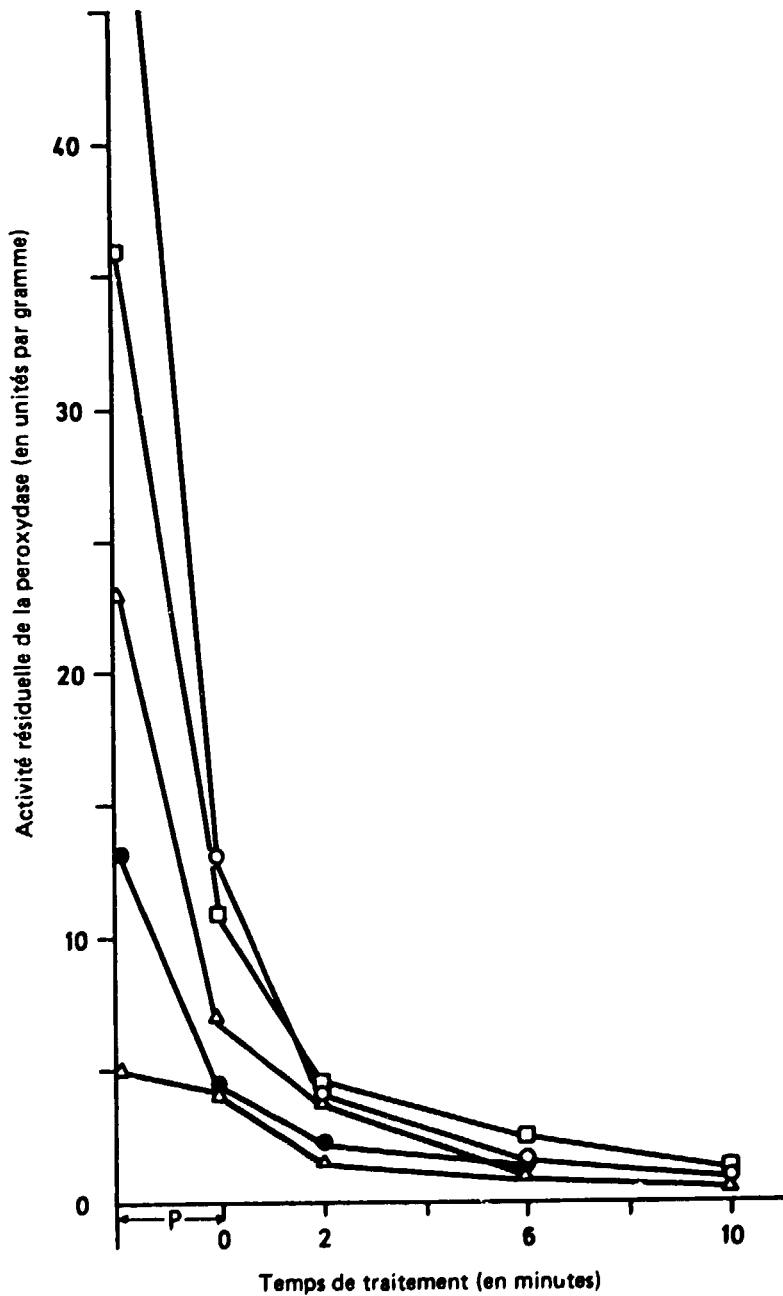
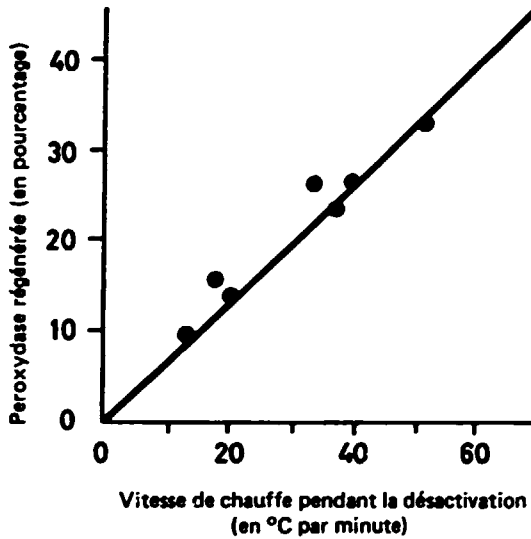


Figure 16. Relation entre la régénération de la peroxydase du navet et la vitesse de chauffe pendant la désactivation



Source : Richardson [15].

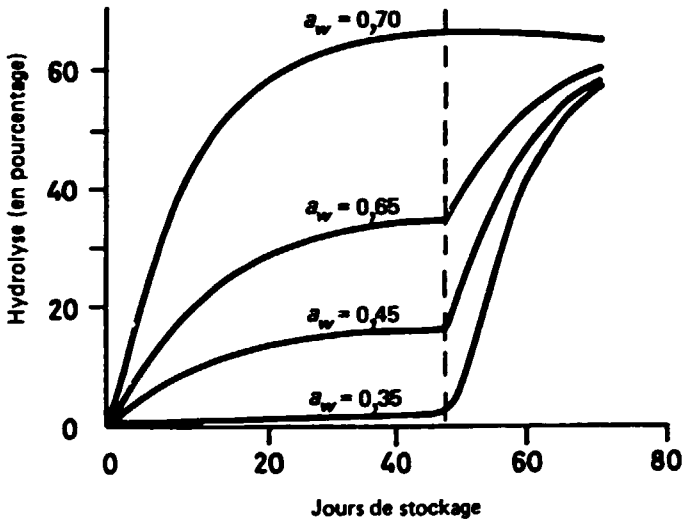
niveaux d'activité de l'eau situés au-dessous de la zone monomoléculaire. C'est ce qui se passe avec la lipolyse des triglycérides non saturés (huiles). En tout cas, des valeurs très faibles peuvent réduire l'activité enzymatique pratiquement à zéro. Or lorsque l'activité de l'eau commence à reprendre, l'activité reprend proportionnellement (voir figure 17). Il faut noter que des substrats solides peuvent être attaqués lorsque l'activité de l'eau est très faible s'ils sont en contact étroit avec l'enzyme [15].

Effets du pH sur l'activité et la stabilité enzymatiques

La valeur de pH est une des variables les plus importantes des agents chimiques dénaturants. Les enzymes sont d'ordinaire stables dans la gamme de valeurs de pH relativement étroite où se situe leur pH optimal (voir figure 18). Les valeurs extrêmes de pH réduisent l'activité de l'enzyme, ce qui peut entraîner une désactivation d'abord réversible qui devient ensuite irréversible. L'ionisation subit des changements importants dans les groupes fonctionnels d'acides aminés libres, ce qui entraîne une distorsion de la structure tridimensionnelle de la molécule de protéine. Lorsqu'il n'y a pas de changements très importants, la régénération peut aboutir à reconstituer la structure primitive; autrement la dénaturation et la désactivation peuvent devenir irréversibles [7, 17, 18, 19].

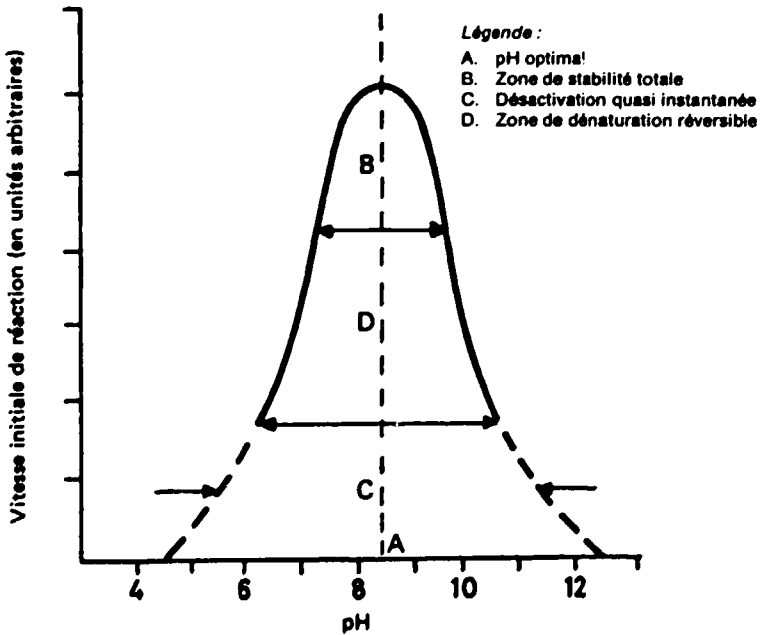
Aizono et autres [9, 10] ont étudié les variations de la stabilité des lipases I et II du son de riz en fonction de pH (voir figure 19). Dans un cas — lipase I — une solution de 66 mM d'enzyme dans un tampon à valeurs de pH variables a

Figure 17. Taux d'hydrolyse enzymatique de la lécithine dans un mélange de malt d'orge broyé avec 2 % de lécithine, stocké à 30° C pour divers niveaux d'activité de l'eau



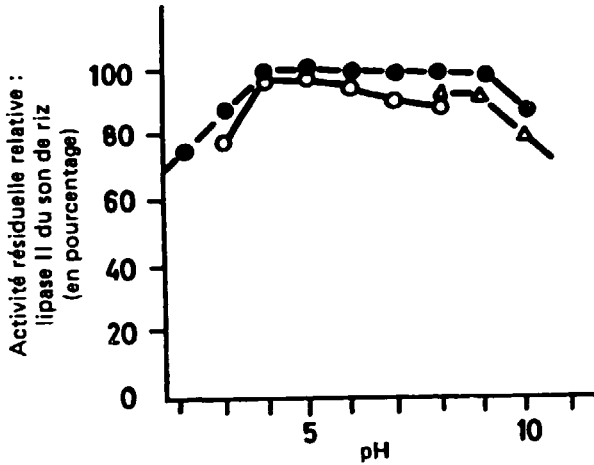
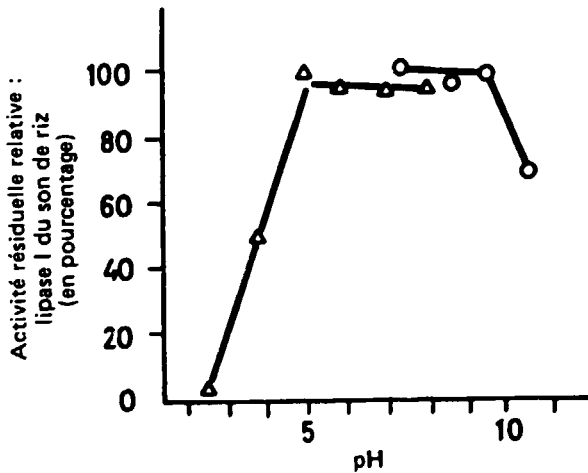
Source : Acker et Kaiser [16].

Figure 18. Effets de pH sur l'activité enzymatique



Source : Webb [20].

Figure 19. Effet de pH sur la stabilité de la lipase du son de riz

A. *Activité résiduelle relative : lipase I de son de riz*B. *Activité résiduelle relative : lipase II de son de riz*

Source : Aizono et autres [9, 10].

été incubée à 8 °C pendant 26 heures et dialysée sur 0,5 mM de CaCl₂ afin d'éliminer les sels. De plus, les valeurs de pH des solutions d'enzyme contenant 0,3 mM de CaCl₂ ont été ajustées au moyen de 0,1 N NaOH ou 0,1 N HCl toutes les trois heures pendant la période d'incubation de 26 heures à 8 °C sous azote. L'activité résiduelle a été déterminée en se servant de tributyrine comme substrat. Dans le cas de la lipase II, une solution de 34 mM d'enzyme en tampons de pH variable a été incubée à 10 °C pendant 5,5 heures. Après

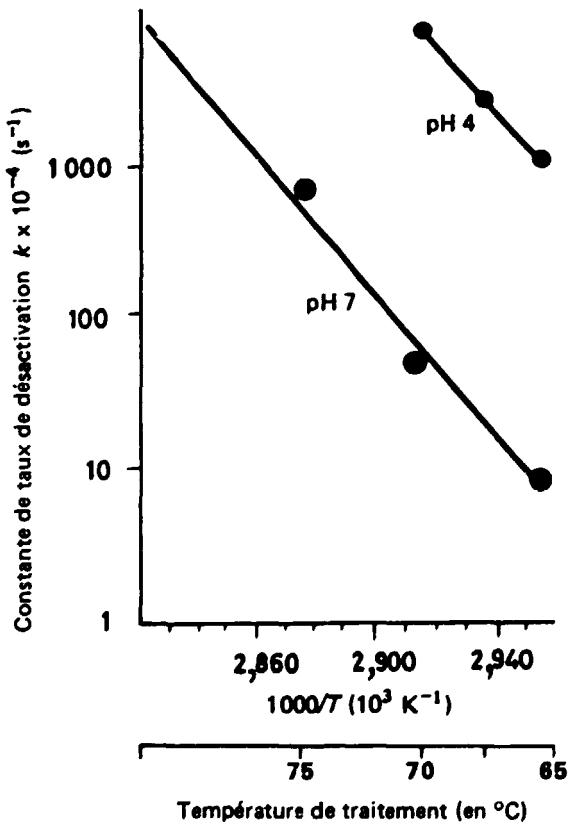
l'incubation, les solutions d'enzyme ont été dialysées sur 0,5 mM de CaCl_2 à pH 6,5. L'activité résiduelle a été déterminée à pH 7,5 et 25 °C. Les résultats obtenus dans les deux cas montrent que la lipase I est stable dans la gamme de pH située entre 4 et 9 et la lipase II entre 5 et 9,5 (voir figure 19).

La combinaison des agents physiques (par exemple la chaleur) et chimiques (par exemple pH) est fréquente (voir figure 20).

Autres agents thermiques de désactivation

Les électrolytes et la force ionique peuvent être des agents dénaturants. Les ions de métaux lourds (Ag^+ , Hg^{2+} , Pb^{2+}) ont normalement des effets toxiques sur les enzymes. Un ion peut toutefois désactiver un enzyme et en activer un

Figure 20. Taux de désactivation de lipoxylase de fève de soja à pH 4 et pH 7



Source : Farkas et Goldblith [21].

autre à une concentration donnée et le désactiver à une autre concentration. C'est pourquoi les fortes concentration d'électrolytes (saumure) entravent l'action enzymatique alors que de faibles concentrations de Ca^{2+} sont indispensables à l'activité des lipases.

Les forces de pression et de cisaillement ont un effet inhibant mais leur emploi est peu pratique.

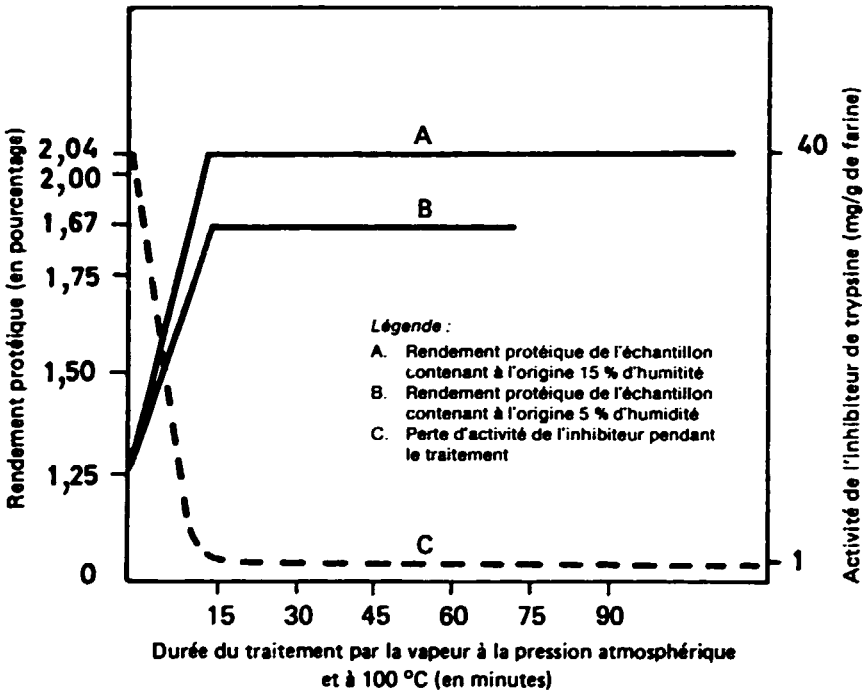
Les enzymes peuvent être désactivés par les rayonnements ionisants. La résistance des enzymes au rayonnement est très variable, la dose nécessaire à la désactivation *in situ* étant supérieure à celle qu'il faut pour détruire les micro-organismes (voir tableau 1). D'une façon générale, la désactivation par les rayonnements ionisants dépend entre autres choses de la concentration des enzymes, de l'activité de l'eau, du pH et de la température. Les enzymes sont plus résistants au rayonnement à l'état sec. La désactivation est plus forte en présence de l'eau, comme le sont les effets nocifs résultant des radicaux libres. Les températures élevées favorisent la désactivation par irradiation. De toute façon, l'irradiation pose de gros problèmes économiques et techniques.

Les protéines ont tendance à s'adsorber aux interfaces, ce qui se traduit généralement par une dénaturation. La forte tension qui peut se produire à l'interface eau-air ou eau-huile paraît contraindre la structure tertiaire ou secondaire de la protéine à se déployer, en sorte que la molécule se répand sur la surface. Même la lipase, réputée particulièrement apte à conserver son activité aux interfaces eau-huile, peut être dénaturée par adsorption aux interfaces eau-triglycérides et eau-air [22].

Lutte contre d'autres composants nocifs du son pendant la stabilisation

Le processus de stabilisation peut endommager gravement les insectes et d'autres substances antinutritives, par exemple les inhibiteurs de trypsine. Les insectes ne résistent pas à la combinaison de temps et de température nécessaire pour détruire les micro-organismes et pour désactiver les enzymes. Vu les gros risques d'infestation que court le son, la destruction des insectes sous toutes leurs formes végétatives est un des résultats très positifs de la stabilisation thermique. De plus, les inhibiteurs de trypsine sont thermolabiles, et un traitement thermique approprié entraînera généralement une augmentation de la valeur nutritive de la protéine [23]. Une vaste étude de cette question a été faite pour la fève de soja. La figure 21 montre les résultats d'un traitement par la vapeur de farine de soja crue d'une teneur en humidité de 5 et 15 % sous la pression atmosphérique. Dans les deux échantillons, plus de 95 % de l'inhibiteur sont détruits au bout de 15 minutes, et l'amélioration de la valeur nutritive est un peu plus forte dans l'échantillon présentant la plus forte teneur en humidité. Une étude du rapport entre désactivation des inhibiteurs de trypsine dans le son de riz et temps de traitement, température et teneur en humidité [24] a montré que plus de 95 % de l'activité sont détruits en moins de 5 minutes à 100 °C; le taux de désactivation augmente avec la teneur en humidité du son (voir figure 22). On a obtenu des résultats du même ordre pour la destruction thermique des hémagglutinines [25].

Figure 21. Effet du traitement par la vapeur sur le rendement protéique et l'activité de l'inhibiteur de trypsine dans la farine de soja crue



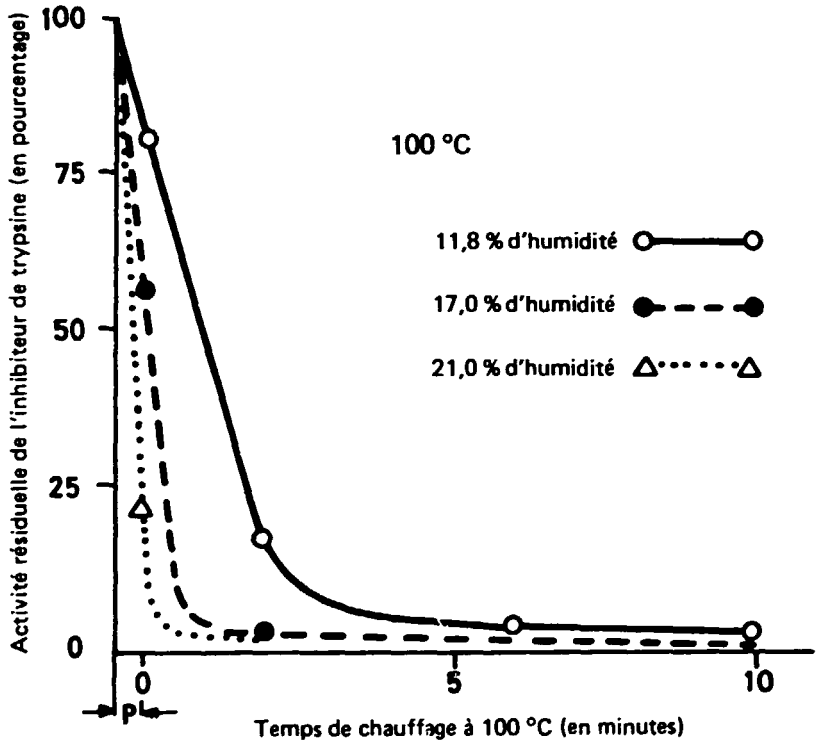
Source : Rackis [26].

Perte d'éléments constitutifs utiles du son pendant la stabilisation

Moyens de stabiliser le son et stabilité des éléments constitutifs

La chaleur est le moyen le plus communément utilisé pour stabiliser le son; c'est aussi le meilleur. On a aussi essayé les agents chimiques et les rayonnements ionisants. On a soumis le son à des conditions diverses afin de découvrir le moyen le plus efficace de désactiver les enzymes, car ce sont elles qui provoquent sa détérioration pendant le stockage. Malheureusement, la stabilisation, tout en désactivant les enzymes, endommage aussi les éléments constitutifs utiles (huile, protéines, vitamines et autres éléments nutritifs), l'étendue du dommage dépendant du mode de traitement et des conditions dans lesquelles il est administré. Il faut donc, quand on choisit les moyens et les conditions du traitement, tenir compte aussi bien des effets bénéfiques (désactivation des enzymes, destruction des micro-organismes, etc.) que des effets nocifs (réduction de la quantité et de la qualité des éléments constitutifs utiles). Il ne s'agit pas ici de la stabilité des éléments chimiques dont dépendent les propriétés fonctionnelles et la valeur nutritive du son; d'autres ouvrages spécialisés sont à consulter à leur sujet. Il importe toutefois de donner une idée des dommages possibles. Bien qu'il soit question de la stabilisation surtout du

Figure 22. Effet de la chaleur sur l'activité de l'inhibiteur de trypsine du son de riz en fonction du temps de traitement et de la teneur en humidité du son



Source : Barber et autres [24].

Note : F représente le temps de préchauffage nécessaire pour atteindre la température requise.

point de vue de l'extraction de l'huile du son, nous examinons aussi l'emploi possible d'autres éléments constitutifs — les protéines, par exemple — comme nutritifs.

Effets des divers moyens de stabilisation sur les éléments constitutifs utiles

Huile

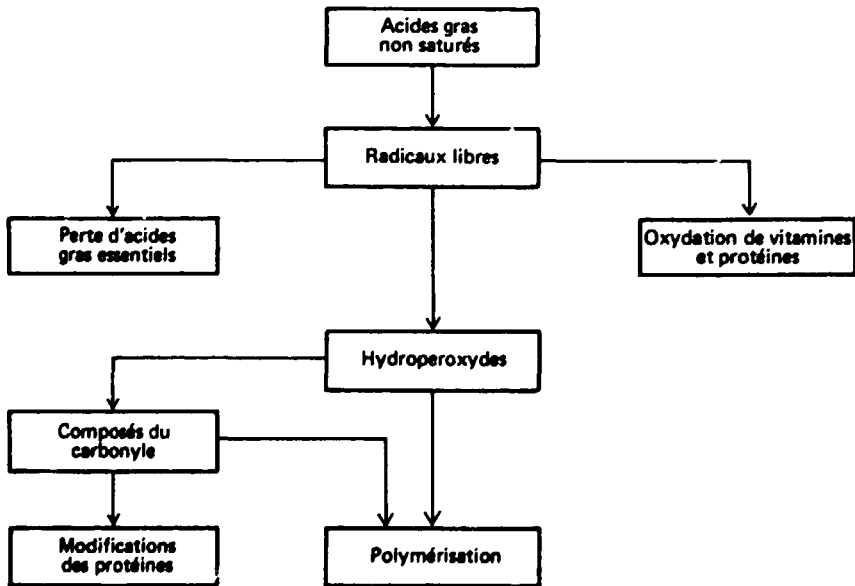
La décoloration est une étape importante de l'extraction d'huile comestible du son. Pour être réputée comestible et vendable, l'huile doit répondre à certaines spécifications, entre autres en ce qui concerne la couleur. La facilité avec laquelle on peut décolorer l'huile brute à la raffinerie est un indicateur important de l'acceptation ou du rejet de l'emploi de l'huile brute à des fins industrielles.

Le traitement thermique assombrit la couleur de l'huile brute extraite du son au moyen d'hexane. L'étendue des dégâts dépend des conditions du traitement : plus elles sont dures, plus ils sont grands. Il faut toutefois signaler que, dans la pratique industrielle, un changement de la couleur de l'huile brute a moins d'importance qu'un changement de la facilité avec laquelle elle peut être décolorée. C'est dire que le critère final d'évaluation du dégât est non pas l'assombrissement de la couleur de l'huile brute, mais la possibilité de la décolorer et la facilité de cette opération.

Le traitement thermique peut provoquer une oxydation qui, non seulement entraîne une perte d'acides gras essentiels, mais encore a d'autres effets accessoires (voir figure 23). Les hydroperoxydes qui se forment alors peuvent provoquer la formation de composés du carbonyle ou la polymérisation. Les radicaux libres et les hydroperoxydes peuvent réagir aux pigments, aux éléments aromatiques, aux protéines et aux vitamines, produisant ainsi, par oxydation, des composants chimiques nouveaux et réduisant la valeur nutritive des acides aminés contenant du soufre et des vitamines telles que les tocophérols. Les composés du carbonyle peuvent réduire la valeur biologique des protéines en se combinant avec le groupe aminé epsilon des lysines.

Il existe de nombreux procédés d'analyse pour déterminer les modifications des lipides (voir tableau 2). Là encore, en ce qui concerne l'extraction d'huile comestible, il faut mettre l'accent non sur la couleur de l'huile brute mais la facilité ou la difficulté avec laquelle on peut la décolorer. Il faut à cet effet soumettre l'huile brute à une épreuve de décoloration dans des conditions qui simulent celles de l'industrie, et en juger le comportement d'après le rendement et la couleur finale.

Figure 23. Parcours des pertes d'éléments nutritifs dues aux modifications oxydantes des lipides



Source : Mauron [27].

TABLEAU 2. MÉTHODES D'ANALYSE POUR DÉTERMINER
LES MODIFICATIONS DES HUILES ET GRAISSES

<i>Modifications</i>	<i>Méthodes</i>
Couleur	Échelle d'iode Échelle de Lovibond Transmission, 360-500 nm
Conjugaison	Extinction à 232 nm Extinction à 268 nm Indice de réfraction
Polymérisation	Indice d'iode Densité Viscosité Chromatographie par infiltration de gel
Oxydation	Indice de peroxyde Indice d'époxyde Indice d'aldéhyde Couleur dans l'alcali Acides gras oxydés insolubles dans le kérosène léger Composés volatils du carbonyle Chromatographie liquide-liquide

Source : T. Morton [28].

Protéines

On a pu distinguer cinq types de changements des protéines pendant des opérations techniques [29]. Le premier comprend les modifications de la structure tertiaire de la molécule de protéine, causées par un traitement thermique léger. Ces modifications sont sans effet sur la valeur nutritive, mais contribuent à modifier des propriétés physiques ou chimiques, par exemple la solubilité, la viscosité et la mobilité électrophorétique des protéines globulaires. Le second type comprend le brunissage non enzymatique ou réaction de Maillard entre la lysine, par l'intermédiaire de son groupe aminé epsilon, et les substances réductrices (glucose, lactose, maltose et composés carbonyles des graisses oxydées). La combinaison qui en résulte n'est pas hydrolysée pendant la digestion et l'acide aminé, quoique présent, n'est pas disponible en sorte que la valeur biologique est réduite. D'autres acides aminés adjacents qui ne sont pas directement intéressés peuvent aussi perdre leur aptitude à agir sur la nouvelle combinaison, vu la spécificité des enzymes digestifs. Le troisième type comprend des formes plus brutales de traitement thermique et implique une perte de la disponibilité d'acides aminés autres que la lysine qui peut se produire en l'absence de substances réductrices. La cystine peut être convertie à 115 °C en composés tels que le mercapcan méthylique, le sulfure de diméthyle et le bisulfure de méthyle si le temps de traitement est suffisamment prolongé. L'interaction protéine-protéine (liaisons C-N) peut aussi se produire au-dessus de 110 °C au cours d'une longue période de traitement (mesurée en heures); de

nouvelles liaisons se forment, telles que =CHN= qui ne peuvent pas être hydrolysées par les enzymes de la voie gastro-intestinale, ce qui entraîne une perte de valeur nutritive [30]. Le quatrième type comprend les détériorations dues à des formes particulièrement brutales de traitement (grillage de céréales par exemple) qui s'accompagne de la destruction des acides aminés par décomposition ou racémisation et de la formation de croisés entés qui donnent des acides polyaminés [31]. Le traitement à 180-300 °C comme, par exemple, la torrification du café ou la cuisson de biscuits peut produire des effets de ce genre. Dans un cas [32], la cuisson d'un biscuit à 200 °C pendant 15 à 20 minutes a abaissé le taux de rendement protéique (PER) de 3,5 à 2,4, cependant que la cuisson à 130 °C pendant 40 à 60 minutes l'a ramené à 0,8. Dans un autre cas [38], la cuisson à 180 °C pendant 13 minutes a réduit l'utilisation nette de protéines de 72 %. Le cinquième type comprend les changements qui interviennent en milieu alcalin et ceux qui sont dus à l'oxydation (déjà mentionnés plus haut). Les peroxydes des lipides peuvent entrer en réaction avec des résidus micro-acides de protéines aux températures élevées, ce qui en réduit la disponibilité. La méthionine peut être atteinte. L'oxydation peut entraîner la destruction du tryptophan et de la tyrosine.

Vitamines

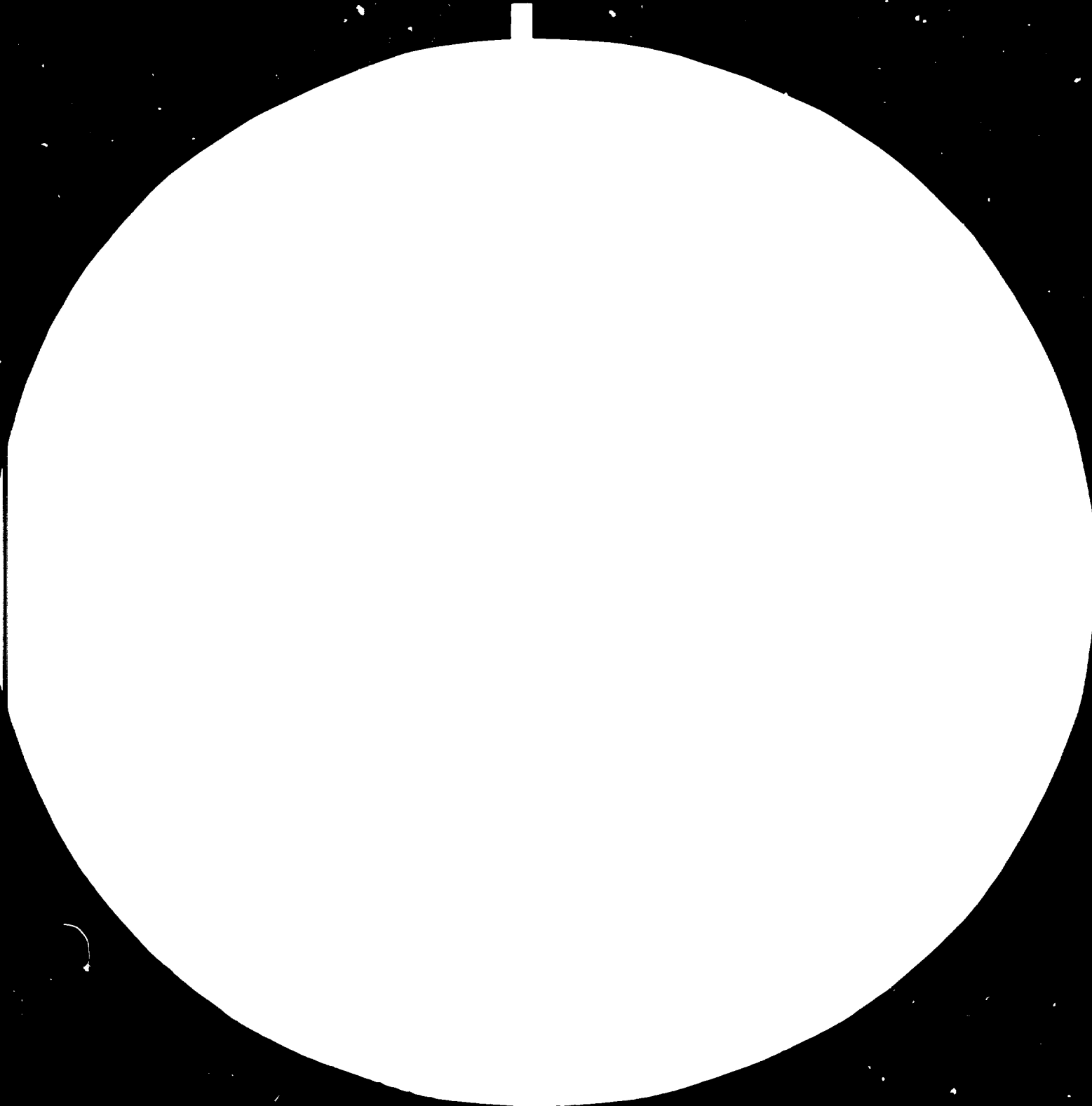
Les principales vitamines du son et des produits qui s'y rattachent appartiennent au groupe B, notamment la thiamine et les tocophérols.

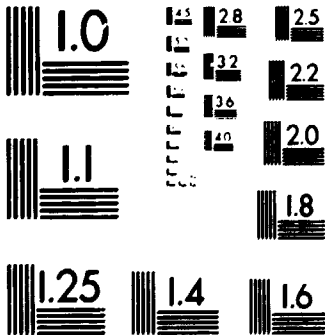
D'une façon générale, les procédés essayés pour la stabilisation du son — chaleur, compositions chimiques, rayonnements ionisants — portent atteinte à ses vitamines³. La thiamine est sensible à la chaleur lorsque les valeurs de pH sont neutres ou alcalines, mais est stable avec un pH acide jusqu'à 120 °C. La destruction thermique de la thiamine peut entraîner une segmentation de la molécule et la formation de cycles de pyrimidine et de thiazole. Il y a des dérivés secondaires (y compris le soufre élémentaire, le sulfure d'hydrogène et le thiophène) qui ont tous une odeur particulière. On ne possède pas de renseignements concernant le son mais on a constaté pour divers produits de boulangerie des pertes de thiamine de 5 % avec un pH de 6,0 à 6,4, de 25 % avec un pH 6,9 et de 55 % avec pH 7,5 [34]. La rétention de la thiamine dépend du temps d'exposition, de la température et de la teneur en humidité. On a constaté des pertes de thiamine de 25 % environ avec une teneur en humidité de 20 à 30 % et de plus de 70 % avec une teneur en humidité de 10 % [35]. Les pertes peuvent être importantes lorsque la cuisson est faite par extrusion; on a constaté des pertes de 10 et de 40 % dans des conditions normales déterminées à 149 °C, pertes qui ont atteint 50 et 80 % à 193 °C.

La thiamine est détruite par l'action de SO₂ (sulphite, HSO₃); la molécule se sépare en deux, un peu comme lorsqu'elle est exposée à la chaleur. Le taux de destruction dépend alors de la valeur de pH. La détérioration est lente avec un pH de 3, plus rapide avec pH 5 et instantanée avec pH 6 [29].

³La thiamine et les tocophérols, comme d'autres vitamines, existent sous des formes diverses dans les sous-produits du riz; chacun a une teneur en vitamine et un niveau de stabilité différents. La conservation de la valeur totale en vitamines après traitement physique ou chimique dépend des concentrations relatives des diverses formes présentes.

800 731





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

Les tocophérols sont détruits dans des conditions oxydantes telles que l'exposition à l'air et à la lumière, et leur destruction est accélérée par la chaleur. Environ 50 % des tocophérols de la farine sont perdus pendant la cuisson du pain [36]. L'activité de la vitamine E baisse elle aussi considérablement lorsque l'auto-oxydation des lipides est importante.

Références

1. I. J. Pflug et R. G. Holcomb, "Principles of thermal destruction of micro-organisms", *Disinfection, Sterilization and Preservation*, 2^e éd., S. S. Block, ed. (Philadelphie, Pennsylvanie, Lea and Febiger, 1977).
2. C. T. Townsend, J. R. Esty et F. C. Baselt, "Heat resistance studies on spores of putrefactive anaerobes in relation to determination of safe processes for canned foods", *Food Research*, n^o 3, 1938, p. 323 à 346.
3. E. Costell et L. Duran, *Esterilización de Conservas; Fundamentos Teóricos y Cálculo del Tiempo de Esterilización*, Rapport technique général n^o 66 (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1973).
4. J. E. Campbell, Résultats présentés au séminaire sur la stérilisation des véhicules spatiaux, Atlanta, Georgie, octobre 1972, cité par Hall [6].
5. G. J. Silverman et A. J. Sinskey, "Sterilization by ionizing radiation", *Disinfection, Sterilization and Preservation*, 2nd ed., S. S. Block, ed. (Philadelphie, Pennsylvanie, Lea et Febiger, 1977), chap. 28, p. 542 à 861.
6. D. W. Hall, *Handling and Storage of Food Grains in Tropical and Subtropical Areas*, Agricultural Development Paper No. 90 (Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1971).
7. M. Joly, *A Physico-chemical Approach to the Denaturation of Proteins* (New York, Academic Press, 1965).
8. F. Haurowitz, *The Chemistry and Function of Protein*, 2^e éd. (New York, Academic Press, 1963).
9. Y. Aizono et autres, "Biochemical studies on rice bran lipase: III. Enzymic properties of rice bran lipase", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokyo), vol. 37, n^o 9 (1973), p. 2 031 à 2 036.
10. Y. Aizono et autres "Biochemical studies on rice bran lipase: IV. Purification and characterization of rice bran lipase II", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokyo), vol. 40, n^o 2 (1976), p. 317 à 324.
11. S. Svensson, "Inactivation of enzymes during thermal processing", *Physical, Chemical and Biological Changes in Food caused by Thermal Processing*, T. Høyem et D. Koåle, eds. (Londres, Applied Science Publishers, 1977).
12. J. A. Whitaker, *Principles in Enzymology for the Food Sciences* (New York, Marcel Dekker, 1972).
13. S. Barber et autres "Process for the stabilization of rice bran: I. Basic research studies", *Proceedings of the Product Utilization International Conference*, vol. II. *Rice By-Products Preservation* (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de alimentos, 1977).

14. R. Jenness et S. Patton, *Principles of Dairy Chemistry* (New York, John Wiley, 1959).
15. T. Richardson, "Enzymes", *Principles of Food Science*, part I, *Food Chemistry*, O. R. Fennema, ed. (New York, Marcel Dekker, 1976), p. 286 à 348.
16. L. Acker et H. Kaiser, "Über den Einfluß der Feuchtigkeit aus dem Ablauf enzymatischer Reaktionen in wasserarmen Lebensmitteln", *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, n° 110, 1959, p. 349 à 356.
17. L. Butler, "Protein structure and properties", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, n° 48, p. 101 à 106.
18. N. A. M. Eskin, H. M. Henderson et R. J. Townsend, *Biochemistry of Foods* (New York, Academic Press, 1971).
19. G. Reed, *Enzymes in Food Processing* (New York, Academic Press, 1966).
20. F. C. Webb, *Biochemical Engineering* (New York, Van Nostrand, 1964).
21. D. F. Farkas et S. A. Goldblith, "Studies on the kinetics of lipoxidase inactivation using thermal and ionizing energy", *Journal of Food Science*, vol. 27, n° 3 (1962), p. 262 à 276.
22. H. Brockerhoff, "On the function of bile salts and proteins as cofactors of lipase", *Journal of Biological Chemistry*, n° 246, 1971, p. 5 828.
23. I. E. Liener, "Toxic factors in edible legumes and their elimination", *American Journal of Clinical Nutrition*, n° 11, 1962, p. 281 à 298.
24. S. Barber et autres, "Toxic constituents of rice bran: I. Trypsin inhibitor activity of raw and heat-treated bran", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 8, n° 1 (1978), p. 80 à 88.
25. C. Benedito de Barber et autres, "Toxic constituents of rice bran: II. Haemagglutinativity of raw and heat-treated bran", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 18, n° 1 (1978), p. 89 à 94.
26. J. J. Rackis, "Physiological properties of soybean trypsin inhibitors and their relationship to pancreatic hypertrophy and growth inhibition of rats", *Comptes rendus de la Federation of American Societies for Experimental Biology*, n° 24 1965, p. 1 488 à 1 493.
27. J. Mauron, "General principles involved in measuring specific damage of food components during thermal processes", *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*, T. Høyem et D. Koåle, eds. (Londres, Applied Science Publishers, 199), chap. 24, p. 328 à 359.
28. I. D. Morton, "Physical, chemical and biological changes related to different time-temperature combination", *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*, T. Høyem et D. Koåle, eds. (Londres, Applied Science Publishers, 1977), chap. 8, p. 138 à 151.
29. A. E. Bender, *Food Processing and Nutrition* (New York, Academic Press, 1978).
30. G. O. Fonoso et autres, "Effect of heat treatment on the nutritive value of proteins: chemical and balance studies", *Journal of Science and Food Agriculture*, n° 13, 1962, p. 192 à 196.
31. F. Hayase, H. Kato et M. Fujimaki, "Racemization of amino acid residues in protein and poly (L-amino acids) during roasting", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, n° 23, 1975, p. 491 à 494.
32. R. J. Block et autres, "The effects of baking and toasting on the nutritive value of protein", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, n° 10, 1946, p. 295 à 301.

33. A. Pronczuk, D. Pawlowska et J. Bartnick, "Effect of heat treatment on the digestibility and utilization of protein", *Nutrition and Metabolism*, n° 15, 1973, p. 171 à 180.
34. A. M. Briant et A. M. Klosterman, "Influence of ingredients on thiamin and riboflavin retention and quality of plain muffins", *Cereal Chemistry*, n° 8, 1950, p. 69.
35. A. P. Mossman, W. C. Rockwell et D. W. Fellers, "Hot air toasting and rolling whole wheat: effect on organoleptic, physical and nutritional quality", *Journal of Food Science and Technology*, n° 38, 1973, p. 879 à 884.
36. T. Moore, J. M. Sharman et R. J. Ward, "Destruction of vitamin E in flour by chlorine dioxide", *Journal of Science and Food Agriculture*, n° 8, 1957, p. 97.

III. Morphologie, anatomie, histologie et histochimie des particules discrètes du son de riz du commerce

Introduction

Le son du commerce provient du riz usiné et se compose d'un mélange de fragments très distincts (voir figure 1). Vu la diversité de machines qui servent à la produire et des conditions dans lesquelles ils sont traités, il n'est pas surprenant que les sons du commerce présentent des différences très marquées, même lorsqu'ils proviennent d'une même variété et font partie du même lot de riz.

Les couches anatomiques du grain qui sont séparées pendant l'usinage constituent la matière première à partir de laquelle on obtient le son. Il faut les connaître pour bien comprendre le traitement du riz et la nature du son du commerce, mais la complexité des transformations subies par ces couches anatomiques pendant l'usinage et leurs effets font que cette connaissance ne suffit pas pour discerner les caractéristiques et les propriétés essentielles du son, qui sont très particulières. Le son du commerce et les couches de son qui se trouvent dans le grain sont deux choses entièrement distinctes, qu'il faut étudier séparément.

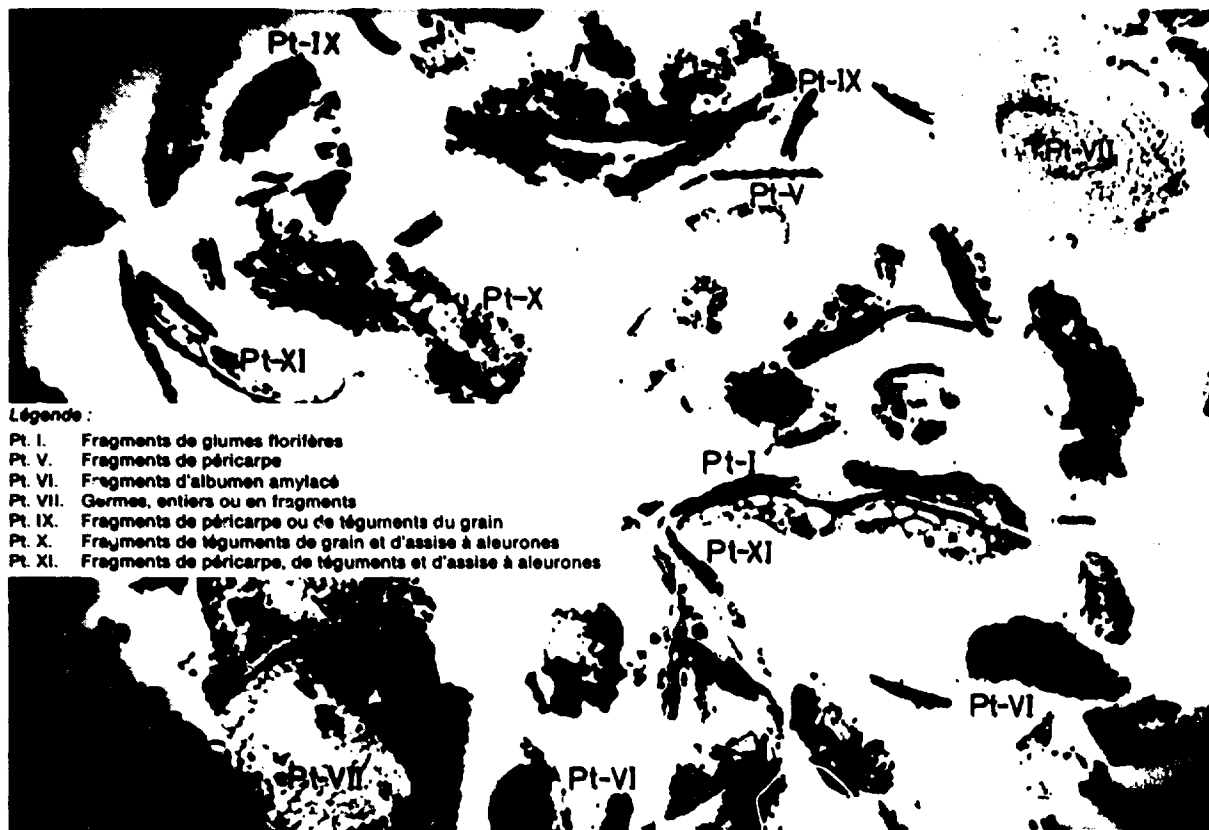
La plupart des travaux sur l'histologie et l'histochimie se rapportent au son sous la forme sous laquelle il apparaît dans le caryopse et non sous celle d'un mélange de particules discrètes isolées. On a fait très peu de recherches sur le mécanisme par lequel les particules de son se forment pendant l'usinage, bien qu'il soit essentiel d'en savoir quelque chose non seulement pour pouvoir produire un son de la meilleure qualité mais aussi pour perfectionner l'usinage lui-même.

Dans le son du commerce obtenu à partir du riz brut, on a identifié plus de 15 types différents de particules discrètes, outre quelques fragments du revêtement des rouleaux à décortiquer et de l'abrasif des machines à blanchir, des fragments d'autres graines et d'autres substances. Dans la description qui va suivre¹ ils sont divisés en deux grands groupes : les particules simples, consistant en tissus ou en cellules correspondant à une structure anatomique unique, et les particules complexes, consistant en plusieurs d'entre eux² (voir tableau 1) [1, 2].

¹Elle contient une partie des travaux destinés à la thèse de doctorat de L. Navarro Lucas et A. J. Pineda, exécutés dans le laboratoire des auteurs.

²Les dimensions des préparations histologiques et histochimiques indiquées peuvent varier selon les techniques de préparation et ne doivent par conséquent être acceptées que sous réserve.

Figure 1. Particules de riz de commerce montrant le caractère hétérogène de la composition



Légende :

- Pt. I. Fragments de glumes florifères
- Pt. V. Fragments de péricarpe
- Pt. VI. Fragments d'albumen amylicé
- Pt. VII. Germes, entiers ou en fragments
- Pt. IX. Fragments de péricarpe ou de téguments du grain
- Pt. X. Fragments de téguments de grain et d'assise à aleurones
- Pt. XI. Fragments de péricarpe, de téguments et d'assise à aleurones

Source : Barber, Pineda et Benedito de Barber [1].

TABLEAU 1. TYPES DE PARTICULES DISCRÈTES CONSTATÉS DANS LE SON DU COMMERCE ET LEUR COMPOSITION ANATOMIQUE

Structure anatomique	Types de particules													
	Simple							Composées						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Glumes florifères														
Glumes	X													
Trichomes seuls	X													
Glumes stériles		X												
Pédicelle			X											
Péricarpe				X				X		X	X			X
Albumen amylicé					X					X	X	X	X	X
Germe						X							X	X
Fibres							X							
Tégumen: du grain								X	X	X	X			X
Aleurone									X	X	X	X		X

Source : Pineda [2].

Particules discrètes simples du son du commerce¹

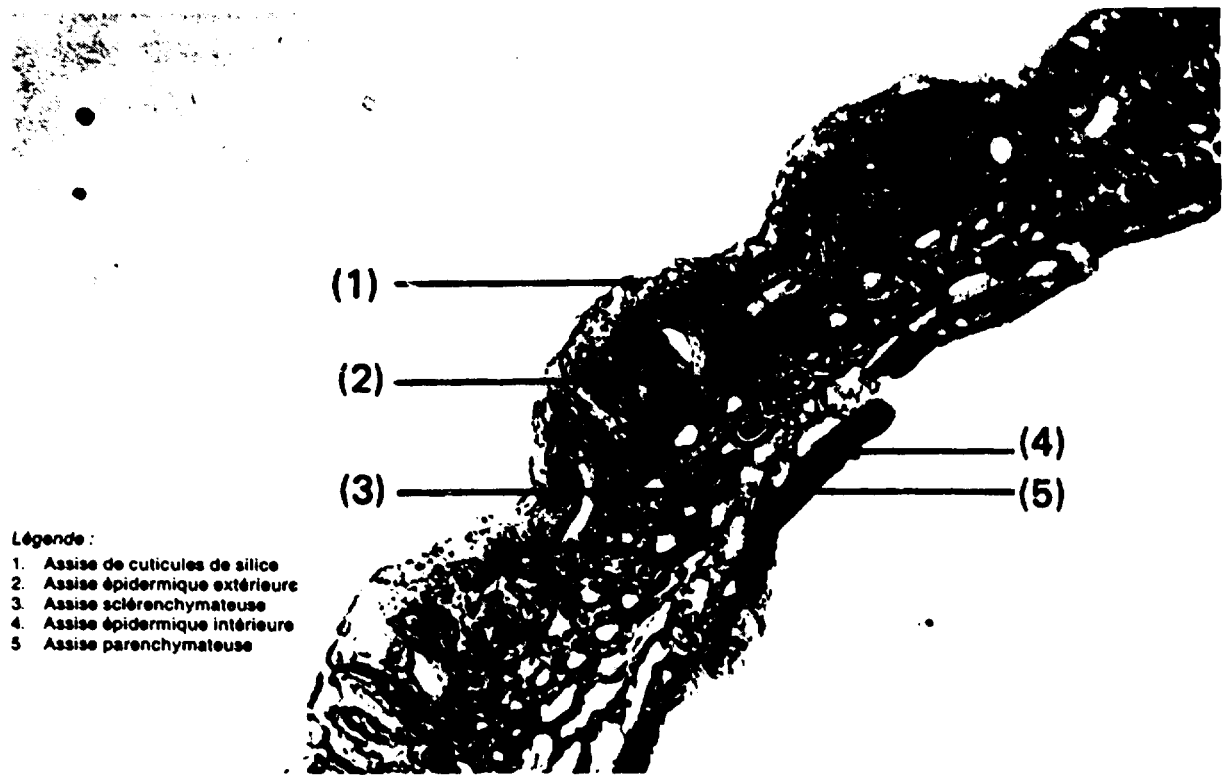
Les particules simples sont des fragments des glumes florifères, des glumes stériles, du pédicelle, du péricarpe, de l'albumen amylicé, du germe (parfois entier) et des fibres.

Fragments de glumelles inférieures et supérieures

Les fragments de glumelles inférieures et supérieures qu'on trouve dans le son du commerce (voir figures 2 et 3) ont la forme de polygones irréguliers. Les plus gros mesurent 1,5 sur 2,5 mm environ (dimensions qui peuvent d'ailleurs varier considérablement selon la finesse des mailles du tamis de la machine à blanchir et des suivants); ils sont très rares. Les fragments plus petits, notamment ceux qui mesurent de 25 à 40 μm , sont plus nombreux. La coupe transversale (voir figure 2) a de 80 à 120 μm environ d'épaisseur. Une des faces est lisse et l'autre rugueuse et ridée, présentant des ondulations et couverte de trichomes.

¹Les sons du commerce étudiés proviennent [1, 2] des variétés *Japonica*, *Bahia* et *Bahia* x *Sollana* cultivées en Espagne. Le matériel de l'usine en cause comporte : bascules, nettoyeurs (par l'air), décortiqueur à rouleaux, extracteur de balle, séparateur de paddy, décortiqueur rétroactif (à rouleaux de caoutchouc), cônes de blanchiment à revêtement abrasif (quatre appareils successifs), trieurs et séparateur de germes.

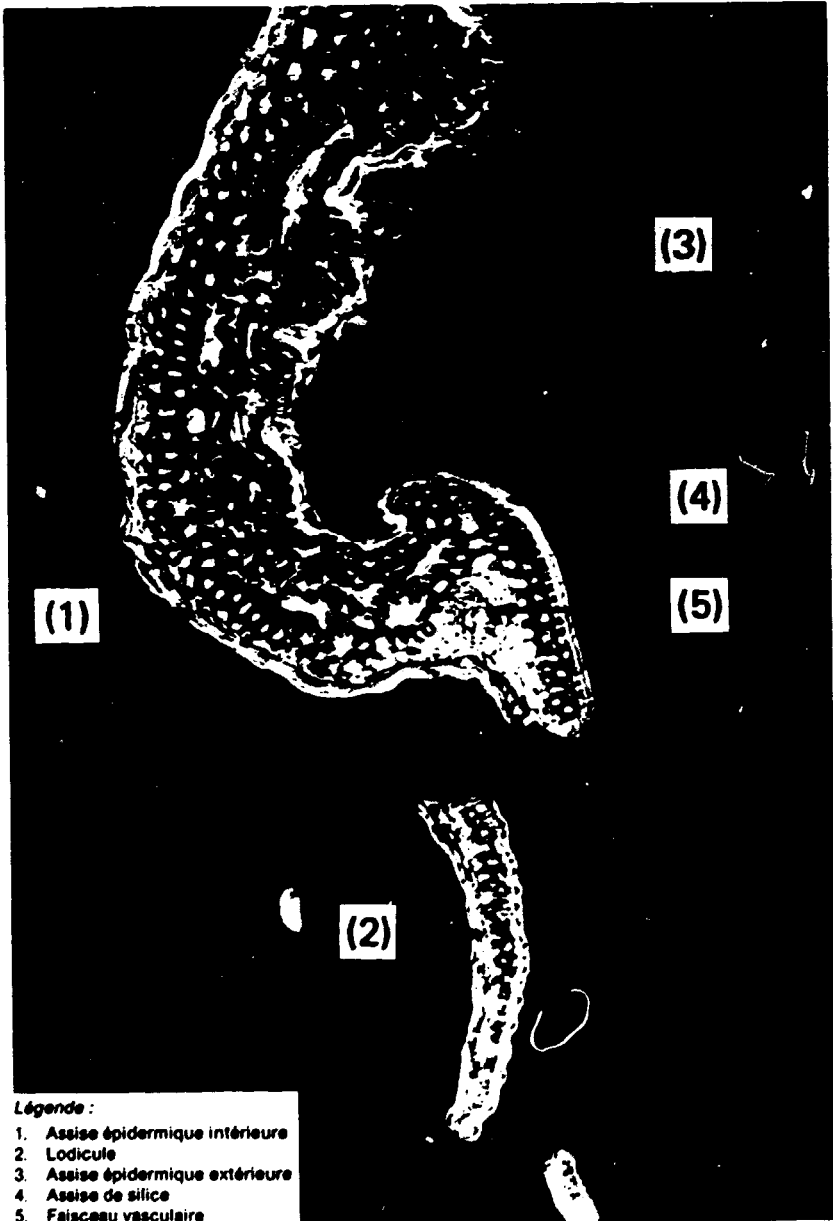
Figure 2. Coupe transversale de la glumelle inférieure
(Grossi 420 fois; coloré à la phénosafranine)



- Légende :
- 1. Assise de cuticules de silice
 - 2. Assise épidermique extérieure
 - 3. Assise sclérenchymateuse
 - 4. Assise épidermique intérieure
 - 5. Assise parenchymateuse

Source : Barber, Pineda et Benedito de Barber [1].

Figure 3. Coupe transversale de la glumelle supérieure
(Grossi 270 fois)



Légende :

1. Assise épidermique intérieure
2. Lodicule
3. Assise épidermique extérieure
4. Assise de silice
5. Faisceau vasculaire

Source : Barber, Pineda et Benedito de Barber [1].

Les trichomes, entiers ou brisés, sont insérés obliquement sous un angle de 30 à 45°; ils sont plus nombreux le long des nervures et plus rares de part et d'autre de ces dernières. On a aussi constaté la présence de fragments consistant uniquement en nervure, longs de 0,3 à 0,5 cm et d'une épaisseur de 10 μm environ, ainsi que d'autres matières provenant des glumelles. Ces particules de glumelles adhèrent souvent à de petits fragments d'albumen amylicé logés dans les plis et entre les trichomes.

Les hydrates de carbone sont à l'intérieur des parois cellulaires [1]⁴ surtout sous forme de cellulose, avec un peu d'hémicelluloses, notamment de pantosans; ils ne contiennent pas d'amidon [3]. La lignine est présente en abondance dans toutes les assises histologiques mais surtout entre les parois des cellules de l'assise sclérenchymateuse et l'épiderme extérieur et les faisceaux vasculaires [1, 4]. On en trouve aussi incrustée entre les fibrilles de la cellulose des parois de cellules — il s'agit surtout des cellules de l'épiderme extérieur et de l'assise sclérenchymateuse [2, 4], et chimiquement combinée aux hémicelluloses [7]. On n'a trouvé ni protéines ni globules gras. La cire et la cutine sont localisées dans l'assise épidermique [1]. On a trouvé de la silice sur le cuticule de la cutine, sur l'épiderme extérieur (où elle forme une couche d'une épaisseur de 2 à 6 μm), dans l'épiderme intérieur (1 μm d'épaisseur) et dans les parois des cellules sclérenchymateuses, les faisceaux vasculaires et l'épiderme [3, 8].

Des trichomes entiers ou fragmentés détachés des glumes sont fréquents dans le son du commerce. On a trouvé dans des échantillons commerciaux du son des variétés *Bahia* et *Balilla* \times *Sollana* des trichomes ou des fragments de trichomes d'une longueur de 100 à 700 μm , au diamètre maximum de 40 μm . On a découvert dans les trichomes des hydrates de carbone, de la lignine et des lipides [1].

Fragments de glumes stériles

Les fragments de glumes stériles, qui proviennent généralement de fissures le long des nervures, ne sont pas très nombreux. Ils sont d'un blanc jaunâtre et leur surface extérieure est relativement lisse. Ils portent naturellement des trichomes, mais en petit nombre; ils sont beaucoup plus fréquents sur les glumes florifères (voir chapitre 1). Les fragments de glumes stériles ne sont pas de taille uniforme : les plus petits ont 2 mm environ de longueur. Leur épaisseur est variable (60 à 120 μ), les plus grands étant voisins du faisceau vasculaire. On a aussi trouvé, mais très rarement, des glumes stériles presque entières. L'analyse a révélé la présence de trois assises de la structure histologique caractéristique des glumes stériles : épiderme extérieur, épiderme intérieur et parenchyme intermédiaire. La première est une couche de cellules allongées, longues de 50 à 70 μm et larges de 5 à 10 μm , disposées tangentiellement; la face extérieure de la paroi cellulaire, épaisse de 3 μm , est recouverte d'un épais cuticule (5 μm). L'épiderme intérieur est pareil. La couche intermédiaire comprend de deux à quatre couches de cellules de

⁴Amidon, cellulose, hémicelluloses substances pectiques, glycoprotéines et glycolipides, qui donnent une réaction positive avec le réactif périodique acide de Schiff (PAS) [5, 6].

longueurs variables (20 à 70 μm) et d'une largeur plus uniforme (7 μm environ), dont les parois sont plus minces que celles des cellules épidermiques [2].

Les composants chimiques des glumes stériles et leur répartition sont semblables à ceux des glumes florifères.

Fragments de pédicelle

Les fragments de pédicelle sont normalement très rares dans le son du commerce. Ils sont cylindriques, allongés, et de taille variable (3 mm de longueur au maximum). Leur surface est striée et les parois des cellules contiennent des hydrates de carbone et de la lignine [2].

Fragments de péricarpe

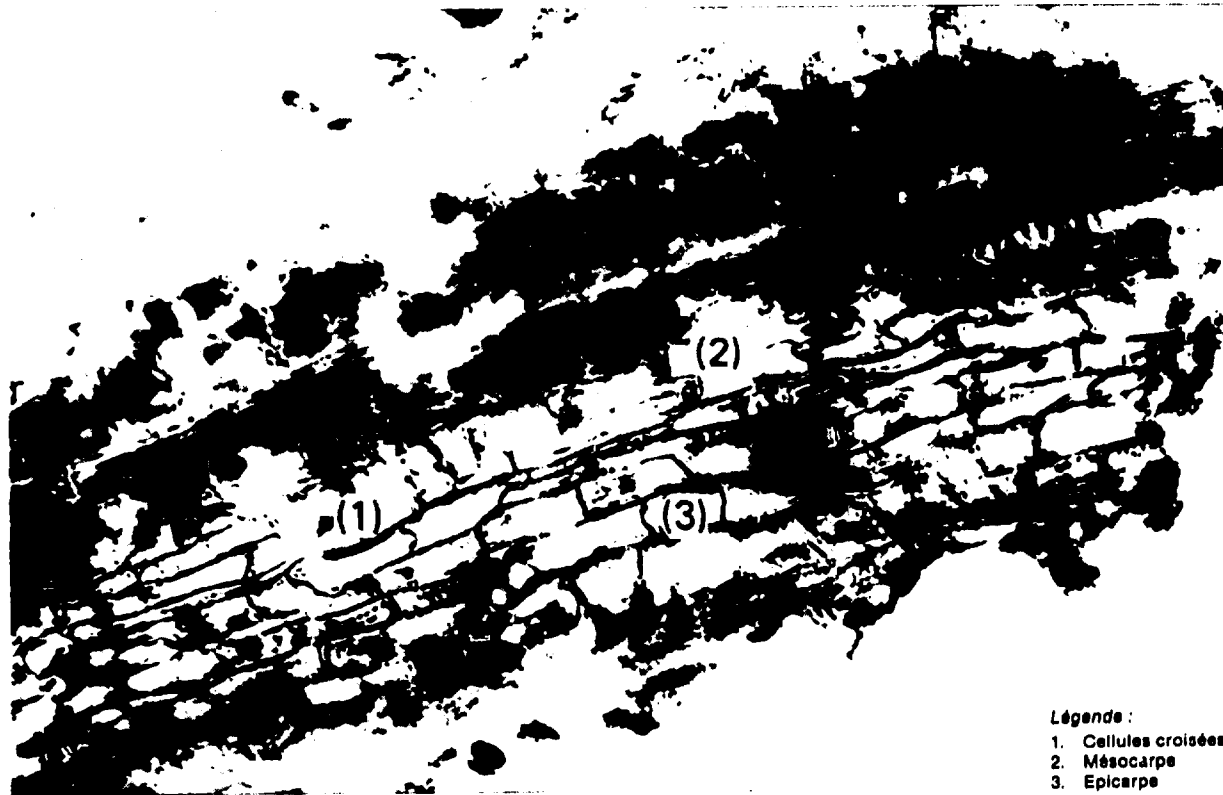
La plupart des fragments de péricarpe que l'on trouve dans le son du commerce (figure 4) sont allongés, de longueur variable (pas plus de 800 μm) et d'une largeur relativement uniforme (6 à 8 μm). Dans les particules examinées, les tissus sont souvent comprimés pour former une pellicule dense où l'on ne distingue pas les couches de cellules [2]. Les caractéristiques histologiques ont été décrites au chapitre I du présent ouvrage.

On a constaté la présence dans le péricarpe des éléments suivants : cellulose [9] et hémicellulose [1, 9], lignine [1], protéines [1, 9], lipides, cutine et cires [1, 10], phytine [1, 4], anthocyanines [11] et silice [1]; on a aussi constaté une activité de la lipase [10]. La réaction au PAS pour les hydrates de carbone [5] est positive dans les parois des cellules du péricarpe, à l'exception des cellules transversales [1]. Le lumen des cellules épidermiques et tubulaires se colore de la même façon. On a constaté que les cellules étaient vides [4]. On n'a pas trouvé d'amidon dans le péricarpe [1, 4], la cellulose et les hémicelluloses paraissant être les seuls hydrates de carbone [9]. On trouve de la lignine dans les parois des cellules du péricarpe où elle est facile à déceler grâce au réactif de Schiff; d'autre part, ce dernier ne révèle pas la présence de lignine dans les cellules tubulaires [1], même quand on sait qu'elles sont lignifiées [4]. Des protéines, comme l'indique le réactif Hg-BPB [12] peuvent être constatées dans l'hypoderme et dans les cellules transversales [1]. Plusieurs auteurs ont signalé leur localisation dans les parois des cellules du péricarpe [9, 13]. On a trouvé sur l'épiderme, au moyen de Soudan noir, une pellicule de substance lipophile [1]. De la cutine a été détectée dans le péricarpe [14]. Le lumen des cellules du péricarpe se colore aussi par le Soudan noir puisque ce sont des cellules vides sans globules gras.

Fragments de l'albumen amylicé

Le son du commerce contient un grand nombre de fragments de l'albumen amylicé (voir figure 5). Leurs dimensions varient de quelques micromètres à plus d'un millimètre, la présence des plus grands dépendant de la maille du tamis de la machine à blanchir et des tamis ultérieurs s'il en est. Les fragments de cellule sont au nombre des particules les plus petites. La section des cellules de particules de l'albumen amylicé forme un pentagone ou un hexagone

Figure 4. Coupe d'une particule de péricarpe
(Grossi 925 fois; coloré au bleu de bromophénol chloruré mercurique (HG-BPB) pour permettre de reconnaître les protéines)



Source : Barber, Pinoda et Benedito de Barber [1].

Légende :

1. Cellules croisées
2. Mésocarpe
3. Epicarpe

Figure 5. Coupe transversale d'une particule d'albumen
(Grossi 935 fois; coloré au PAS pour constatation des hydrates de carbone)



Source : Barber, Pineda et Benedito de Barber [1].

irrégulier. Les premières sont d'ordinaire plus petites ($30 \times 25 \mu\text{m}$ contre $60 \times 40 \mu\text{m}$). Les parois des cellules longeant la surface déchirée sont généralement brisées. Les fissures constatées dans nombre de fragments représentent probablement la membrane qui recouvre les granules d'amidon et croise les parois de cellules juxtaposées.

Outre l'amidon et les protéines, on a aussi trouvé de la cellulose, des hémicelluloses et des lipides dans des fragments d'albumen amylicé du son du commerce. L'amidon se trouve dans le lumen des cellules, les celluloses et les hémicelluloses dans les parois [1]. Les protéines de l'albumen sont là non seulement comme corps protéiques [15, 16] mais servent aussi de ciment entre ces derniers et les granules d'amidon composés [9, 17] et de membrane lipoprotéique enveloppant les granules d'amidon. Dans l'albumen, les corps protéiques ont un diamètre de 1 à $5 \mu\text{m}$ [15, 16, 17, 18]. Les graisses sont situées entre les granules d'amidon composés et dans les membranes qui enveloppent les granules simples et composés. Les graisses de certaines particules de l'albumen amylicé sont à peine teintées par le Soudan noir [1]; ces particules viennent probablement de la partie centrale de l'albumen où leur présence n'a pas été détectée histochimiquement [19].

Germe

Le son du commerce obtenu à partir du paddy et non du riz étuvé contient toujours des germes entiers ainsi que des fragments de germe (voir figure 6). La forte différenciation de leurs tissus permet de distinguer facilement ces particules des autres composants du son. Les fragments du germe que l'on trouve le plus souvent sont : plumule entier, coléoptile, coléoptile et plumule combinés, radicule combinée avec calyptra et coléorhiza et scutellum combiné avec épiblaste. De l'albumen provenant de la couche de cellules écrasée adhère souvent aux germes entiers ou aux fragments contenant du scutellum.

Comme on l'a déjà vu au chapitre I, le germe du commerce se compose : a) d'un axe de l'embryon; b) du tissu qui l'enveloppe; c) de revêtements extérieurs qui correspondent à d'autres parties anatomiques du caryopse [20] (voir figure 7). Ces trois parties représentent respectivement 20 %, 71,78 % et 8,32 % en poids [21]. Le tableau 2 représente la répartition en poids des diverses parties anatomiques du riz.

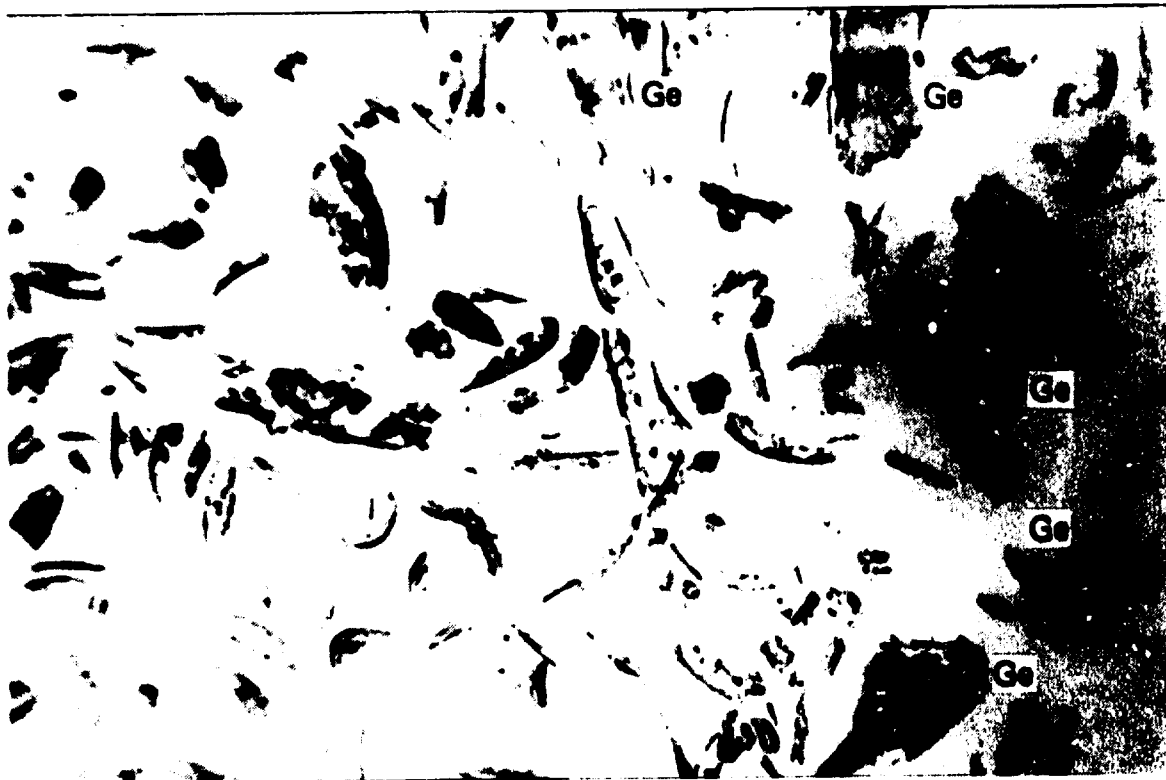
TABLEAU 2. RÉPARTITION DES ÉLÉMENTS ANATOMIQUES DU CARYOPSE DU RIZ

	Pourcentage	Pourcentage
Péricarpe et aleurone	7,0	
Albumen amylicé	90,7	
Germe	2,3	
Plumule	0,34	12,91 ^a
Radicule	0,18	7,09
Scutellum	1,4	52,1
Coléorhiza	0,18	8,33
Epiblaste	0,26	11,25

Source : Hinton [21] et Hinton et Shaw [22].

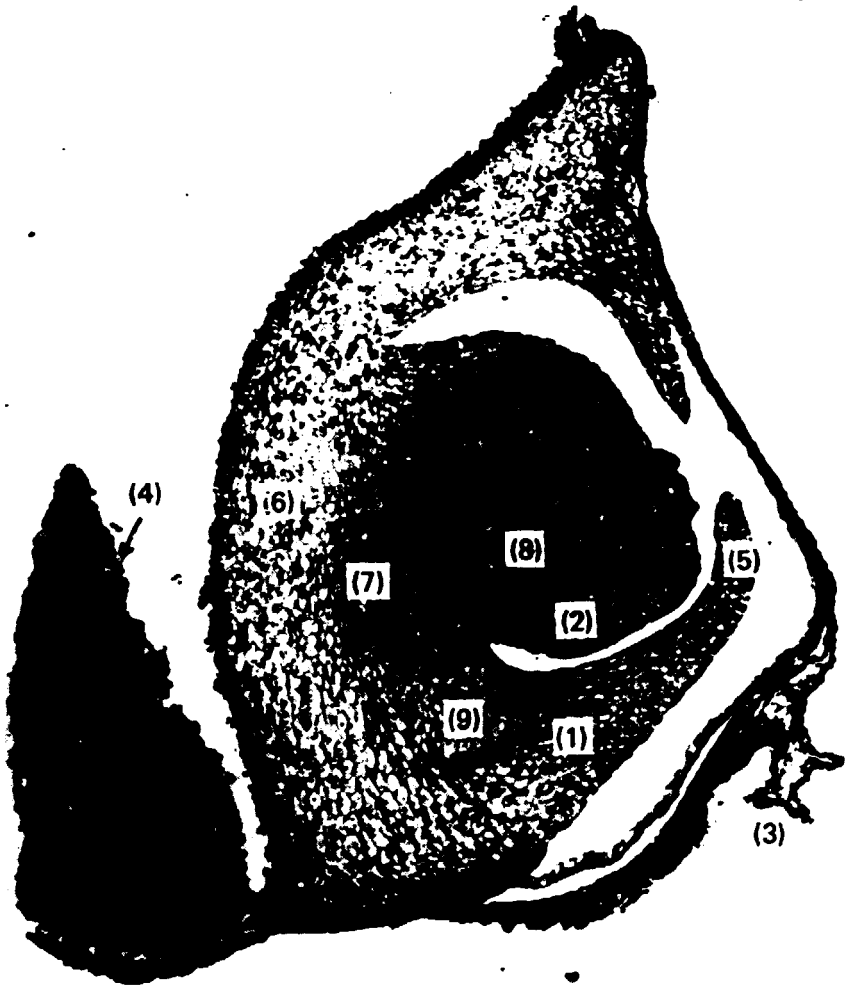
^aAvec le coléoptile.

Figure 6. Préparation histologique de son de riz du commerce, montrant la présence de divers fragments de germe (Ge)
(Grossi 35 fois; coloré au PAS pour déceler les hydrates de carbone)



Source : Pineda [2].

Figure 7. Coupe transversale du germe de riz
(Grossi 90 fois)



Légende :

- | | |
|---------------|---------------|
| 1. Coléorhiza | 6. Scutellum |
| 2. Ccléoptile | 7. Hypocotyle |
| 3. Crête | 8. Plumule |
| 4. Albumen | 9. Radicule |
| 5. Epiblaste | |

Source : Barber, Navarro et Tortosa [20].

Histologie des principales parties du germe

L'axe de l'embryon⁵

L'axe de l'embryon a la forme d'un L et est situé dans la partie centrale du germe. Il comprend le plumule⁶, le coléoptile, le radicule et l'hypocotyle. Le plumule est placé sur la grande branche du L qui constitue l'axe de l'embryon. Sa forme est celle d'un igloo; sa section circulaire a un diamètre de 0,30 mm environ et sa hauteur de 0,40 mm (variété *Balilla X Sollana* à grain court) (voir figures 7 à 10). On n'a trouvé sur le plumule que deux ou trois feuilles, entourées par l'épiderme et par des faisceaux conducteurs⁷. Au centre de la spirale que forment les feuilles on peut voir le méristème de l'apex (voir figure 8). Les cellules des feuilles de l'embryon ont des parois minces; leur profil transversal est polyédrique et à peu près isodiamétral (7 μ m). Les cellules de l'épiderme se distinguent des autres du fait qu'elles sont disposées en palissade. Elles sont recouvertes extérieurement d'un mince cuticule (0,1 à 0,2 μ m). Les cellules des faisceaux conducteurs (3-6) sont polygonales, avec une section de 4 μ m environ et rectangulaire avec une section longitudinale de 4 par 11 μ m. Le méristème de l'apex contient des cellules isodiamétriques (4 μ m).

Le coléoptile⁸ est l'enveloppe extérieure du plumule (voir figures 7 et 8). Son apex a un pore. Son épaisseur varie (0,11 à 0,18 mm) selon son emplacement, et comporte de 9 à 12 couches de cellules qui sont des polygones irréguliers en section transversale et des rectangles en section longitudinale. Elles sont disposées longitudinalement (voir figure 8). Les cellules de l'autre couche, qui sont prismatiques, forment un épiderme interne qui est, ainsi que l'épiderme externe recouvert d'un cuticule de 1,1-1,3 et environ 0,5 μ m respectivement.

L'hypocotyle⁹ relie le plumule à la radicule¹⁰ (voir figure 7). Il consiste en faisceaux provasculaires composés de grandes cellules alignées environnées de cellules parenchymateuses.

La radicule est cylindrique; sa longueur est de 45 mm environ (voir figures 7 et 11). Elle est située sur la branche courte du L qui constitue l'axe de l'embryon (voir figure 6). La coupe transversale (environ 0,35 mm) révèle divers tissus disposés en symétrie radiale (voir figures 7 et 11) comprenant : a) un cuticule épais de 6 à 10 μ m (1,5 μ m au méristème de l'apex); b) l'épiderme et un subépiderme de cellules prismatiques mesurant respectivement 11 \times 23 et 7 \times 4 μ m, disposées en palissade; c) un exoderme de deux couches de cellules de forme et de taille différentes; d) le cylindre cortical épais de 70 μ environ, avec cinq à sept couches de cellules ovales et rondes mesurant de 10 à 20 μ m; e) un

⁵Partie du germe qui se développe lors de la germination et donne naissance à la nouvelle plante.

⁶L'apex caulinaire de l'embryon; il comprend les feuilles primordiales. Pendant la germination, il donne naissance aux feuilles primaires et à la tige.

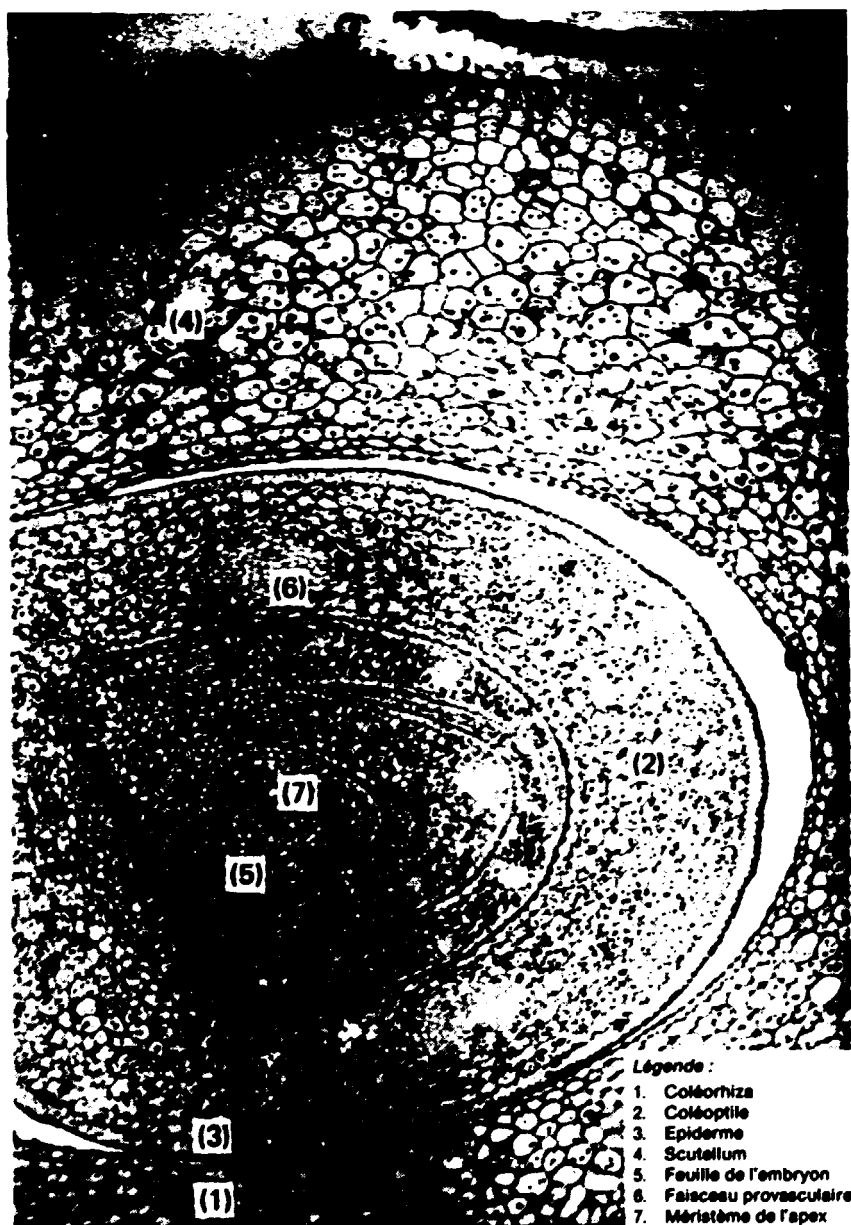
⁷Nervures de la feuille arrivée à maturité.

⁸Certains auteurs considèrent le coléoptile comme une jeune feuille modifiée, cependant que d'autres affirment qu'il est un cotylédon, voire qu'il fait partie de ce dernier en liaison avec le scutellum [21]. Pendant les premiers jours qui suivent la germination, il se développe avec le plumule, mais est ensuite réabsorbé.

⁹La tige primaire.

¹⁰La racine primaire qui, pendant la germination, devient la racine principale de la plante.

Figure 8. Coupe transversale du plumule du germe de riz
(Grossi 170 fois; coloré au PAS)



Source : Pinoda [2].

Figure 9. Préparation histologique de riz du commerce montrant un fragment de plume
(Grossi 210 fois; coloré au PAS pour montrer les hydrates de carbone)



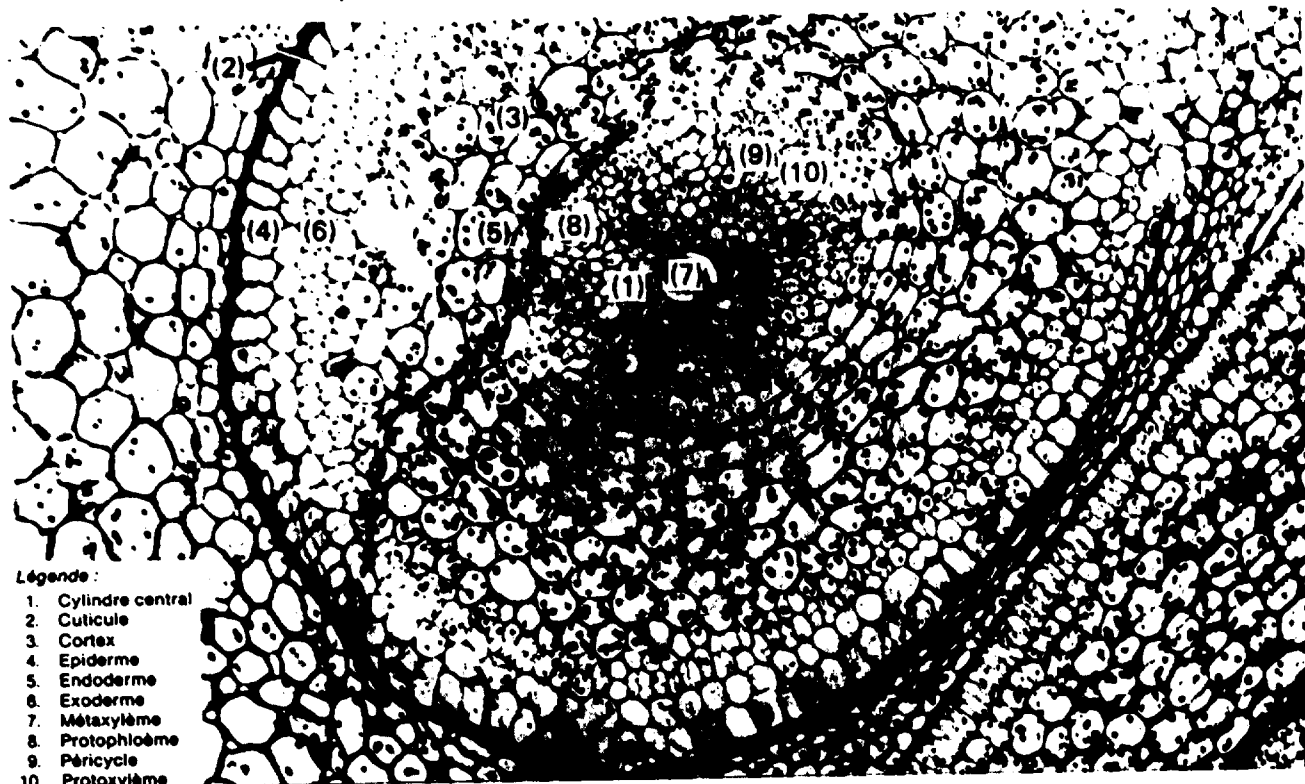
Source : Pineda [2].

Figure 10. Coupe longitudinale du germe de riz, montrant plumule et radicule
(Grossi 135 fois; coloré au PAS)



Source : Pineda [2].

Figure 11. Coupe transversale du radicle du germe de riz
(Grossi 330 fois; coloré au PAS pour montrer les hydrates de carbone)



Légende :

1. Cylindre central
2. Cuticule
3. Cortex
4. Epiderme
5. Endoderme
6. Exoderme
7. Métaxylème
8. Protophloème
9. Péricycle
10. Protoxylème

Source : Pineda [2].

endoderme d'une couche de cellules prismatiques mesurant $6 \times 5 \mu\text{m}$; *f*) un péricycle d'une ou deux couches de cellules; enfin *g*) un cylindre central où l'on peut distinguer le protophloème, le protoxylème et le métaxylème parmi les nombreuses cellules parenchymateuses. A l'apex de la radicule se trouve le méristème.

La couche la plus extérieure du méristème est le calyptrogène, qui produit la calyptra. Le dermatogène, qui donne naissance à l'épiderme, le périlème, à partir duquel se forme le cylindre central, enfin le plérome, qui donne naissance au cylindre central, sont également présents. L'apex de la radicule est couvert par la calyptra.

Le tableau 3 donne la répartition des organes et structures dans les diverses zones histologiques de l'axe de l'embryon [23]. Les cellules du scutellum contiennent de nombreuses particules rondes, de 2 à 3 μm de diamètre, couvertes d'une membrane, d'aspect et de composition semblables à ceux des grains d'aleurone [24].

Les tissus qui environnent l'axe embryonnaire

Bien qu'ils ne soient pas nettement séparés, on peut distinguer : *a*) le scutellum; *b*) le coléorhiza; *c*) l'épiblaste¹¹. Le scutellum est relié au coléorhiza à la partie inférieure du radicule et à l'épiblaste au haut de la partie extérieure du coléoptile.

Le scutellum¹² est la partie la plus grande du germe (voir tableau 2). Il se trouve entre l'axe embryonnaire et l'albumen (voir figures 7 et 8). Il se compose surtout de cellules parenchymateuses, d'une forme polyédrique irrégulière, mesurant 14 par 18 μm environ de section longitudinale. A l'extérieur, excepté à sa jonction avec l'épiblaste et le coléorhiza, il possède un épiderme de cellules prismatiques, recouvertes d'un mince cuticule; au contact de l'albumen, l'épiderme change pour former une couche de cellules d'absorption cylindriques, appelées épithélium, comportant quelques invaginations dénommées glandes épithéliales. En coupe transversale, les cellules de l'épithélium paraissent en désordre, mais la coupe longitudinale montre qu'elles sont en palissade (voir figure 12). Un faisceau conducteur va de la partie supérieure du scutellum jusqu'à la base du plumule.

Le coléorhiza est un tissu qui protège la radicule qu'il enveloppe (voir figure 7). Il est relié au scutellum à la partie inférieure et postérieure du germe et à l'épiblaste au sommet de l'extérieur de la partie basse du plumule. Il consiste en cellules parenchymateuses de profil polygonal irrégulier. Il possède à l'extérieur un épiderme de cellules prismatiques, élargies et de dimensions diverses, couvertes d'un mince cuticule (voir figure 13). On a constaté entre le coléorhiza et l'assise à aleurones un espace vide mais dans la région de la crête du germe, les deux parties sont reliées par un "suspendeur"¹³ (voir figure 14).

¹¹Certains considèrent l'épiblaste non comme un élément morphologique unique mais comme une partie du scutellum [25].

¹²Pendant la germination, il est un agent d'absorption et d'amenée des substances nutritives depuis l'albumen jusqu'à l'axe embryonnaire. Certains le considèrent comme un cotylédon unique, mais d'autres avancent que le cotylédon est formé par le scutellum et le coléoptile [26] et l'épiblaste [25].

¹³On a fait observer que dans le germe de blé il facilite l'entrée de l'eau dans le grain [27].

TABLEAU 3. RÉPARTITION DES ORGANES ET STRUCTURES DANS LES ZONES HISTOLOGIQUES DU GERME DE RIZ

<i>Zone histologique</i>	<i>Appareil de Golgi</i>	<i>Corps protéiques</i>	<i>Faisceaux</i>	<i>Corps gras</i>	<i>Réticule endoplasmique</i>	<i>Vacuoles</i>	<i>Cuticule</i>
Scutellum proprement dit							
Epithélium (un épiderme)	+	+ ^a	-	+ ^b	-	+	-
Parenchyme	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Tissu provasculaire	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Epiderme	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Zone ventrale du scutellum							
Epiderme	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Parenchyme	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Zone latérale du scutellum							
Epiderme	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Parenchyme	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Coléoptile							
Epiderme	-	+ ^a	+	+ ^b	-	-	+
Parenchyme	-	+ ^a	+	+	-	-	-
Tissu provasculaire	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Plumule							
Méristème de l'apex	+	-	+	+ ^b	-	+	+
Feuille embryonnaire							
Epiderme	+	+ ^a	+	+ ^b	-	+	+
Parenchyme	-	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Tissu provasculaire	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Mésocotyle							
Parenchyme	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Tissu provasculaire	+	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Radicule							
Calyptra	+	+	-	+ ^b	-	+	-
Apex	+	+	-	+ ^b	-	+	-
Epiderme	-	+	+	+ ^b	-	-	-
Hypoderme	-	-	+	+ ^b	-	-	-
Cortex (parenchyme)	-	+ ^a	+	+	-	-	-
Endoderme	-	-	+	+ ^b	-	-	-
Cylindre vasculaire							
Péricycle	-	-	+	+ ^b	-	-	-
Métaxylème	-	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Procambium	-	-	+	+ ^b	+ ^c	+	-
Coléorhiza							
Epiderme proche de la radicule	-	+	-	+ ^b	-	-	-
Parenchyme	-	+ ^a	-	+	-	-	-
Epiderme externe	-	+ ^a	-	+ ^{b, d}	-	-	+
Epiblaste							
Epiderme	-	+	+	+ ^{b, d}	-	-	+
Parenchyme	-	+ ^a	+	+	-	-	-

Source : Bechtel et Pomeranz [23].

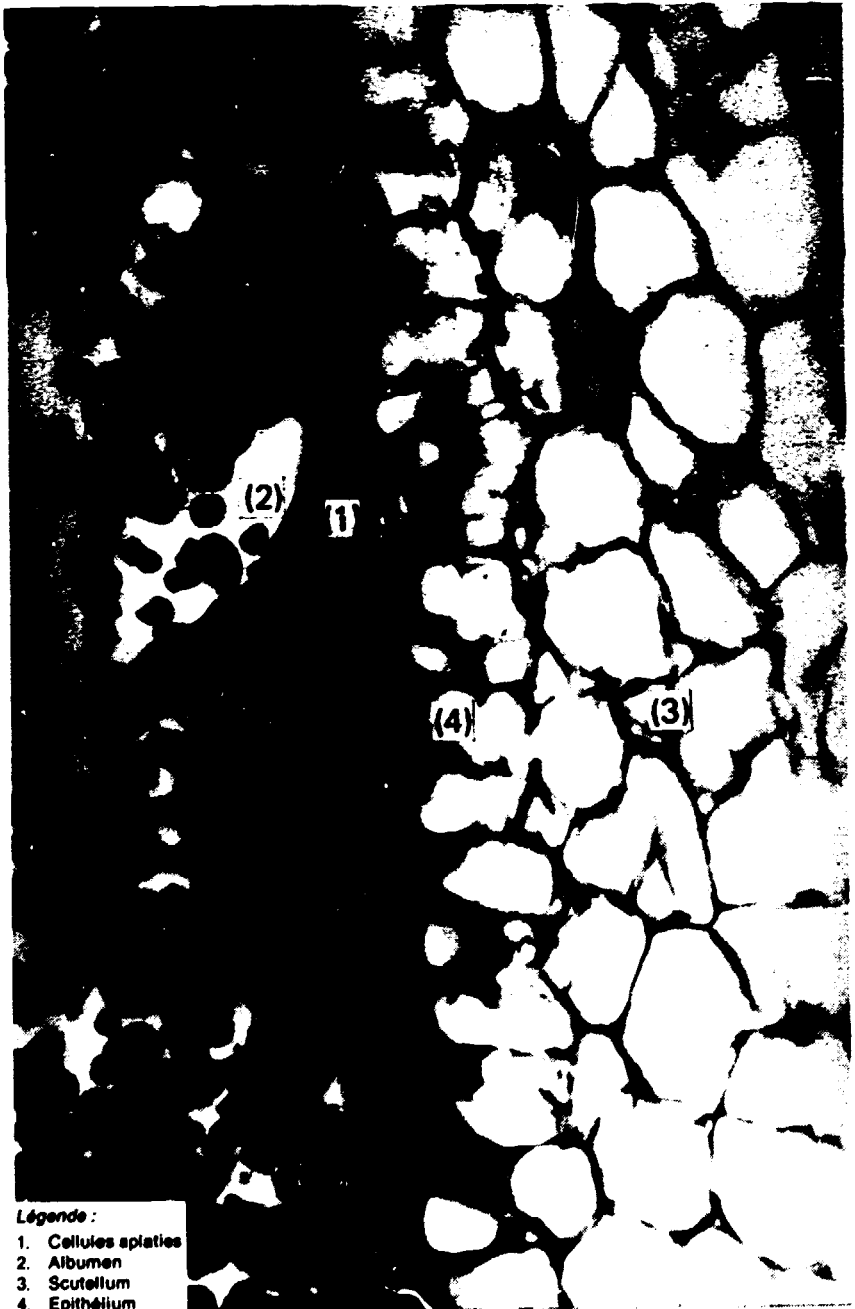
^aAvec inclusion de substance riche en électrons.

^bGénéralement périphérique.

^cVerticilles.

^dSubstance dense à la surface de la coupe.

Figure 12. Coupe longitudinale de l'épithélium du germe de riz
(Grossi 1 350 fois)



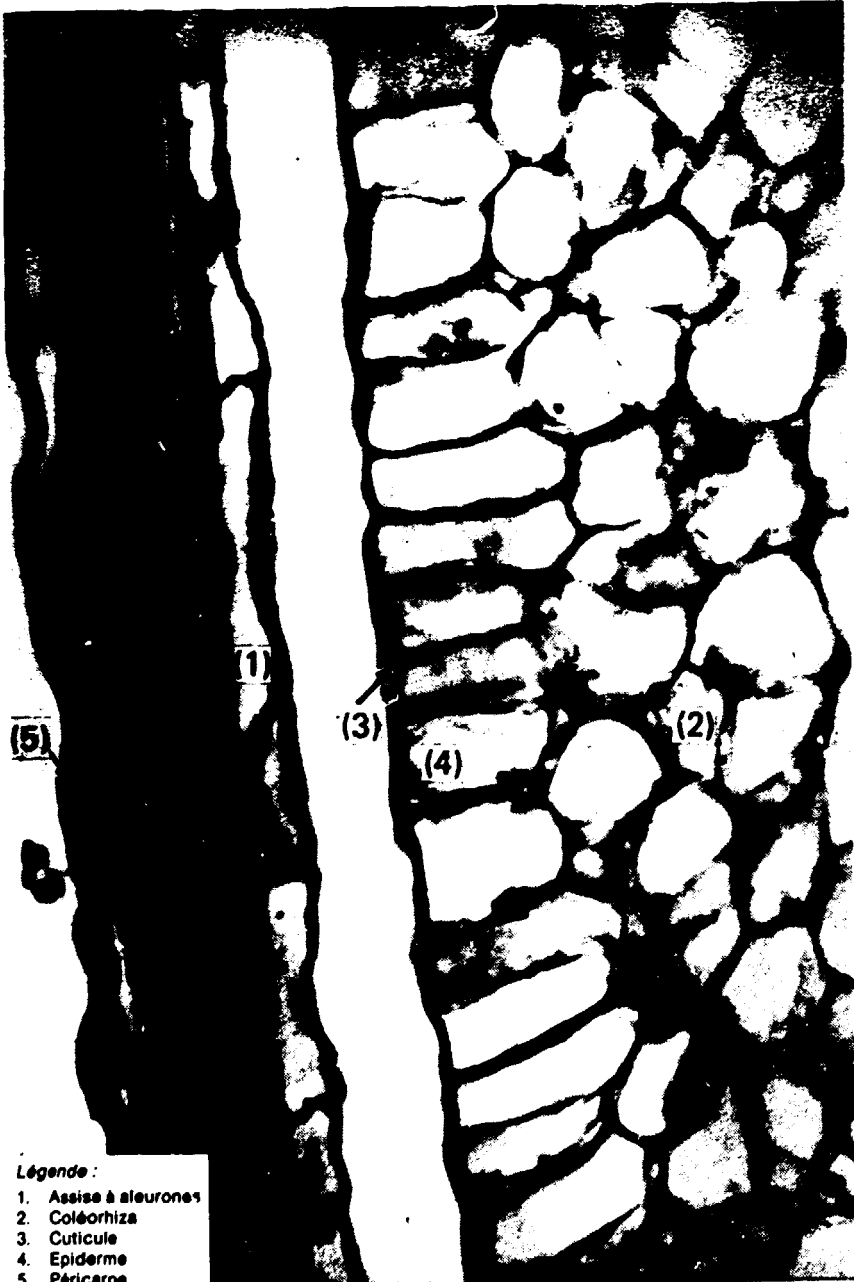
Légende :

1. Cellules aplaties
2. Albumen
3. Scutellum
4. Epithélium

Source : Barber, Navarro et Tortosa [20].

Figure 13. Détail d'une coupe longitudinale du germe de riz, montrant l'épiderme du coléorhiza et les enveloppes extérieures

(Grossi 1 350 fois)



Légende :

1. Assise à aleurones
2. Coléorhiza
3. Cuticule
4. Epiderme
5. Péricarpe

Source : Barber, Pineda et Benedito de Barber [1].

Figure 14. Détail d'une coupe longitudinale du germe de riz, montrant la zone de liaison ("suspenseur") entre l'aleurone et le coléorhiza

(Grossi 1 350 fois)

A. Extension de l'assise à aleurones



Légende :

1. Assise à aleurones
2. Coléorhiza

Source : Barber, Navarro et Tortosa [20].

B. *Suspendeur*



L'épiblaste est une couverture protectrice du plumule qu'il enveloppe extérieurement et latéralement, mais sans entrer en contact avec lui (voir figures 7 et 10). La liaison supérieure avec le scutellum est incomplète et, à la jonction inférieure, l'épiblaste se confond avec le coléorhiza. Il est formé de cellules parenchymateuses polygonales de diamètre unique à parois aplaties mesurant $6 \mu\text{m}$ environ transversalement et de 7 à 12μ en coupe longitudinale. Il est recouvert d'un épiderme monocellulaire à mince cuticule extérieur.

Le tableau 3 donne les organes et les structures du scutellum du coléorhiza et de l'épiblaste [23].

Système conducteur du germe

Le système conducteur du germe consiste en un faisceau provasculaire qui s'étend sur l'hypocotyle, depuis le radicule jusqu'à la base du plumule. Dans le nœud du cotylédon il se divise en deux branches, le faisceau provasculaire et la branche qui pénètre dans le plumule, où il se divise à nouveau pour donner naissance aux faisceaux provasculaires du coléoptile et des feuilles primaires.

Couverture du germe

Le germe est entouré par l'assise à aleurone, le tégument et le péricarpe à l'extérieur, et par les cellules écrasées de l'albumen à l'intérieur.

L'assise monocellulaire à aleurone subit de profonds changements au voisinage du germe. Ses cellules sont plus aplaties (3 à 5μ) que dans la région de l'albumen (14 à $18 \mu\text{m}$). Le tégument¹⁴ se présente comme un fourreau continu, sans différenciation des parois cellulaires. Il est plus mince dans la région du germe ($0,8-1,5 \mu\text{m}$) que dans celle de l'albumen ($1,5-2,3 \mu\text{m}$). Au voisinage du germe, le péricarpe se présente comme une masse de cellules non différenciées, sans protoplasme. Dans la région du coléorhiza il forme un pli ou crête, qui augmente l'épaisseur du péricarpe (voir figure 7). Le caractère spongieux du péricarpe s'accroît autour de la crête. Comme on l'a déjà vu au chapitre I, le germe est en contact avec l'albumen par l'intermédiaire de la couche de cellules écrasées (voir figure 12).

Histochimie du germe de riz¹⁵

On a constaté par des méthodes histochimiques la présence dans le germe de riz de tous les éléments suivants : sucre, amidon, hémicelluloses, cellulose, lignine, lipides, protéines, acides aminés basiques et contenant du soufre, tryptophane et cendres minérales [32, 2, 37]. On y a aussi trouvé du phosphore, du magnésium et du potassium par analyse aux rayons X par microsonde électronique [21]. La réaction au chlorure d'hydroxylamine ferrique, spécifique des substances pectiques [28, 29, 30] et la méthode d'hydrolyse alcaline [36] suivie de coloration au PAS [5], ont donné des résultats négatifs [32]. La réaction à la phénosafranine pour la silice a été elle aussi négative [33].

¹⁴C'est une membrane semi-perméable. On a constaté que l'eau pénètre dans l'albumen des céréales plus rapidement par la zone voisine du germe, peut-être parce que le tégument y est moins épais.

¹⁵Le texte mentionne l'intensité de la coloration de certaines préparations histochimiques. C'est un renseignement intéressant, encore qu'il n'indique pas expressément la concentration du composant chimique.

Les sucres sont présents dans presque toutes les cellules du germe; ils sont absents dans celles du péricarpe et de l'assise à aleurones [4]. On a trouvé du glucose et du sucrose dans le scutellum [34]. Les hydrates de carbone¹⁶ sont surtout localisés dans les parois des cellules et parfois dans le cytoplasme (voir figure 15). La gamme de répartition est la même dans les diverses régions histologiques, avec toutefois quelques différences. Dans l'axe embryonnaire, on constate une coloration intense de la calyptra, ce cuticule qui recouvre l'épiderme, et, dans une moindre proportion, du cuticule enveloppant le coléoptyle. D'une façon générale, il n'y a pas d'hydrate de carbone dans le cytoplasme des cellules, mais on a décelé des granules d'amidon dans certaines préparations d'axe embryonnaire. Ils sont ronds et leur dimension varie de 0,5 à 5 μm . Ils sont inégalement répartis, plus nombreux dans le plumule et le coléoptyle que dans le radicule. De plus, on a constaté la présence d'amidon dans les tissus environnant l'axe embryonnaire où les granules sont plus nombreux, dans le scutellum et dans le coléorhiza. Dans les tissus environnant l'axe embryonnaire, la coloration des parois cellulaires par le PAS est plus intense dans l'épiblaste et le coléorhiza que dans le scutellum. On n'a pas trouvé d'amidon dans les enveloppes extérieures du germe ni dans la couche de cellules écrasées; il y a des hydrates de carbone dans la paroi cellulaire mais pas dans le cytoplasme [2, 32]. Dans le protoplasme cellulaire de certaines préparations de germe, on a constaté la présence de substances dispersées qui se colorent au PAS [2].

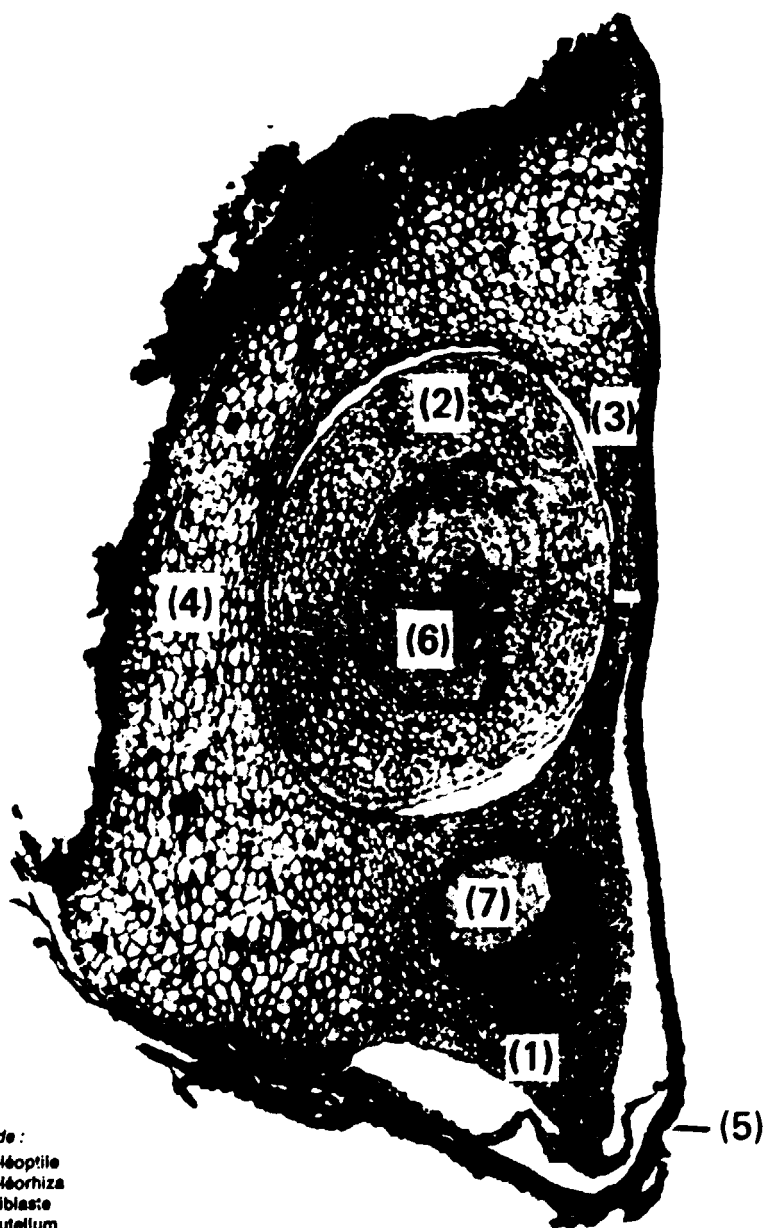
On trouve de la cellulose dans les parois de toutes les cellules du germe, surtout dans les enveloppes extérieures, notamment le péricarpe [9, 32, 35].

L'emploi du réactif de Schiff [36] a permis de découvrir de la lignine dans la couche la plus extérieure du péricarpe (enveloppe extérieure du germe) mais ce résultat n'a pas été confirmé [32] avec le phloroglucinol et les colorants au sulfite chloruré [36].

Les lipides sont présents dans tous les tissus du germe (voir figure 15 et tableau 2) [23, 37]. D'une façon générale, c'est dans le cytoplasme que l'on trouve les lipides, sous la forme de globules [4, 9, 23, 37, 38, 39] appelés aussi corps gras [23] de dimensions diverses (0,1 à 1 μm). Les corps gras ne sont pas enveloppés d'une membrane, malgré leur marge mince à forte densité d'électrons [23]. La répartition des corps gras dans les cellules peut servir à les classer en catégories [23]. Dans certains cas, ils sont épars dans le cytoplasme (par exemple cellules parenchymateuses du coléoptile, du cortex et de l'épiblaste), dans d'autres ils sont périphériques (par exemple cellules épidermiques du scutellum et du méristème de l'apex). Les lipides ne sont pas répartis uniformément dans les tissus de l'axe embryonnaire (voir figures 16 et 17). Les globules gras sont plus nombreux dans le coléoptile que dans le plumule, l'hypocotyle ou le radicule. Les faisceaux provasculaires du coléoptile ne réagissent guère positivement à la coloration par le Soudan noir. Il y a aussi des différences dans le radicule. Dans les tissus qui environnent l'axe embryonnaire, le scutellum est plus abondant que dans le coléorhiza et l'épiblaste. Dans

¹⁶Y compris les hydrates de carbone qui donnent une réaction positive à l'acide périodique PAS [5, 6]: amidon, cellulose, hémicelluloses, substances pectiques, glycoprotéines et glycolipides. Les sucres et certains lipides réagissent aussi au PAS [6] mais sont pour la plupart éliminés lors de la préparation de la coupe.

Figure 15. Coupe longitudinale du germe de riz
(Grossi 88 fois; coloré au PAS pour l'identification des hydrates de carbone)



Légende :

1. Coléoptile
2. Coléorhiza
3. Epiblaste
4. Scutellum
5. Péricarpe
6. Plumule
7. Radicule

Source : Barber, Navarro et Tortosa [32].

Figure 16. Coupe longitudinale du germe de riz
(Grossi 90 fois; coloré au Soudan noir pour l'identification des lipides)



Source : Navarro [40].

Figure 17. Coupe transversale de l'axe embryonnaire du germe de riz
(Grossi 170 fois; coloré au Soudan noir pour l'identification des lipides)



Légende :

1. Coléoptile
2. Faisceau provasculaire
3. Plumule
4. Radicule

Source : Barber, Navarro et Tortosa [37].

les couches extérieures du germe, les lipides abondent dans l'aleurone et les cytoplasmes, où ils se présentent sous la forme de globules (voir figure 18). En colorant le tégument du Soudan noir on peut les voir formant une couche continue. Le péricarpe et la couche de cellules aplaties réagissent très peu à ce colorant [37] (voir figure 19).

Il y a des protéines dans la plupart des tissus du germe (voir tableau 2) [23, 27]. Elles sont présentes dans le cytoplasme sous la forme de granules discrets épars, et dans le noyau de la cellule [37]. On a trouvé des corps protéiques dans pratiquement tous les tissus sauf les provasculaires [23]. Les cellules du scutellum contiennent des particules de protéine d'un diamètre de 2 à 3 μm qui, du fait de leur teneur en protéines, en phosphore, en magnésium et en potassium ressemblent aux granules d'aleurone de l'assise à aleurone [24]. Les caractéristiques ultramicroscopiques des corps protéiques varient selon le type de tissu en cause. D'après ces différences et d'après la répartition des corps gras, on a distingué trois catégories de cellules parenchymateuses [23] : a) les cellules à inclusions riches en électrons dans les corps protéiques et de nombreux corps gras répartis dans le cytoplasme (par exemple cellules parenchymateuses du scutellum); b) cellules à corps protéiques avec ou sans inclusions riches en électrons et corps gras périphériques (par exemple cellules épidermiques, à l'exception du méristème de l'apex); c) cellules sans corps protéiques ni corps gras périphériques (par exemple cellules du système provasculaire du plumule et du radicule).

Dans l'axe embryonnaire, la coloration au bleu de bromophénol mercurique [12] est plus intense dans le coléoptile et le radicule que dans le plumule (voir figure 20). Le noyau est plus coloré que le cytoplasme. Dans les tissus qui environnent l'axe embryonnaire, les protéines sont présentes surtout sous la forme de granules discrets mesurant de 0,5 à 2 μm . La coloration est plus intense dans l'épiderme extérieur de l'épiblaste et du coléorhiza. Les faisceaux provasculaires ne sont que très légèrement teintés et les cuticules ne le sont pas du tout [37]. Contrairement à l'aleurone environnant l'albumen, qui contient des protéines sous la forme de granules discrets [41, 42], les cellules d'aleurone de l'enveloppe extérieure du germe, qui contient des protéines éparses mais pas de granules discrets, sont colorées [37, 41].

On a constaté [37] que tous les tissus du germe qui contiennent des protéines peuvent être colorés par le jaune de naphthol S [43] qui colore la lysine, l'hydroxylysine, l'histidine, l'arginine et les groupes aminés terminaux, par le disulfure de dihydroxy dinaphtyle 2,2'-6,6' (DDD) et le bleu diazo B [44] qui colorent les acides aminés contenant du soufre, et par la nitrite DMAB [45], spécifique du tryptophan.

Les matières inorganiques (cendres résiduelles après combustion) sont présentes dans presque tous les tissus du germe (voir figure 21). On les trouve en général dans le cytoplasme et, dans le cas du péricarpe, dans les parois cellulaires. Dans l'axe embryonnaire, elles sont plus nombreuses dans le plumule et dans le radicule que dans le coléoptile; dans le plumule, elles sont réparties uniformément, et dans le radicule elles sont concentrées dans le cylindre central; elles sont présentes dans le cuticule qui recouvre l'épiderme. Dans le scutellum, les matières inorganiques abondent, notamment près de l'albume [37]. Les particules de protéines du scutellum contiennent une forte proportion de sels de magnésium et de potassium de l'acide phytique [24].

Figure 18. Enveloppes extérieures du germe de riz
(Grossi | 350 fois; coloré au Soudan noir pour l'identification des lipides)



Légende :

1. Assise à aleurones
2. Péricarpe
3. Tégument

Source : Barber, Navarro et Tortosa [37].

Figure 19. Coupe longitudinale du germe de riz, montrant les enveloppes extérieures
(Grossi | 350 fois; coloré au Soudan noir pour l'identification des lipides)

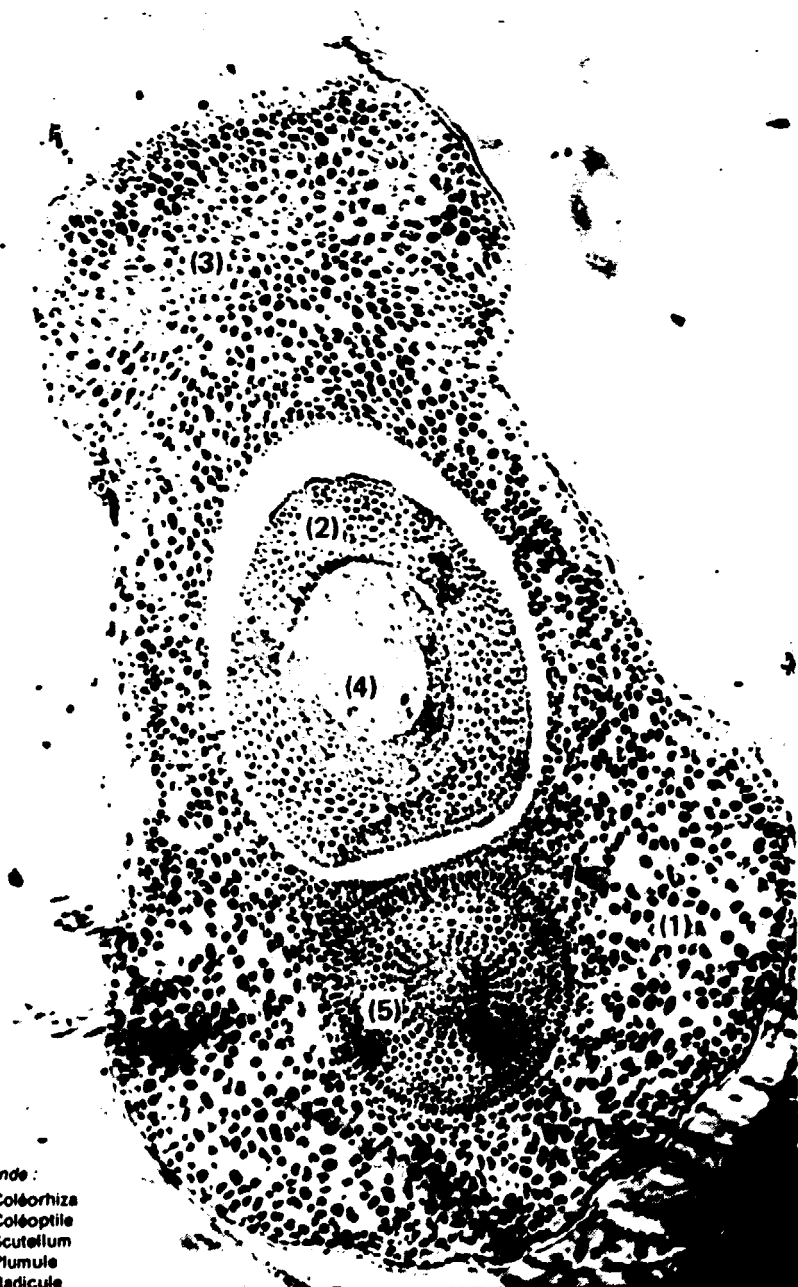


Légende :

1. Aleurone
2. Péricarpe
3. Tégument

Source : Barber, Navarro et Tortosa [37].

Figure 28. Coupe longitudinale du germe de riz
(Grossi 40 fois; coloré au bleu de chlorure bromophénol mercurique
pour l'identification des protéines)



Légende :

1. Coléorhiza
2. Coleoptile
3. Scutellum
4. Plumule
5. Radicule

Source : Barber, Navarro et Tortosa [37].

Figure 21. Coupe longitudinale du germe de riz
(Grossi 90 fois; micro-incinéré et photographié sur fond noir)



Source : Navarro [40].

Fibres

Les fibres prennent naissance dans les nœuds à la base de la particule. Bien que rares, elles sont visibles à cause de leur grande longueur qui dépasse parfois 1 cm. Ce sont des bandes torsées qui n'ont pas de structure cellulaire bien définie; dans les fragments identifiés, on a trouvé deux parois minces séparées par une cavité vide d'une largeur de 30 μm environ. Tout comme les fibres des nervures des glumes, elles réagissent positivement à la coloration PAS de recherche des hydrates de carbone. Il n'a pas été possible d'y constater des protéines, des lipides ou de la silice qui ne sont pas colorés par les réactifs histochemiques correspondants [2].

Particules discrètes composées du son du commerce

On a constaté dans le son du commerce les particules composées suivantes : *a)* fragments du péricarpe avec tégument; *b)* fragments de tégument avec assise à aleurone; *c)* fragments de péricarpe et d'assise à aleurone; *d)* fragments de péricarpe, de tégument, d'assise à aleurone et d'albumen amylicé; *f)* fragments de germe et d'albumen amylicé; *g)* fragments de germe, d'aleurone, de tégument et de péricarpe.

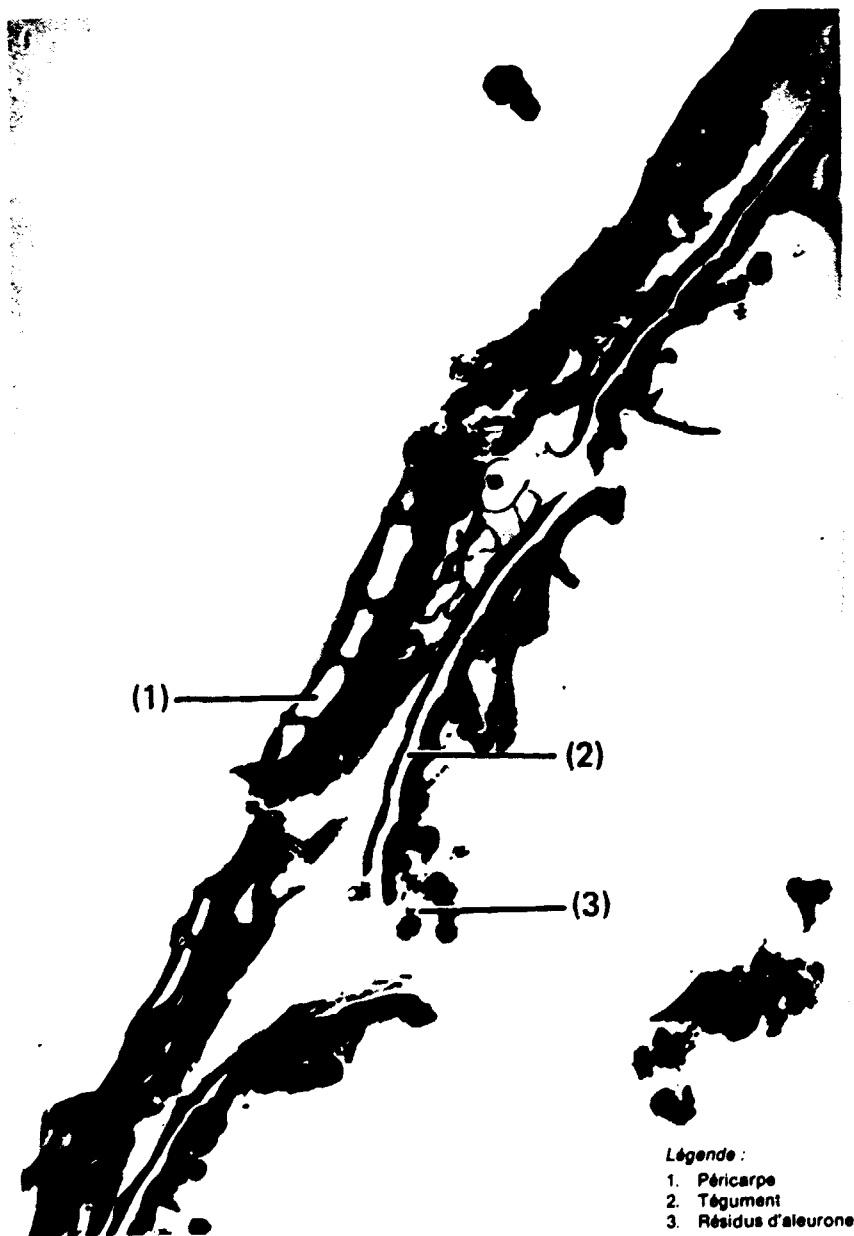
Fragments de péricarpe avec tégument

C'est là une des particules les plus fréquentes dans le son du riz du commerce (voir figure 22), elle forme ce que certains auteurs appellent le son vrai [46].

Les fragments ont la forme de flocons torsés ou enroulés dont la surface extérieure est lisse et lustrée (surface libre du péricarpe) et l'intérieur rugueux. Ils sont généralement allongés et de tailles différentes (le plus souvent 300 μm environ). Les tissus sont d'ordinaire comprimés, l'épaisseur variant de 10 à 15 μm ; on trouve parfois des particules plus grandes, notamment quand les tissus sont plus spongieux. Ce caractère est particulièrement visible au voisinage de la crête. Comme dans les particules du péricarpe seul, les cellules du parenchyme spongieux de l'hypoderme sont difficiles à distinguer, mais on les discerne facilement dans certaines particules à structure aplaie. Les cellules transversales sont elles aussi visibles [2]. Les caractéristiques histologiques du péricarpe ont été décrites au chapitre I. Dans les particules de son du commerce, le tégument et le cuticule sont combinés, avec des résidus de nucelle; certaines parties du tégument sont parfois brisées. Le péricarpe et le tégument sont étroitement liés sur toute leur longueur. Dans certaines particules, le tégument n'est accompagné que du cuticule [2].

Les caractéristiques histochemiques du péricarpe ont déjà été décrites. Le tégument, à l'exception du cuticule, est coloré par le réactif PAS de détection des hydrates de carbone et réagit positivement à l'agent Hg-BPB de recherche des protéines. Le lumen ne se colore pas [1]. Les parois cellulaires sont surtout composées de cellulose [9]. Le cuticule est fortement coloré par le Soudan noir

Figure 22. Coupe d'une particule composée de son du commerce
(Grossi 470 fois)



Source : Barber, Pineda et Benedito de Barber [1].

[11]. Little et Dawson [9] et Esau [47] ont suggéré que son principal composant est la subérine. Les vestiges du tégument interne et la nucelle se colorent très peu [1]; les parois cellulaires du tégument interne sont cutinisées [14]. Le tégument et la nucelle contiennent de la lignine. On n'a pas trouvé de silice dans le péricarpe ni dans le tégument [2].

Fragments de tégument avec assise à aleurone

Les fragments de tégument avec assise à aleurone ne sont pas très fréquents dans le son du commerce. On n'a trouvé que des particules avec une seule couche de cellules d'aleurone. D'ordinaire, ni le tégument ni les couches constitutives ne se détachent pendant l'usinage. Bien que du point de vue botanique l'assise à aleurone fasse partie de l'albumen, les fragments d'aleurone qui se détachent à l'usinage se trouvent plus souvent avec le tégument qu'avec l'albumen (voir tableau 1). La dimension des fragments varie de 100 à 300 μm de longueur et de 15 à 20 μm de largeur. La couche formée par le tégument a 6 μ et celle que forme l'aleurone jusqu'à 10 μm [2]. L'histologie des deux couches a été décrite au chapitre I.

On a pu déterminer l'histochimie du tégument, de la couche de tégument et de la portion d'aleurone de l'albumen, des hydrates de carbone, des protéines, des lipides, de la lignine, des vitamines et des matières inorganiques. Les hydrates de carbone sont localisés dans les parois cellulaires et le cytoplasme. On a trouvé dans ce dernier des grains d'amidon mesurant près de 5 μ .

Bien que certains auteurs avancent qu'il n'y a pas d'amidon dans l'aleurone [4, 11], on a dit qu'on pouvait trouver des granules d'amidon dans les cellules d'aleurone des grains mûrs [19]. Les parois des cellules d'aleurone donnent une réaction positive pour la cellulose et les hémicelluloses ou pectines lorsqu'on les colore respectivement par l'iodochlorure de zinc et le rouge de ruthenium [9]. Les protéines, colorées au réactif Hg-BPB, sont présentes en granules et dispersées dans le protoplasme. Elles sont aussi présentes sous forme de mince pellicule entourant la paroi cellulaire [23]; la coloration au ferricyanure ferrique pour la recherche des protéines donne aussi des résultats positifs pour les parois de cellules d'aleurone [9]. Le noyau cellulaire est difficile à reconnaître [2, 17]. Les granules d'aleurone ne sont pas uniformément répartis [9]; le lumen de la région dorsale du caryopse se compose en grande partie de granules d'aleurone cependant que d'autres cellules ont un grand nombre de granules d'amidon et, notamment, des globules gras [23]. On sait depuis quelque temps qu'il y a des globules gras dans les cellules d'aleurone [4]. Une mince pellicule grasse enveloppe les granules d'aleurone [9].

Autres types de particules composées

Les renseignements sur les particules des types 3 à 7 figurant au tableau 1 peuvent se résumer comme suit (voir aussi la figure 23) : les particules du type 3 consistent en péricarpe, tégument et aleurone. On a constaté que la séparation d'avec le grain pendant l'usinage s'effectue plus facilement à partir de la face ventrale que de la face dorsale [14]. La dimension des particules varie de 130 par 50 μm à 560 par 105 μm . La plupart ont une ou deux couches de cellules

Figure 23. Préparation histologique de son de riz du commerce, montrant les diverses particules composées
(Grossi 220 fois; coloré au PAS pour la détection des hydrates de carbone)



Légende :

1. Tégument
2. Aleurone
3. Albumen
4. Péricarpe

Source : Barber, Pineda et Benedito de Barber [1].

d'aleurone mais quelques-unes en ont de cinq à sept [2]. C'est probablement parce que les variétés *Japonica* ont une ou deux couches de cellules sur la face ventrale de l'aleurone et de cinq à sept sur la face dorsale [14] et aussi à cause de la différence de résistance à l'abrasion entre les deux faces du grain. Bien que certaines particules présentent des cellules d'aleurone de surface brisées, les cellules superficielles et intérieures restent généralement intactes. Il y a des particules où le cuticule du tégument est brisé.

Les particules du type 4 ne sont pas très nombreuses; elles consistent en péricarpe, tégument, aleurone et albumen amylicé, et sont généralement plus grandes que les autres particules, leur taille allant de 400 par 260 à 735 par 200 μm . Elles sont de forme irrégulière. Les cellules extérieures de l'albumen amylicé sont pour la plupart brisées. Les particules du type 5, qui ne sont pas très nombreuses, consistent en albumen amylicé et en aleurone. Elles sont d'ordinaire rondes et relativement petites (moins de 95 par 60 μm). Les particules du type 6 consistent en albumen amylicé et en germe. Outre le germe entier, auquel sont attachées des cellules d'albumen aplaties, elles contiennent aussi des fragments de germe auxquels adhèrent des couches de cellules d'albumen. C'est toutefois généralement le germe qui domine. Les particules sont d'ordinaire grandes (de 690 par 320 à 410 par 225 μm). Les particules du type 7 consistent en germe, aleurone, tégument et péricarpe et sont rares dans le son du commerce dont on a extrait le germe. Elles sont abondantes dans le son qui contient le germe car ce dernier se détache du caryopse avec les divers revêtements mentionnés. On peut aussi trouver des particules qui ont la même composition mais ne contiennent qu'un fragment de germe, la proportion dépendant du type de riz et du procédé d'usinage. Ce dernier type de particule se trouve rarement dans le son du commerce des variétés *Japonica* provenant des rizeries espagnoles. Lorsqu'il y en a, elles consistent principalement en épiblaste ou coléorhiza, avec des fragments de revêtement du germe.

Les caractéristiques histologiques et histochimiques des tissus présents dans les divers types de particule dont il est question ici sont les mêmes que celles que nous avons décrites plus haut.

Références

1. S. Barber, J. A. Pineda et C. Benedito de Barber, "Histoquímica del salvado de arroz comercial", communication au congrès tenu à Madrid du 2 au 7 octobre 1978 pour le soixante-quinzième anniversaire de la Société royale espagnole de physique et de chimie.
2. J. A. Pineda, "Estudio histológico e histoquímico del salvado de arroz y su aplicación al proceso IATA de fraccionamiento del subproducto", thèse de doctorat, Université de Valence, 1976.
3. D. F. Houston, "Rice hulls", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), chap. 12, p. 301 à 352.

4. J. K. Santos, "Morphology of the flower and mature grain of Philippine rice", *Philippine Journal of Science*, vol. 52, n° 4 (1933), p. 475 à 503.
5. R. D. Hotchkiss, "A microchemical reaction resulting in the staining of polysaccharide structures in fixed tissue preparations", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, n° 16, 1948, p. 131 à 141.
6. A. G. E. Pearce, *Histochemistry. Theoretical and Applied*, 3^e éd. (Londres, Churchill, 1963).
7. A. C. Neish, "Coumarins, phenylpropanes and lignin", *Plant Biochemistry*, J. Bonner et J. E. Varner, eds. (New York, Academic Press, 1955).
8. S. Yoshida, Y. Ohnishi et K. Kitagishi, "Histochemistry of silicon in rice plant: III. The presence of cutinsilica double layer in the epidermal tissue", *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 8, n° 2 (1962), p. 1 à 5.
9. R. R. Little et E. H. Dawson, "Histology and histochemistry of raw and cooked rice kernels", *Food Research*, vol. 25, n° 5 (1960), p. 611 à 622.
10. B. S. Sastry, M. Ramakrishna et M. R. Raghavendra Rao, "Histochemical localization of lipase in the rice grain", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 14, n° 6 (1977), p. 273 à 274.
11. T. Chang et E. A. Bardenas, "The morphology and varietal characteristics of the rice plant", *Technical Bulletin*, n° 4 (Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1965).
12. D. Maria, P. A. Brewer et A. Alfert, "The cytochemical staining and measurement of protein with mercuric bromophenol blue", *Biological Bulletin*, n° 104, 1953, p. 57 à 67.
13. B. D. Juliano, A. A. Antonio et C. V. Esmana, "Effects of protein content on the distribution and properties of rice protein", *Journal of Science and Food Agriculture*, n° 24, 1973, p. 295 à 306.
14. J. Cho, "Double fertilization in *Oryza Sativa* L. and development of the endosperm with special reference to the aleurone layer", *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences* (Japon), Series D, n° 6, 1956.
15. H. Mitsuda et autres, "Studies on the proteinaceous subcellular particles in rice endosperm: electronmicroscopy and isolation", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokyo), n° 31, 1967, p. 293.
16. D. B. Bechtel et Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza Sativa*) caryopsis: The starchy endosperm", *American Journal of Botany*, n° 65, p. 684 à 691.
17. A. R. del Rosario et autres, "Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel", *Cereal Chemistry*, vol. 45, n° 3 (1968), p. 225 à 235.
18. V. G. Scherbakov et autres, "Method for isolation of protein bodies of rice endosperm", *Izvestiya Vysshikh Oubeznykh Zavedenii, Pishchevaya Tekhnologia* n° 6, Krasnodar, Krasnodarskii Politekhnikeskii Inst. (1973), p. 126 à 129.
19. B. D. Juliano, "The rice caryopsis and its composition", *Rice. Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), chap. 2, p. 16 à 74.
20. S. Barber, L. Navarro et E. Tortosa, "Estudio histológico del germen de arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, n° 4 (1972), p. 232 à 255.

21. J. J. C. Hinton, "The distribution of vitamin B₁ in the rice grain", *British Journal of Nutrition*, vol. 2, n° 2 (1948), p. 237 à 241.
22. J. J. C. Hinton et B. Shaw, "The distribution of nicotinic acid in the rice grain", *British Journal of Nutrition*, vol. 8, n° 1 (1954), p. 65 à 71.
23. D. B. Bechtel et Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza Sativa*) caryopsis: The germ", *American Journal of Botany*, n° 65, 1978, p. 75 à 85.
24. K. Tanaka, M. Ogawa et Z. Kasai, "The rice scutellum: studies by scanning electron microscopy and electron microprobe X-ray analysis", *Cereal Chemistry*, vol. 53, n° 5 (1976), p. 643 à 649.
25. J. Cho, "The anatomical observation of the embryo in the rice", *Botanical Magazine* (Tokyo), LII/622, 1938, p. 520 à 533.
26. K. Yasui, "The anatomy of the embryo and seedling of *Oriza Sativa* L. with special reference to the structure of cotyledon and mesocotyl", *Botanical Magazine* (Tokyo), n° 50, 1936, p. 632 à 640.
27. D. Bradbury, M. M. McMasters et J. M. Cull, "Structure of the mature wheat kernel", *Cereal Chemistry*, vol. 33, n° 6 (1956), p. 329 à 391.
28. P. Albersheim et U. Killias, "Histochemical localization at the electron microscope level", *American Journal of Botany*, n° 50, 1963, p. 732 à 745.
29. M. Gee, R. M. Reeve et R. M. McCready, "reaction of hydroxylamine with pectinic acids: Chemical studies and histochemical estimation of the degree of sterification of pectic substances in fruit", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 7, n° 1 (1959), p. 34 à 38.
30. R. M. Reeve, "A specific hydroxylamine-ferric chloride reaction for histochemical localization of pectin", *Stain Technology*, n° 34, 1959, p. 209 à 211.
31. W. A. Jensen, "The composition of the developing primary wall in opinion root tip cells. II. Cytochemical localization", *American Journal of Botany*, n° 47, 1960, p. 287 à 295.
32. S. Barber, L. Navarro et E. Tortosa, "Histoquímica del germen de arroz: I. Hidratos de carbono", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, n° 4 (1972), p. 597 à 608.
33. S. Yoshida, D. A. Forno et J. H. Cock, *Safranin-phenol Method for Detection of Silicified Cell in Rice Tissue*, Manuel de laboratoire pour l'étude physiologique du riz (Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1971).
34. T. Akazawa, "Enzymes in rice" dans *Rice, Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972).
35. R. R. Little, "Microscopic studies of rice (*Oryza Sativa* L.)", dans *Comptes rendus du neuvième congrès international de botanique*, vol. II et IIA, p. 232.
36. W. A. Jensen, *Botanical Histochemistry* (San Francisco, Freeman, 1962).
37. S. Barber, L. Navarro et E. Tortosa, "Histochemistry of rice embryo. II. Lipids, proteins, amino-acids and minerals", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 16, n° 4 (1976), p. 516 à 530.
38. L. Borasio, "Della gemma del riso e della sua composizione chimica", *Gior. di Riscicoltura*, vol. 19, n° 1 (1929), p. 69.
39. J. Bouharmont, "Anatomical study of rice embryo and its germination", *Cellule*, vol. 66, n° 3 (1967), p. 273 à 298.

40. L. Navarro, "Histologia e histoquímica del germen de arroz", thèse de doctorat E.T.S.I.A. de Valence, 1974.
41. D. B. Bechtel, et Y. Pomeranz, "Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza Sativa*) Caryopsis; The caryopsis coat and the aleurone cells", *American Journal of Botany*, vol. 64, n° 8 (1977), p. 965 à 973.
42. K. Tanaka et autres, "Subcellular particles isolated from aleurone of rice seeds", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, n° 155, 1973, p. 136 à 143.
43. A. D. Deitch, *Laboratory Investigation*, n° 4, 1955, p. 324.
44. R. J. Barnett et A. M. Seligman, "Histochemical demonstration of protein-bound sulphhydryl groups", *Science*, n° 116, 1952, p. 323 à 327.
45. C. W. M. Adams, "A p-dimethylamino-benzaldehyde-nitrite method for the histochemical demonstration of triptophane and related compounds", *Journal of Clinical Pathology*, n° 10, 1957, p. 56 à 62.
46. D. F. Houston, "Rice bran and polish", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), chap. 11, p. 272 à 300.
47. K. Esau, *Plant Anatomy* (New York, John Wiley, 1965).

IV. Contrôle de la production du son de riz

Contrôle des traitements

Dans les exploitations industrielles, la quantité de son récupérée sur le riz varie d'une façon générale de 4 à 11 % en poids pour le riz brut et de 5 à 13,5 % pour le riz brun (voir tableau 1). La proportion varie selon les pays et les

TABLEAU 1. QUANTITÉ DE SON ENLEVÉE AU RIZ PENDANT L'USINAGE, PAR PAYS

<i>Pays</i>	<i>Grammes de son par 100 grammes de riz brut</i>	<i>Source</i>
Colombie	8	Ospina [2]
	8-10	Jaramillo [3]
Costa Rica	9	Vargas et Murillo [4]
Egypte	8	Saunders et autres [5]
Espagne	7-13	Rivero [6]
	7,4-11,1	Barber et Benedito de Barber [7]
Etats-Unis d'Amérique	9,7	Hunnell et Nowlin [20]
Guatemala	10	Elias et Bressant [9]
Inde	4-6	Brown [10]
	4,5-8,5	Chakrabarty, Bhattacharya et Vaidyanathan [11]
	4	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
	3-4 ^a	Raghvendra Rao, Narayana et Desikachar [12]
Indonésie	4	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
Iran (République islamique d')	7-10	Kachru et Eghtedari [13]
Japon	7	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
Libéria	4-6	Saunders et autres [5]
Malaisie	4-5	Arnott et Lim [15]
	5,45-13	Van [16]
Mozambique	10,5	Berberan [17]
Pakistan	4	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
	6-7	Maqsood Ali, Abdul Haq et Hameed Khan [18]
	10	Khan [19]
Philippines	7	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
République de Corée	7	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
	8,7-10,8	Kwon et Jo [14]
Sri Lanka	4	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
	3,5	Renseignement personnel donné par l'industrie
Thaïlande ^b	7	Reddy, Gariboldi et Joko [8]
Venezuela	11,5	Guerra et Jaffe [21]

^aChiffre habituel lorsque le riz est usiné pour le compte de l'Etat.

^bUne étude effectuée dans plus de 80 rizeries thaïlandaises a donné les résultats suivants : a) son provenant du riz brun : 2,86 % du paddy, variant entre 1,95 et 3,87 %; b) son blanc : 7,19 % du paddy, variant de 5,08 à 9,16 % [1].

marchés ainsi qu'en fonction d'autres facteurs¹. Le riz étuvé exige moins de traitement que le riz brut et la quantité de son ne dépasse pas d'ordinaire 6 %. La proportion de son obtenue à l'usine à partir du riz brut ne représente pas d'habitude la véritable proportion de son séparé du caryopse, car le son peut contenir de la balle écrasée (par exemple dans les usines à "hullers" ou lorsque les séparateurs de paddy ne fonctionnent pas bien) ou des fragments d'albumen (notamment quand il y a beaucoup de brisures). Il importe cependant que l'usinier connaisse la proportion de son obtenue à partir du riz brut pour pouvoir calculer son prix de revient. Mais il faut aussi connaître les effets du traitement sur le grain lui-même et sur la qualité des sous-produits. C'est à cette condition que l'on peut comprendre et juger l'usinage, décider des perfectionnements à y apporter et estimer à leur juste valeur les produits finaux — riz blanc et son. Bien qu'il y ait de nombreuses façons de procéder, on a d'habitude jugé les effets de l'usinage d'après la quantité de son qui reste dans le grain usiné en ayant recours à l'observation visuelle directe. C'est incontestablement là un procédé très imparfait d'appréciation du rendement des machines et du comportement du grain. Il y a d'autres choses à observer. L'observation directe du son, par exemple, juste à la sortie du blanchiment, donne des renseignements très utiles². Il faut bien préciser que l'usinage ne marche pas toujours de la même façon ou comme l'usinier le voudrait. La quantité de son enlevée n'est pas toujours la même; les tissus cellulaires enlevés peuvent avoir des épaisseurs différentes et la surface du grain sur laquelle ils sont pris n'est pas toujours de la même dimension ni au même emplacement. Le produit final est un mélange assez hétérogène de particules de grain.

Méthode de mesure du degré d'usinage du riz

Le but essentiel de l'usinage est de détacher l'albumen amylicé des autres éléments qui l'enveloppent — y compris le germe³ — afin d'améliorer l'aspect et la comestibilité du grain. Dans les pays où le riz constitue un aliment de base, l'opération doit s'effectuer en perdant le moins possible d'éléments nutritifs. Si l'usinage prend plus de temps, il y aura davantage de son et d'issues, qui ont moins de valeur que le grain entier; il faut donc trouver le moyen d'éliminer les sous-produits inutiles tout en satisfaisant aux besoins essentiels d'aspect et de comestibilité. Autre objectif important, encore que moins évident : l'enlèvement des couches extérieures du caryopse doit être homogène, pour chaque grain et chaque noyau, et ce dans l'intérêt non seulement de l'aspect du produit final mais aussi de sa conservation [22].

¹Une étude faite en Thaïlande [1], où l'on a comparé les rendements des diverses fractions dans 80 usines du pays, a montré que les principales causes de la variation du rendement étaient : a) la qualité du paddy; b) la taille, le type et la situation générale de l'usine; c) le degré ou le mode de traitement; d) les autres facteurs tels que l'environnement et la méthode de contrôle de la production employée.

²Il suffit de presser un peu de son entre les paumes des mains pour constater des défauts qui, sans cela, passeraient inaperçus par exemple la présence de grains brisés, voire entiers, qui ont passé par des tamis endommagés, des fragments de graines étrangères dus à un nettoyage imparfait, les particules d'encre dues à l'usage, etc.

³Un procédé spécial permet de liasser le germe attaché au riz blanc usiné, ce qui en augmente la valeur nutritive.

Aucune de ces nécessités ne compromet heureusement un résultat jusqu'à présent trop souvent négligé, à savoir la production de son de bonne qualité.

Il y a de nombreuses méthodes de détermination du degré d'usinage du riz et l'on a plusieurs fois essayé de mettre à jour l'information à ce sujet [23, 24, 25]. Les diverses méthodes employées peuvent être classées comme suit : a) procédés de vérification de la quantité de son séparé ou résiduel; b) procédés d'évaluation des effets de l'usinage d'après les modifications de la composition chimique ou des propriétés optiques du produit final.

Méthodes d'estimation du son enlevé ou résiduel

A l'usine comme au laboratoire, il est d'usage de mesurer le pourcentage en poids de riz (brut ou brun) séparé sous forme de son; on se base d'ordinaire sur le riz brun afin d'éviter les erreurs qu'entraîne la teneur variable en balle du riz brut. Il y a cependant des difficultés. Par exemple, il faut disposer d'un échantillon représentatif de paddy ou de riz brun, et des conditions de traitement doivent être identiques si l'on veut obtenir des résultats reproductibles et facilement comparables. Faute de quoi des quantités égales de son ne présenteront pas nécessairement le même degré de blancheur, la même valeur nutritive, la même comestibilité et la même aptitude à la conservation.

Il y a plusieurs méthodes d'estimation du son résiduel. Ce sont : a) l'inspection visuelle du son, soit directement soit au moyen d'instruments d'optique, b) l'estimation visuelle du son résiduel au moyen d'une coloration préalable des grains qui permet de distinguer le son de l'albumen amylicé; c) la colorimétrie, c'est-à-dire l'emploi de colorants liés ou de pigments élaborés *in situ* ou après extraction à partir du grain.

La méthode la plus fréquente consiste à faire de simples comparaisons visuelles, parfois à l'aide d'une loupe, avec des échantillons normalisés. La coloration différentielle n'est malheureusement pratiquée qu'en laboratoire. On a essayé les colorants suivants : indigo, carmin et fuchsine [26]; rouge Congo et bleu de méthylène [27]; Soudan III [28]; iode [29]; éosine et bleu de méthylène comme réactif de May-Grünwald [30] et une solution alcaline d'alcool [27, 31]. Les résultats ne peuvent être interprétés que subjectivement et il est difficile de comparer des échantillons de types de riz différents. Cette méthode est toutefois beaucoup plus fiable que celle qui consiste à observer des grains non colorés, car la coloration fait ressortir des différences qui resteraient invisibles sans elle.

L'éosine et le réactif au bleu de méthylène (réactif de May-Grünwald) [30] colorent en vert la couche extérieure du son, en bleu la couche intérieure et en rose l'albumen amylicé. Il faut avoir des échantillons témoins pour les divers degrés d'usinage et l'évaluation est subjective, mais cette coloration permet de distinguer très nettement les couches anatomiques et est très utile. La coloration au réactif de May-Grünwald a servi d'opération préparatoire à la mise au point d'une méthode objective de mesure du degré d'usinage [24]. Les zones colorées, bleues et vertes pour le son et roses pour l'albumen, sont mesurées au moyen d'un planimètre sur des images agrandies. Le degré d'usinage s'exprime par la proportion de la surface du grain encore recouverte de son, ou indice d'équilibre du son coloré (CBB). Les valeurs de l'indice CBB vont de 100 pour le riz brun à zéro pour le riz entièrement usiné (voir

figure 1). Les échantillons de riz bien usiné donnent des valeurs de 5 environ. Cette méthode offre une mesure objective et très précise du degré d'usinage; elle a ceci de particulièrement remarquable qu'elle permet pour la première fois une évaluation de l'homogénéité des effets de l'usinage sur le noyau du riz. On l'a employée dans plusieurs laboratoires mais, en dépit de ses avantages en matière de précision et d'évaluation de l'homogénéité, elle est de l'avis général trop compliquée et prend trop de temps, et devrait être perfectionnée.

Pour extraire par solvants des colorants liés ou des pigments élaborés, il faut disposer d'échantillons représentatifs du paddy ou des riz bruns d'origine et, malgré sa simplicité, cette méthode est peut être encore trop compliquée pour pouvoir être employée couramment en usine.

Méthodes reposant sur les effets de l'enlèvement du son sur la composition chimique ou les propriétés optiques du grain

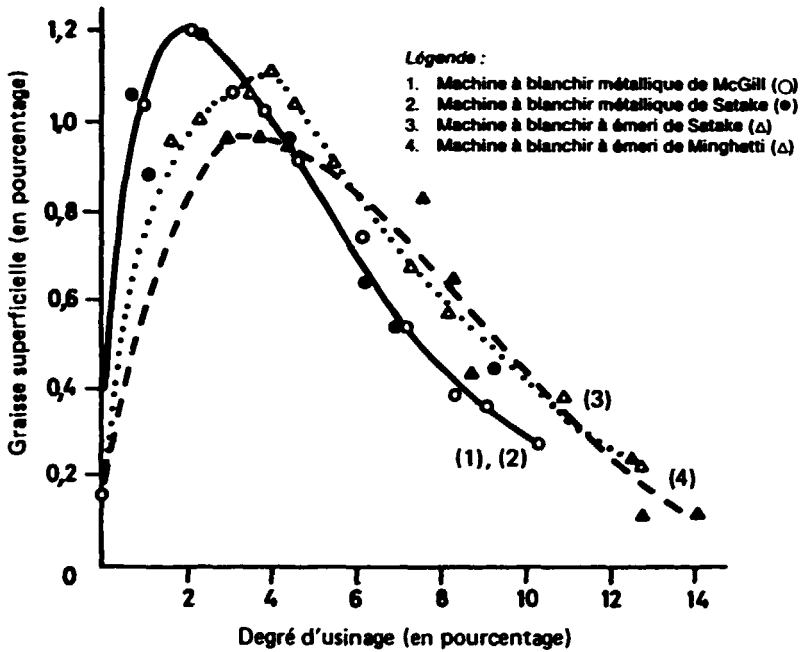
Les couches anatomiques du riz ont des compositions chimiques différentes; la plupart des éléments constitutifs suivent un gradient de concentration décroissante (ou décroissante après avoir commencé par croître) à partir des couches extérieures jusqu'aux couches intérieures du caryopse. De nombreuses méthodes d'évaluation font appel à la décroissance progressive de la concentration d'un élément constitutif au cours de l'usinage. Les divers éléments en question à cet effet sont la graisse [27, 32, 33], la cendre [34], les minéraux solubles [35], la silice et la fibre brute [12], les protéines [36], la phytine [37], le phosphore phytinique [38] et la thiamine [37]. Toutes ces méthodes sont délicates à appliquer et prennent probablement plus de temps qu'une rizerie peut leur en accorder en exploitation courante. Certaines d'entre elles, notamment celles qui font appel aux graisses [39] et aux minéraux solubles [35] ont été considérablement simplifiées. Elle présentent toutes un inconvénient fondamental : pour qu'elles soient généralement valables, il faudrait que la concentration de l'élément invoqué ou son taux de concentration dans le riz brun par rapport au riz usiné soit relativement constant pour toutes les variétés de riz et dans tous les lots. Or, ce n'est pas le cas. De plus, les procédés capables de modifier la répartition des éléments constitutifs dans le grain (l'étuvage par exemple) limitent leur propre validité. Enfin, on obtient les mêmes valeurs de mesure pour une gamme relativement étendue du processus d'usinage (voir figure 2).

Les méthodes reposant sur les propriétés optiques du grain font appel au pouvoir de réflexion et de transmission de la partie visible du spectre [26, 38, 40, 41, 42]. L'effet de la couleur et celui de la structure cristalline du riz lui-même, qui diffère d'une variété à l'autre, sur les lectures obtenues font que ces méthodes ne se prêtent pas à un large emploi. Pour éviter cette difficulté, on a proposé de prendre des lectures sur deux longueurs d'onde différentes : 600 nm (rouge éloigné) et 850 nm (infrarouge rapproché) [44]. Les lectures subissent toutefois l'influence de l'humidité, de la présence de grains anormaux et de l'âge du riz traité.

Figure 1. Echantillons prélevés sur un même lot de riz, ayant subi divers degrés d'ensilage, et colorés au réactif de May-Grünwald



Figure 2. Variation de la teneur en graisse de surface de riz usiné dans diverses machines à blanchir, en fonction du degré d'usinage



Source : Shams-ud-Din et Bhattacharya [43].

Contrôle de la production du son

Les méthodes décrites plus haut permettent de suivre l'usinage industriel pas à pas afin d'obtenir un rendement optimal en riz et en son de haute qualité. Il serait bon aussi de faire des essais en laboratoire pour juger du comportement d'une variété ou d'un lot donné de riz obtenu par traitement industriel et de la facilité avec laquelle on peut séparer le germe, ou encore d'étudier les propriétés du son ainsi obtenu. Il faudrait alors tenir compte des facteurs suivants : a) l'histoire antérieure du lot de riz; b) le type d'installation expérimentale à utiliser; c) les conditions dans lesquelles s'effectue l'usinage. L'échantillon de riz à essayer, qui doit être représentatif de l'ensemble du lot, doit être entièrement débarrassé de tous corps étrangers au moyen de procédés standards [4]. Il faut aussi que la teneur en humidité du riz soit appropriée. Si elle est trop basse (moins de 12 %, base humide), le riz aura tendance à se briser trop, ce qui nuira au son. Les échantillons doivent être essayés à la teneur en humidité recommandée pour l'usinage industriel, à savoir 13 % environ. L'échantillon une fois préparé, il faut choisir l'installation expérimentale la mieux à même de simuler les conditions dans lesquelles le riz en question sera traité. Il faut se rappeler à ce sujet qu'il y a plusieurs modèles et plusieurs méthodes [45] qui se distinguent par : a) le nombre de stades de traitement, à savoir décorticage et blanchiment en un seul temps, avec une seule machine, ou

en deux temps, avec deux appareils; b) la méthode d'apport du riz soit par lots, soit en continu, soit en combinant un décortiqueur en continu avec un blanchiment par lots; c) la méthode d'usinage : blanchiment par abrasion ou par frottement. De nombreux laboratoires emploient des décortiqueurs à rouleaux de caoutchouc mais il y en a peu qui simulent les conditions du décortiquage par disques sous-jacents.

Contrôle du décortiquage

On a vu que la balle se détachait facilement du caryopse lorsqu'on comprime les deux extrémités du grain (décortiqueur à disque sous-jacent) ou ses côtes en imprimant une sorte de mouvement de cisaille (décortiqueur à rouleaux). mais malgré la facilité avec laquelle on peut ouvrir et séparer la glumelle inférieure et supérieure, le caryopse risque fort d'être endommagé. Dans les opérations industrielles, les couches extérieures du grain sont abrasées ou endommagées et le germe est plus ou moins souvent arraché. En conséquence, le riz brun, s'il n'est pas blanchi immédiatement (par exemple, s'il faut le transporter), se détériore. La détérioration des tissus de la couche extérieure fait que la lipase des enzymes agit sur les lipides en les hydrolysant cependant que l'oxygène, en conjonction avec d'autres enzymes tels que la lipogénase, les oxyde. Ceci entraîne un abaissement de la qualité du produit de base et, de plus, le son obtenu par l'usinage de riz brun présentera un degré d'acidité très élevé, même immédiatement après l'usinage. L'enlèvement du germe pendant le décortiquage a, lui aussi, un effet nocif sur la qualité du son. L'abrasion et la séparation du germe au stade du décortiquage peuvent entraîner une perte de poids de 1,5 à 2 % du grain.

La coloration au réactif de May-Grünwald, dont la FAO [30] a donné une description détaillée, fournit un moyen simple et rapide de détecter les effets du décortiquage [7], ce qui permet de rectifier les réglages et les conditions de fonctionnement de la machine pendant qu'elle marche. Le caryopse se colore en vert lorsqu'il n'a subi aucun dommage, et en bleu lorsque les couches extérieures du son ont été détériorées. Le germe se colore lui aussi en bleu lorsqu'il a été fragmenté. Une coloration rose se manifeste là où l'albumen amylicé s'est trouvé dénudé par l'enlèvement de toutes les couches de son ou de germe. Le caryopse est toujours endommagé lorsqu'on emploie des décortiqueurs à disque, mais on peut régler les machines de manière à réduire la détérioration au minimum sans compromettre le rendement. L'emploi de décortiqueurs à rouleaux permet d'éviter la détérioration et d'obtenir un riz brun possédant d'excellentes qualités de conservation⁴. Mais l'usure des rouleaux fait que ce type de décortiqueur ne fonctionne pas toujours dans les meilleures conditions. En tout cas, le caryopse subit un certain dommage. La coloration au carmin indigo ou à la fuchsine [26] a, elle aussi, donné de bons résultats pour l'évaluation du dommage. L'indigo colore le son en rouge, cependant que le germe devient jaune lorsqu'il est indemne et rouge lorsqu'une quantité, si petite soit-elle, s'est détachée du son. Cette méthode a permis de détecter 10 % des grains à germe endommagé dans un échantillon de la variété

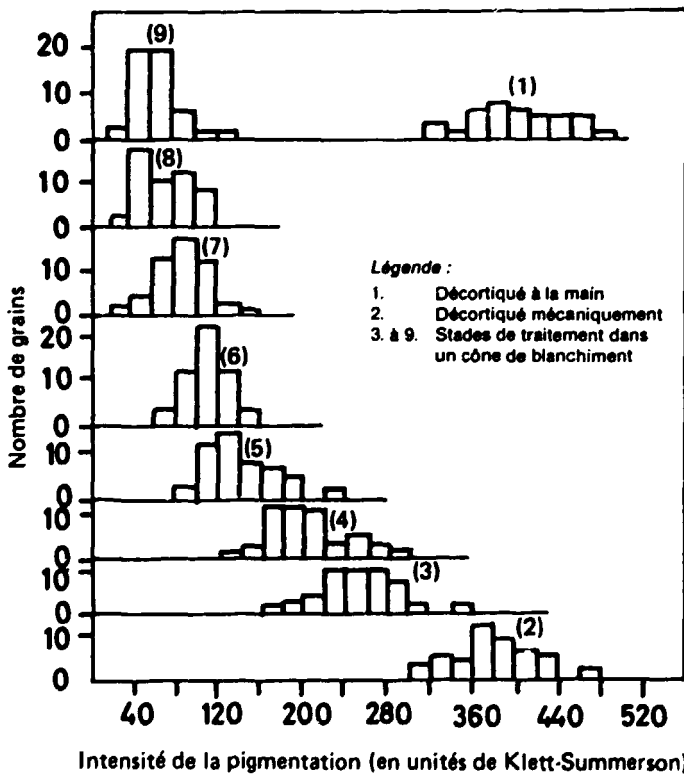
⁴Jouston, McComb et Kester ont montré que le riz brun provenant de décortiqueurs à rouleaux de caoutchouc se conserve mieux que celui qui vient des décortiqueurs à disques. En Inde, avant l'introduction des machines à rouleaux, le riz ne se conservait même pas deux mois.

Bluebonnet et 27 % ou davantage avec la variété Zenith traitée par un décortiqueur à pierre; aucune modification n'a été constatée avec l'emploi d'un décortiqueur McGill à rouleaux.

Contrôle du blanchiment

Srirangarajan et autres [47] ont étudié les variations de la quantité de son résiduel de grains de riz isolés aux différents stades de l'opération de blanchiment en utilisant un cône à abrasion du commerce. Ils ont opéré sur une variété à péricarpe rouge. Sur chacun des grains de sept échantillons de 50 grains prélevés à chacun des sept stades de l'opération de blanchiment, ils ont fait un extrait au moyen de 3 ml d'une solution à 2 % de bicarbonate de soude bouillant pendant 20 minutes; l'extrait de chaque grain, porté à 3 ml et filtré, a été mesuré au colorimètre, les résultats étant normalisés à un poids moyen de 25 mg afin de pouvoir les comparer. Les chiffres (voir figure 3) ont révélé de grandes différences entre la quantité de son récupéré sur chaque grain à chaque étape du processus de blanchiment.

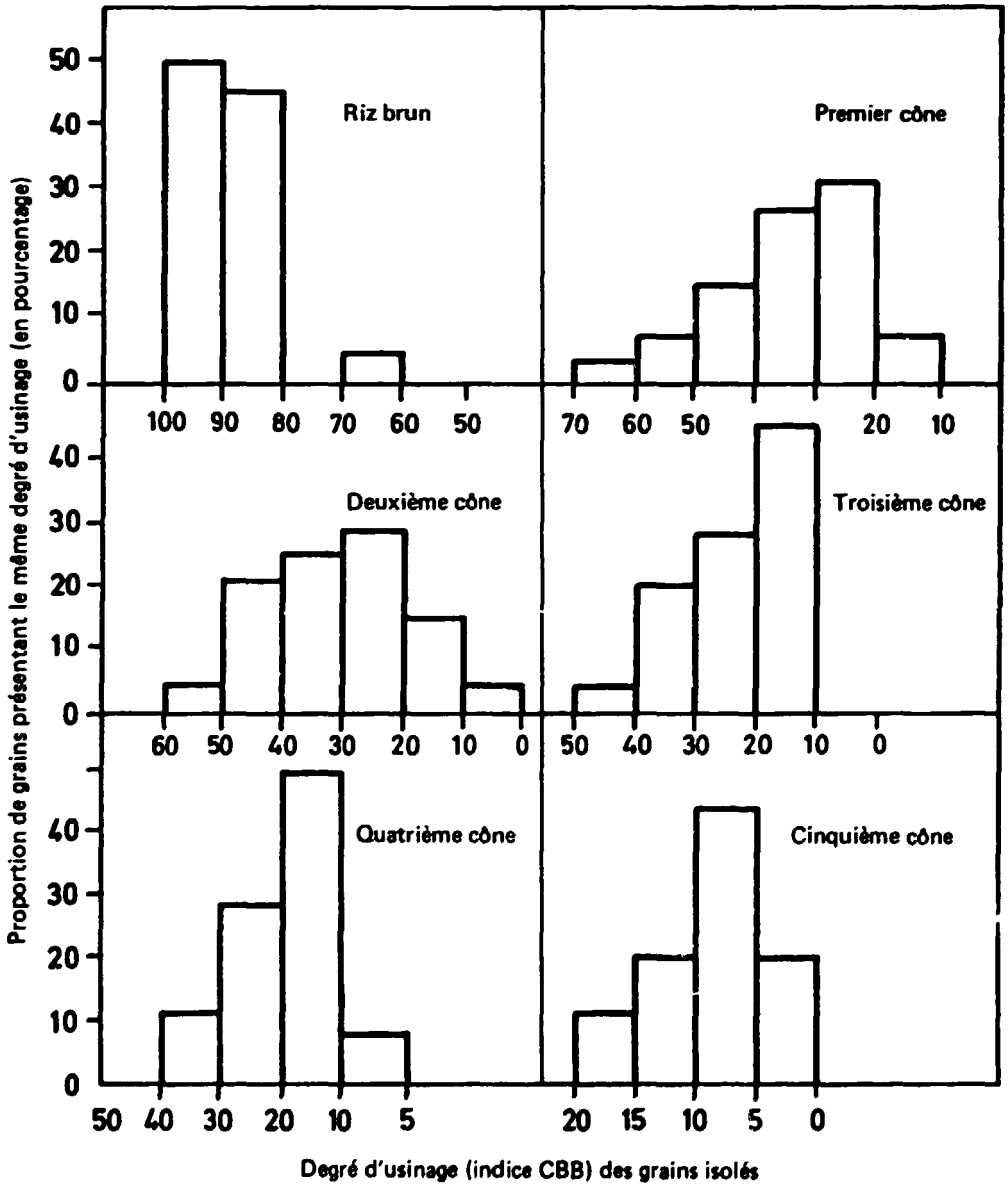
Figure 3. Histogrammes de l'intensité de la pigmentation du son résiduel de grains de riz isolés, à différents stades du blanchiment



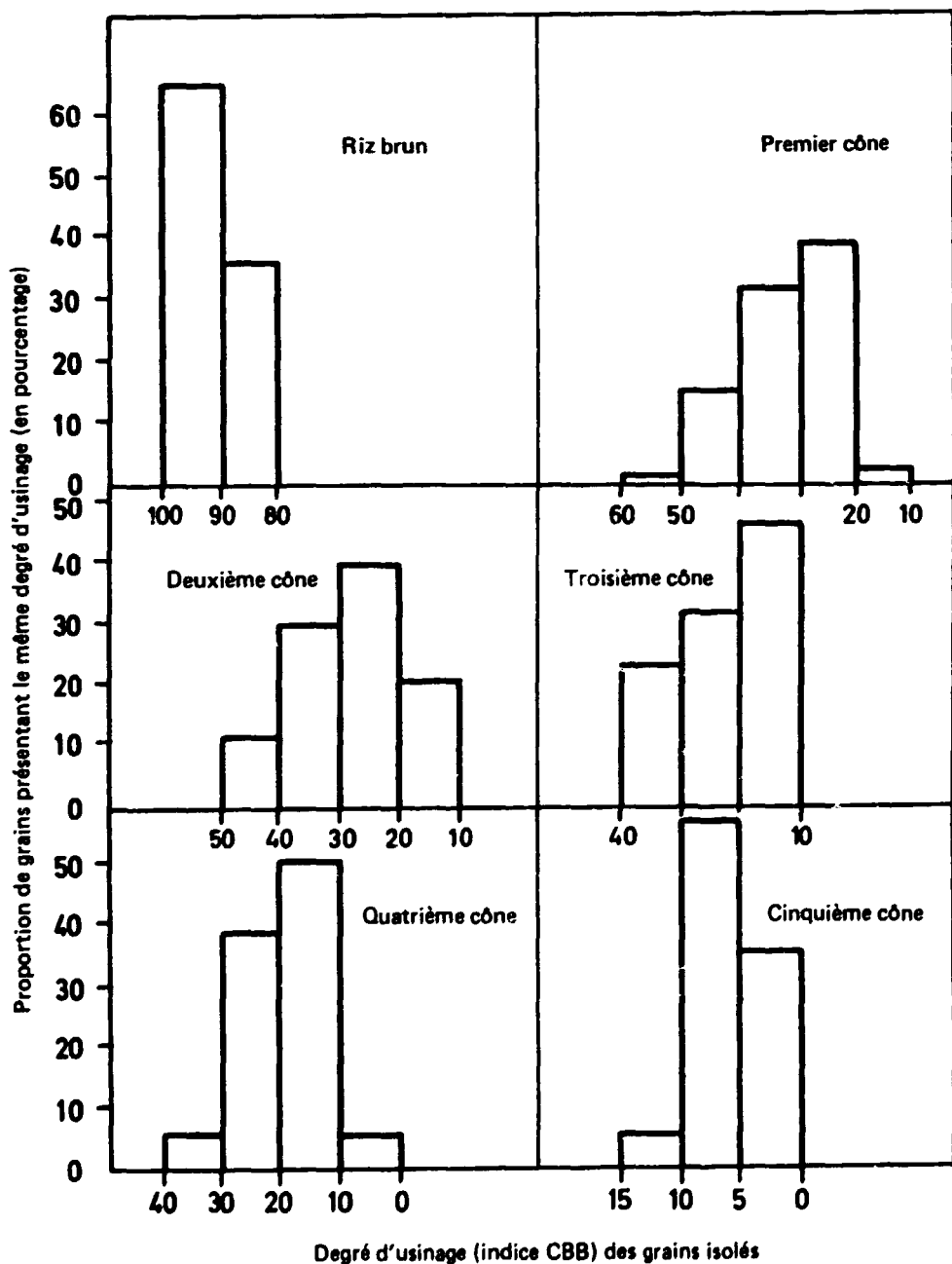
Source : A. N. Srirangarajan et autres [47].

Figure 4. Uniformité de l'usinage du riz à la fin de stades successifs du processus de blanchiment

A. Rizerie industrielle A



B. Rizerie industrielle B



Des épreuves effectuées d'après l'indice CBB sur des variétés à péricarpe normal (non coloré) ont également révélé un manque manifeste d'uniformité du degré d'usinage entre grains d'un même lot au même stade du processus de blanchiment. Ce qui signifie naturellement que des échantillons prélevés à divers stades de ce processus [24] (voir figure 4) contiendront un pourcentage élevé de grains présentant le même degré d'usinage. Les résultats de ces épreuves permettent d'en tirer deux conclusions importantes : premièrement, même les deux premiers cônes (sur cinq) contiendront un fort pourcentage de grains qui ont perdu plus des trois quarts de leur teneur en son, alors que dans les cônes suivants il y aura aussi une perte d'albumen amylicé, ce qui introduira dans le sous-produit un élément moins riche en huile. Deuxièmement, ce manque d'uniformité au même stade du blanchiment varie sensiblement d'une usine à l'autre selon les conditions dans lesquelles les grains sont traités, la variété de riz en cause et d'autres circonstances. D'une façon générale, le degré de contamination du son par l'albumen amylicé est en relation directe avec le manque d'uniformité à chacun des stades du processus de blanchiment.

Son de riz, fraction de son et sous-produits connexes : terminologie et définitions

Le son est un sous-produit de l'usinage du riz. Bien que l'opération qui consiste à enlever certaines couches extérieures du caryopse soit essentiellement la même dans tous les cas, elle peut être exécutée de plusieurs façons, dont certaines ont des conséquences décisives sur les caractéristiques du produit final. Le son ainsi obtenu peut avoir des propriétés très différentes; il importe donc de distinguer et de maintenir l'identité de chacune. Or la diversité des produits s'accompagne parfois d'une profusion des termes qui désignent chacun d'eux, ce qui entraîne une grande confusion, notamment sur le plan international, et rend difficile la consultation d'une bibliographie spécialisée. Par exemple, les renseignements publiés sur le "son du commerce" provenant des rizeries espagnoles ne peuvent pas toujours être interprétés correctement hors d'Espagne, car le germe est séparé du produit industriel avant qu'il quitte l'usine. Quoi qu'il en soit, aucune installation, si parfaite soit-elle, ne peut détacher du grain des couches de cellules déterminées à l'avance. Il est donc difficile de donner des définitions rigides des divers produits, et il faut avoir recours à des classifications plus ou moins arbitraires. Le tableau 2 récapitule les désignations les plus importantes ou fréquentes du son, des fractions de son et des sous-produits connexes, qui seront tous définis dans les paragraphes ultérieurs.

Son de décortilage³

Le son de décortilage est celui qui est obtenu lorsqu'on détache la balle du riz paddy. Il peut provenir de décortiqueurs à disques abrasifs ou à rouleaux de caoutchouc. Avec les premiers, le son consiste en grande partie en fragments de

³Les machines servant à détacher la balle du paddy portent des noms différents en anglais : hullers, huskers, dehuskers, shellers, hulling mills (NDT. En français, décortiqueurs, le mot "huller" désignant toutefois dans cet ouvrage les appareils qui décortiquent et blanchissent).

TABLEAU 2. TYPES DE SON ET DE FRACTIONS DE SON : TERMINOLOGIE FRANÇAISE ET ESPAGNOLE

Produit	Balle	Tégument. péricarpe	Aleurone	Albumen amylacé	Germe	Impuretés
Son de décortiquage par décortiqueur à disques (<i>salvado de descascarilladora de piedra</i>) ^a	+	+	0	tr	+	X
Son (<i>salvado</i>)	X	+	+	+	+	X
Son dégermé (<i>salvado desgerminado</i>)	X	+	+	+	0	X
Germe (<i>germen</i>)	X	tr		0	+	X
Son blanc (<i>harina cilindro</i>) ^b	X	tr	+	+	tr	X
Farine de blanchiment (<i>harina de pulidora</i>)	X		+	+		X
Son de décortiqueur "huller" (<i>salvado de molino "huller"</i>) ^c	+	0	0	0	0	X
Son vrai (<i>salvado verdadero</i>)		+				

Note. + élément principal, 0 élément secondaire, tr trace, X proportion variable selon le type de riz, le procédé d'usinage, etc.

^aLe son de décortiqueurs à rouleaux consiste principalement en balle et en impuretés.

^bEgalement dénommé poli de blanchiment.

^cDécortiqueur "huller" à passe unique.

balle, de péricarpe et de germe; il contient aussi une faible proportion de tégument, d'aleurone et des traces d'albumen amylacé, et beaucoup d'impuretés. Le son provenant de décortiqueurs à rouleaux consiste essentiellement en fragments de balle et en impuretés, avec une très faible proportion de péricarpe. Ces fractions de son sont d'ordinaire mélangées à du son de blanchiment (voir plus loin) afin de les rendre commercialisables. On dit aussi "son de décortiquage" (*salvado de descascarado*) [48]. Dans certaines régions du Mexique on l'appelle simplement "son" (*salvado*) pour le distinguer du sous-produit du blanchiment qu'on appelle "poli" ou "farine de blanchiment" (*puliduras* ou *harina de pulido*).

Son

Le son est le sous-produit obtenu en enlevant les couches extérieures du riz brun afin de blanchir le noyau. Il consiste principalement en péricarpe, tégument, aleurone, germe complet et écrasé et albumen amylacé, sous forme de poussière et de petits fragments; il contient des quantités variables de débris de balle et d'impuretés. Lorsque le mot "son" est employé pour le distinguer du "son blanc", il désigne le sous-produit obtenu dans les premiers stades (non définis) du blanchiment⁶. En pratique, la demande de son blanc est d'ordinaire très inférieure à la production réelle et, dans de nombreux pays, il n'est même pas mis en vente. C'est pourquoi son et son blanc sont d'ordinaire mélangés dans les proportions dans lesquelles ils ont été produits, et vendus comme sous-produit unique sous l'appellation générale de "son". En espagnol on dit aussi *afrecho* (autre synonyme de son) [48]; *puliduras* et *pulido de arroz* au Mexique;

⁶Défini par la FAO comme "un sous-produit de l'usinage du riz, consistant en couches extérieures de la balle du grain avec une partie du germe".

polvillo au Pérou; *polvo de arroz* à Cuba; *harina de pulimento* en Colombie; *semolina de arroz* à Costa Rica. Aux Philippines, on emploie les termes *darak* et *ikitiki*.

Son dégermé

Le son dont on a détaché le germe est un son duquel le germe entier et certains fragments d'albumen non pulvérulent ont été extraits par criblage et par aspiration. Il contient toujours une partie des germes entiers plus petits et du germe broyé.

Germe

C'est le germe du riz, détaché et enlevé pendant l'usinage alors qu'il fait partie du son dont il est séparé plus tard. Il est le plus souvent entier mais parfois en partie broyé; il contient aussi des fragments d'albumen amylicé (généralement de 15 à 20 % en poids) ainsi que de la balle et des impuretés. On emploie aussi les termes d'"embryon" et, en Espagne, de *morret*.

Son blanc⁷

Le son blanc est le sous-produit obtenu aux derniers stades du blanchiment. C'est une substance blanchâtre, farineuse, douce au toucher, un peu fibreuse, qui consiste surtout en albumen amylicé et en aleurone, avec des restes de péricarpe, de tégument et de germe broyé. Il contient peu ou pas du tout de balle et d'impuretés. Il se vend d'ordinaire mélangé au son (voir plus haut). Les autres appellations utilisées sont *cilindro* (en espagnol) et poli ou farine de blanchiment.

Le son blanc provenant de diverses machines à blanchir peut être classé en indiquant le numéro du stade de blanchiment — quatrième cône par exemple. En français, on dit "issues de polissage", mais ce dernier terme désigne aussi le sous-produit de la machine à broser (voir plus loin).

Issues de polissage⁸

Les issues de polissage proviennent exclusivement d'un appareil à polir en cuir ou en une substance similaire (voir plus haut). Pratiquement, elles ne contiennent que de l'albumen amylicé et de l'aleurone; elles sont ordinairement exemptes de résidus de balle et d'impuretés.

Son du décortiqueur "huller"

Le son provenant d'un décortiqueur à passe unique consiste en un mélange de balle broyée et de particules provenant de toutes les couches extérieures (y compris le germe) ainsi que d'albumen amylicé. Il contient beaucoup de fines et d'impuretés. Aux Philippines, on l'appelle *kiskis* [50].

⁷Défini par la FAO comme "un sous-produit de l'usinage du riz, consistant en couches intérieures de balle avec une partie du germe et une faible proportion de l'intérieur amylicé".

⁸La machine utilisée porte aussi le nom de machine à broser [49]. Dans certains pays, les machines à blanchir sont appelées "polisseuses", ce qui entraîne une certaine confusion dans la désignation des produits.

On peut, au moyen de tamis gradués, cribler ce produit pour obtenir deux catégories de son, le brut et le fin. Dans la première, ce sont les gros fragments de balle qui prédominent. En tout cas, le dosage des composants varie selon non seulement la machine et le type de riz mais aussi selon la finesse et le rendement du criblage final.

Le son vrai

Certains auteurs appellent "son vrai" la partie du son consistant en couches de péricarpe, en tégument externe et interne. Il ne peut être obtenu industriellement.

Autres fractions

L'air de refroidissement des machines à blanchir emporte des particules de son qui peuvent être récupérées, généralement au moyen d'un cyclone. La composition de la farine de cyclone est très variable. Elle dépend des courants qui circulent et du nombre et de la nature des machines qui les produisent.

Facteurs qui déterminent les propriétés du son

Aucune machine à blanchir ne peut séparer successivement dans tous les grains à la fois les couches distinctes qui forment la partie extérieure du caryopse. L'une des raisons en est que le blanchiment est une opération dans laquelle les grains ne sont pas uniformément au contact de la surface abrasive et ne sont pas tous soumis à la même quantité de frottement. Les autres raisons tiennent au grain lui-même. Les caractéristiques anatomiques, physiques et chimiques des grains diffèrent sensiblement d'une variété à l'autre et même à l'intérieur d'un même lot. Il y a des chevauchements et l'influence des divers éléments est difficile à démêler dans le résultat final. Il y a par conséquent intérêt à faire une analyse méthodique et détaillée de tous les facteurs qui agissent sur les propriétés du son obtenu par la voie industrielle. On les a à cette fin classés en *a)* facteurs relatifs au riz, et *b)* facteurs relatifs à l'usinage. Ces deux groupes se subdivisent de la façon suivante :

A. Facteurs relatifs au riz

1. Anatomo-morphologiques

- a)* Taille et forme du grain
- b)* Couches anatomiques

2. Mécaniques

- a)* Résistance du grain à l'abrasion et au frottement
- b)* Résistance du grain à la rupture
- c)* Facilité de séparation du germe

3. Chimiques

- a) Composition chimique moyenne
- b) Répartition des éléments constitutifs
- c) Grains défectueux

4. Pureté

- a) Contaminants physiques
- b) Contaminants chimiques
- c) Contaminants biologiques

B. Facteurs relatifs à l'usinage

- 1. a) Nettoyage
- b) Classement

2. Stades de l'usinage

Stade unique ou stades multiples

3. Machines et conditions de fonctionnement

- a) Décortiqueurs
- b) Séparateurs de paddy
- c) Epierreurs
- d) Machines à blanchir
- e) Trieurs

Suit l'examen détaillé de ces groupes et sous-groupes.

*Facteurs relatifs au riz**Caractéristiques anatomo-morphologiques du grain*

On peut distinguer : a) la taille et la forme du grain; b) les dimensions des couches anatomiques.

Taille et forme

La taille (longueur), la forme (rapport entre longueur et largeur) et le poids d'un grain de riz varient sensiblement d'une variété commerciale à l'autre (voir tableau 3). Les valeurs maximale et minimale : longueur de 5,4 à 7,5 mm,

TABLEAU 3. TAILLE, FORME ET POIDS DES GRAINS DE RIZ BRUN DU COMMERCE AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Type de grain	Longueur moyenne (en millimètres)	Rapport moyen longueur largeur	Poids moyen (en milligrammes)
Long	7,0-7,5	3,4-3,6	16-20
Moyen	5,9-6,1	2,2-2,4	18-22
Court	5,4-5,5	1,8-2,0	22-24

Source : Webb [51].

rapport longueur largeur 1,8 à 3,6 et poids 16 à 24 mg pour les variétés de riz des Etats-Unis [51] révèlent l'existence d'une large gamme d'indices de sphéricité et de rapport entre surface et poids, compte tenu du fait que les grains les plus longs sont les moins lourds. En supposant égales toutes les autres propriétés (épaisseur de la couche de son, taille du germe, etc.), ce sont les grains les moins ronds et ceux où le rapport surface/poids est le plus élevé qui devraient donner la plus grande quantité de son. Aucune étude ne paraît avoir été faite jusqu'à présent sur les effets de ces facteurs. Si la gamme des longueurs des grains de paddy est étendue, le rendement du décortiqueur sera moindre, et s'il n'y a pas de séparateur de paddy ou si le séparateur existant n'est pas efficace, on sera en présence d'une forte proportion de riz brut au moment de commencer le blanchiment.

Le grain de riz a été défini comme un cylindre conico-elliptique, ou un paraboloïde de révolution, dont la surface présente des arêtes et des sillons, et c'est pourquoi la séparation du son n'est pas uniforme sur toute sa surface. Une recherche au microscope sur les effets du blanchiment (au moyen d'un McGill n° 3) en divers points du grain [52] (voir figure 5) a montré que : a) l'arête la plus saillante est soumise à un effet d'abrasion plus fort, donc à une plus grosse perte de son, que le reste de la surface; b) les sillons perdent moins de son; c) l'effet d'abrasion est moins fort sur la partie dorsale que sur la partie ventrale du grain; d) la partie centrale du grain est moins affectée que les extrémités.

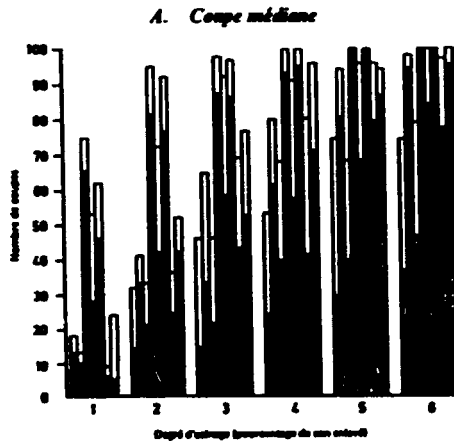
Les différences de propriétés morphologiques ci-dessus entre les variétés ou les lots se traduisent par des différences entre les sons produits. Ainsi, par exemple, la présence de sillons profonds oblige l'usine à prolonger l'usinage pour obtenir un riz répondant aux normes habituelles de blancheur. Ceci a pour effet d'introduire beaucoup plus d'albumen amylicé dans le son parce que l'abrasion est plus profonde et les fines plus abondantes.

Les grains où l'extrémité inférieure de l'albumen amylicé est en saillie sont des exemples caractéristiques des formes très marquées, encore que normales, que l'on peut trouver (figure 6). La saillie allongée, qu'on doit considérer comme un défaut, se brise facilement pendant le blanchiment, ce qui tend à accroître la proportion de petites brisures de germe et de son.

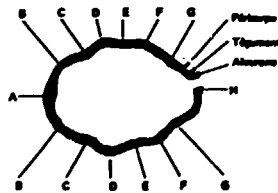
Couches anatomiques

Comme on l'a vu ailleurs, le nombre des couches cellulaires du son varie. Les variétés à grain court ont généralement plus de couches de cellules d'aleurone que les variétés à grain long. Les variétés de hauts plateaux ont généralement plus de couches dans les parties dorsale et ventrale du grain que les variétés de plaine. Les températures élevées pendant la maturation augmentent elles aussi le nombre des couches d'aleurone, mais dans la partie dorsale seulement. Une étude de 40 variétés, dont les sous-espèces *indica* et *japonica* et des hybrides [53], a évalué les gammes de variation de l'épaisseur de la couche extérieure de son et de la couche d'aleurone de diverses parties du grain — dorsale, latérale, centrale et terminale (voir tableaux 4 et 5). Ces gammes sont étendues : les minima sont généralement la moitié, voire le tiers des maxima. Ces variations entraînent des différences sensibles du son obtenu et de sa teneur en huile, qui n'ont toutefois pas été évaluées.

Figure 5. Histogramme représentant le pourcentage des zones à son et à aleurone déaoudées pour différents degrés de polissage



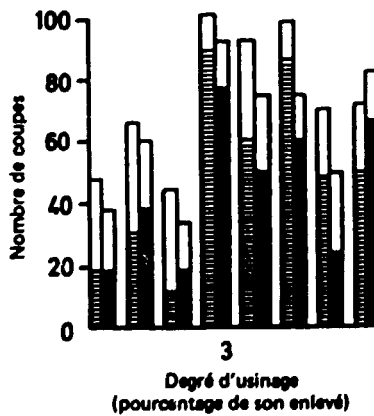
Note : Dans chaque groupe, les huit barres de gauche à droite se rapportent respectivement aux zones marquées de A à H dans la coupe transversale de grain de riz reproduite ci-dessous



Légende :

- A. Dorsal
- B. Dorsolatéral
- C. Sillon 1
- D. Crête 1
- E. Sillon 2
- F. Crête 2
- G. Ventrolatéral
- H. Ventral

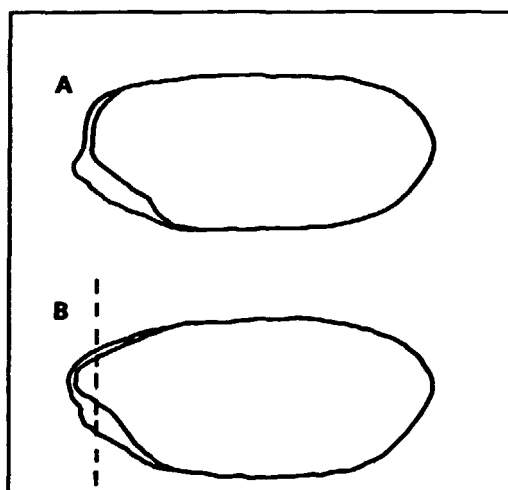
B. Comparaison entre coupes distale et médiane



Note : Dans les coupes distales le son est représenté par □ et l'aleurone par ■; dans les coupes médianes, le son est représenté par ◻ et l'aleurone par ◼.

Source : Srinivas et Desikachar [52].

Figure 6. Saillies dues à l'usinage



Note : Le pourcentage des saillies dues à l'usinage dépend de la forme du caryopse. La forme A résiste à la rupture mieux que la forme B.

TABEAU 4. STATISTIQUES DES MESURES DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE SON DU CARYOPSE DU RIZ

(En micromètres)

Statistique	Couche extérieure du son		Couche d'aleurone	
	Partie dorsale	Partie latérale	Partie dorsale	Partie latérale
Maximum	69,0	37,0	89,0	56,0
Minimum	28,0	3,0	30,0	17,0
Moyenne	45,9	19,1	67,3	32,3
Erreur normale	1,9	0,9	2,1	1,8
Coefficient de variation (%)	25,5	27,2	19,3	34,7

Source : Manoharkumar et autres [53].

Note. Récapitulation des résultats d'une étude sur 40 variétés pures de paddy des sous-espèces *indica* et *japonica* et de leurs hybrides.

La taille du germe est aussi un facteur dont il faut tenir compte. Le germe est une partie importante du son, surtout quand ce dernier vient de riz brun peu usiné, auquel cas il peut représenter plus de 25 % du produit final. La taille du germe peut être très différente selon les variétés.

Propriétés mécaniques du grain

Les propriétés mécaniques du grain comportent : a) sa résistance à l'abrasion et au frottement; b) sa résistance à la rupture; c) la facilité avec laquelle le germe peut être séparé.

TABLEAU 5. STATISTIQUES DES MESURES DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE SON EN DIFFÉRENTS POINTS DU CARYOPSE

(En micromètres)

Statistique	Région du germe		Région centrale		Extrémité opposée au germe	
	Dorsale	Latérale	Dorsale	Latérale	Dorsale	Latérale
Maximum	167,0	63,0	150,0	71,0	146,0	67,0
Minimum	67,0	25,0	75,0	25,0	84,0	29,0
Moyenne	120,0	47,4	112,8	52,2	108,0	49,0
Erreur normale	2,85	1,36	2,77	1,61	2,75	1,52
Coefficient de variation (%)	15,0	18,2	15,3	19,3	15,5	18,8

Source : Manoharkumar [53].

Note. Récapitulation des résultats d'une étude sur 40 variétés pures de paddy des sous-espèces *indica* et *japonica* et de leurs hybrides.

Résistance du grain à l'abrasion et au frottement

C'est aux endroits où l'assise à aleurone est la plus mince que le son se détache le plus facilement [54]. Pendant le blanchiment le son se détache plus tôt dans la partie latérale du grain — là où la couche est la moins épaisse — que dans la partie dorsale [53]. On a publié des chiffres sur les différences de résistance à l'abrasion non seulement entre variétés de riz (voir figure 7) [7] mais aussi entre lots d'une même variété (voir figure 8) [7, 55].

D'après des rapports sur les variations de la résistance du grain à l'abrasion en fonction de la teneur en humidité [57], les lots où cette teneur est la plus faible (6 à 10 %) sont beaucoup plus résistants. Il est particulièrement bien établi que les grains de riz étuvé sont très résistants à l'abrasion [56].

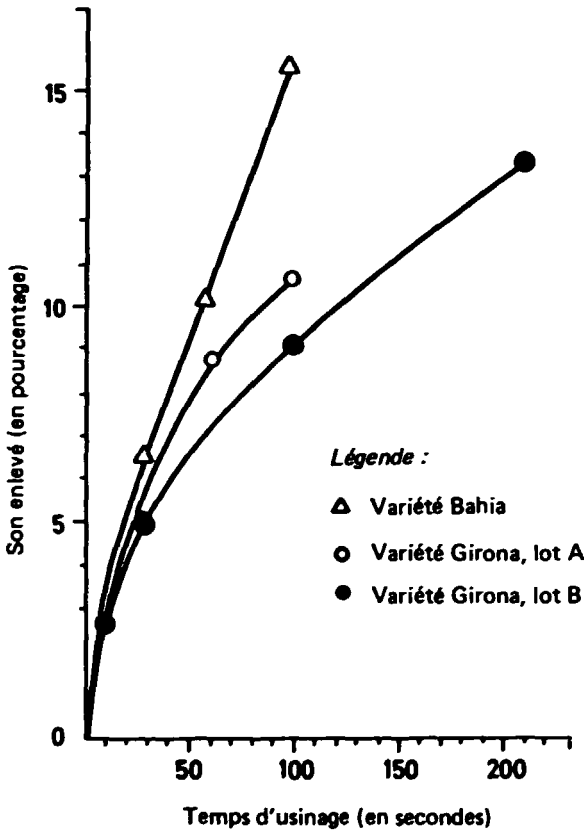
Résistance du grain à la rupture

Koga [58] a donné une représentation graphique de ce qui arrive au riz brisé pendant le processus de blanchiment (voir figure 9). Les débris sont plus facilement abrasés que le grain entier, notamment sur la surface de rupture, et la farine enlevée de l'albumen amylicé va dans le son. Dans les variétés et les lots présentant une forte proportion de brisures, ce facteur nuit considérablement à la qualité du son.

Facilité d'enlèvement du son

On a fait observer [59, 60] que la facilité avec laquelle le germe peut être détaché de son emplacement normal dans le caryopse dépend probablement de deux facteurs : premièrement, la légèreté de l'épithélium scutelaire, qui consiste en cellules vides aplaties, et deuxièmement de la faible cohésion de l'albumen amylicé dans cette région, due à sa consistance pulvérulente et au manque de parois de tissu cellulaire bien définies. Il en résulte que le germe n'est pas séparé

Figure 7. Résistance à l'abrasion pendant l'usinage de différentes variétés et de différents lots de riz brun



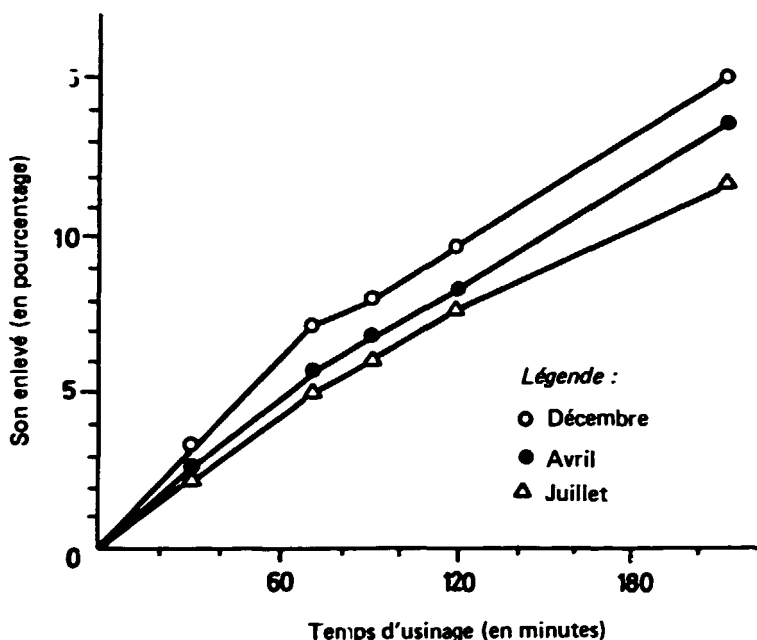
Source : Barber et Benedito de Barber [7].

par une abrasion continue mais d'ordinaire arraché brusquement sous un impact bien placé. Cependant, soit en raison de différences du degré de cohésion, soit parce que la concavité de l'albumen qui entoure le germe le protège plus ou moins, la facilité avec laquelle le germe peut être détaché pendant le blanchiment varie considérablement selon les variétés de riz (voir tableau 6) [61].

Comme le germe constitue une part importante du son, ces variations peuvent très bien signifier qu'il y aura de grandes différences dans la composition du son.

La situation n'est pas la même avec le riz étuvé. Le traitement gélatinise l'amidon et l'albumen et le germe restent solidement liés. Le germe ne "saute"

Figure 8. Modifications de la résistance à l'abrasion pendant le stockage d'un riz brun traité dans une usine différentielle^a



Source : Barber [55].

^aRiz stocké en récipients fermés hermétiquement à une température de 35 °C, d'une teneur en humidité de 13,2 %.

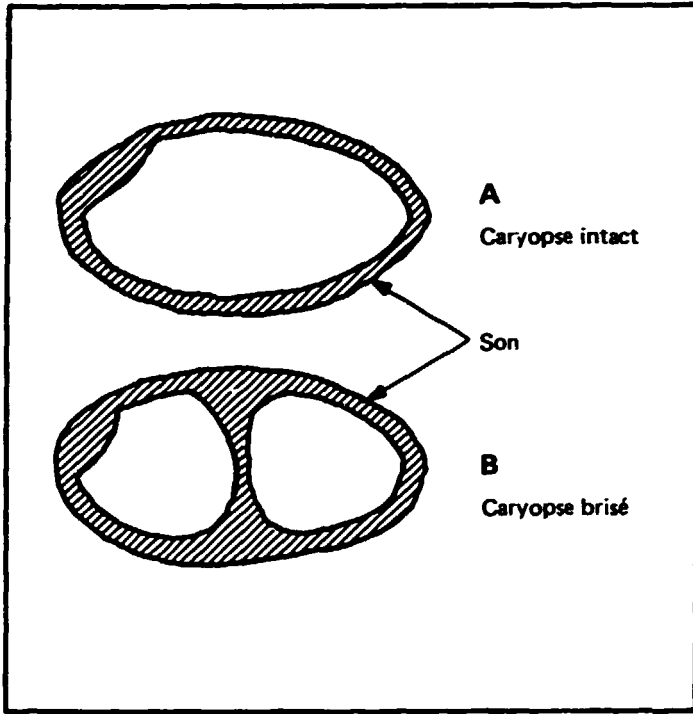
pas et sa séparation d'avec le reste du caryopse résulte de l'action continue de l'abrasion [62]. Sauf lorsque l'usinage dure très longtemps, le riz étuvé contient toujours un résidu de germe.

Vasan et autres ont étudié [63] les modifications de poids et de teneur en huile du germe dues à l'étuvage (voir tableau 7). Pendant l'opération, le germe perd une bonne partie de son poids mais sa teneur en huile augmente; en fait, il conserve la plus grande partie de son huile primitive. Si toutefois il y a enlèvement total du germe du riz étuvé (ce qui est difficile à réaliser avant élimination de 5 % de la teneur en son du riz brun calculée), sa contribution à la teneur en huile du son est la même que dans le cas du riz brut.

Caractéristiques chimiques du grain

La composition chimique du grain est un des facteurs responsables des variations considérables des caractéristiques du son. Il est probable que son

Figure 9. Parties du caryopse séparées sous forme de son pendant le blanchiment



Source : Koga [58].

TABLEAU 6. ENLÈVEMENT DU GERME PENDANT LE BLANCHIMENT

Variété	Type	Pourcentage de grains à germe résiduel
Kinmaze	Glacé	5,6
	Perlé	5,6
Fukuminosi	Glacé	8,3
	Perlé	6,6
Ginmasari	Glacé	40,6
	Perlé	32,3

Source : Kanda, Ikehashi et Ito [61].

importance ira croissant avec le progrès des programmes d'amélioration des cultures visant entre autres objectifs l'obtention de variétés de riz donnant un son de meilleure qualité. On a déjà obtenu certaines variétés qui, au lieu de contenir de 1,2 à 2,0 % d'huile (c'est la proportion habituelle), en contiennent 4 % environ [64].

TABLEAU 7. EFFETS DE L'ÉTUVAGE SUR LE POIDS DU GERME ET SA TENEUR EN HUILE

<i>Echantillons (grains de riz brun)</i>	<i>Germe (pourcentage)</i>	<i>Teneur en huile du germe (pourcentage)</i>
Riz brut	3,4	35,7
Riz étuvé	2,1	45,8

Source : Vasan et autres [63].

S'agissant des propriétés du son, il faut aussi tenir compte de la répartition des éléments chimiques dans le grain. Il y a dans le caryopse un gradient de concentration décroissante — excepté pour l'amidon, qui augmente — à partir des couches extérieures vers le centre du grain. La répartition de la graisse est différente⁹ : la concentration augmente à partir d'une couche extérieure vers la couche intérieure attenante puis décroît vers le milieu du grain. Bien que la courbe de répartition ait généralement la même forme pour toutes les variétés de riz, il y a des différences quantitatives qui influent sur la composition du son [22]. L'étuvage entraîne des modifications quantitatives localisées de la concentration d'huile mais n'affecte pas le mode général de répartition (voir figure 10) [63, 65]. On connaît bien l'augmentation de la teneur en graisse du son, ainsi que certains cas de différences entre sons dus à des différences de degré d'usinage (voir tableau 8).

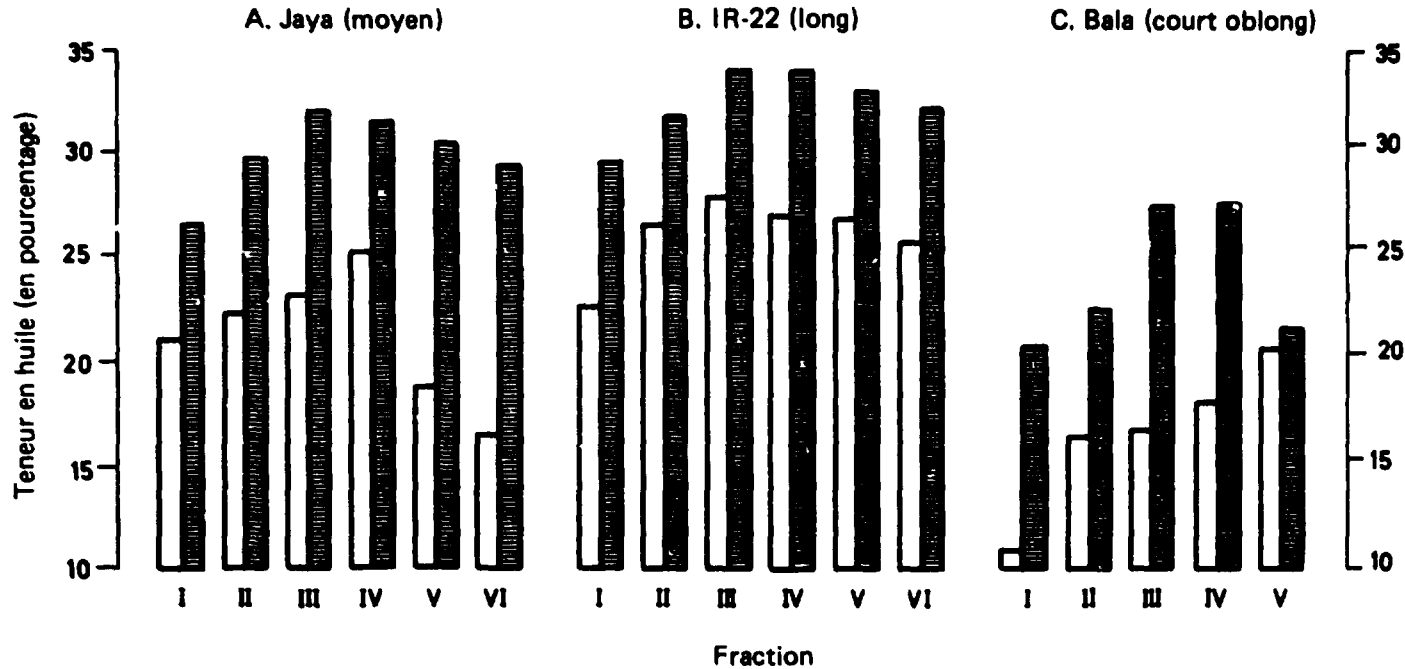
Etat sanitaire du grain

Contaminants physiques et chimiques, micro-organismes et insectes affectent tous l'état de santé du grain. Le riz est souvent stocké pendant de longues périodes, ce qui l'expose au risque de dégâts causés par les insectes et les micro-organismes. L'emploi de compositions chimiques pour la protection des récoltes est très répandu. Bien que la plupart des contaminants soient enlevés avec la balle, le son n'en est pas nécessairement exempt. Certains insecticides, le malathion par exemple, se dégradent avec le temps, mais la dégradation prend plusieurs semaines (des mois dans le cas du malathion) et le processus entraîne la formation de métabolites (principalement phosphorothionate de diméthyl) [66].

La flore microbienne habituelle du riz comprend des micro-organismes capables de produire des mycotoxines. On a constaté qu'une forte proportion (60 à 80 % en poids) des toxines du grain passe dans le son pendant l'usinage. Le son obtenu contient dix fois plus de toxines que le riz usiné [67]. Etant donné que, dans des conditions favorables, le riz est parfois exposé à la croissance rapide de micro-organismes qui entraînent la production de métabolites toxiques, la présence de ces toxines dans le son n'est nullement improbable.

⁹Ainsi que celle des protéines.

Figure 10. Teneur en huile de fractions successives de son extraites de riz brut et étuvé



Légende :

Brut

Etuvé

Fraction I 0-1,2 %
 Fraction II 1,2-2,3 %
 Fraction III 2,3-3,2 %
 Fraction IV 3,2-4,3 %
 Fraction V 4,3-5,4 %
 Fraction VI 5,4-6,4 %

Fraction I 0-1,3 %
 Fraction II 1,3-2,1 %
 Fraction III 2,1-3,1 %
 Fraction IV 3,1-4,1 %
 Fraction V 4,1-5,4 %
 Fraction VI 5,4-7,2 %

Fraction I 0-1,6 %
 Fraction II 1,3-3,0 %
 Fraction III 3,0-4,0 %
 Fraction IV 4,0-5,5 %
 Fraction V 5,6-6,9 %

Source : Mukherjee et Bhattacharjee [65].

TABLEAU 8. EFFETS DE L'ÉTUVAGE SUR LA TENEUR EN HUILE DU SON

Quantité de son après polissage (grammes de son par 100 grammes de riz brun)	IR-8		GEB-24		CO-33	
	Brut	Étuvé	Brut	Étuvé	Brut	Étuvé
2	24,1	32,2	30,2	32,9	26,4	30,6
5	25,4	34,2	30,2	34,0	27,2	36,0
8	22,5	30,1	26,9	29,1	27,3	34,0

Source : Vasan et autres [63].

Facteurs relatifs à l'usinage

Comme on l'a déjà vu, il y a trois facteurs relatifs à l'efficacité du processus d'usinage : a) les opérations préliminaires; b) le nombre de stades en cause; c) les machines et leurs conditions de fonctionnement pendant l'usinage.

Opérations préliminaires

Le paddy peut contenir des cailloux, du sable, de la terre, des objets métalliques, de la paille, des semences de mauvaises herbes, etc., qui en réduisent sensiblement la valeur. Il faut éliminer la plus grande partie, et si possible la totalité de ces corps étrangers avant de détacher la balle. On améliore ainsi la qualité du son et l'on obtient aussi un produit usiné séduisant tout en améliorant le rendement des machines à décortiquer et à blanchir et en en réduisant l'usure. Les corps étrangers les plus durs et les plus durables entraînent une usure excessive des parties les plus délicates du matériel et compromettent les opérations elles-mêmes, par exemple elles peuvent endommager les tamis de la machine à blanchir et entraîner la pénétration de brisures voire de grains entiers dans le son. Nombre des opérations exécutées immédiatement après la moisson (par exemple le séchage au soleil et le battage à l'aide des animaux) contribuent dans une large mesure à la présence de corps étrangers dans le paddy, au point que toute amélioration de ces opérations peut contribuer à résoudre le problème. Quoi qu'il en soit, le paddy, d'où qu'il vienne, ne peut arriver en bon état au stade du décortiquage s'il n'a pas subi un nettoyage à fond. Ce nettoyage peut être plus facile si les grains de riz brut sont de taille uniforme, sans quoi non seulement le rendement de l'opération diminue mais encore du grain risque de se perdre pendant qu'on l'exécute.

Le sort de ces corps étrangers dépend de la nature des particules elles-mêmes et du mode d'usinage. On a fait observer ailleurs qu'à présent l'appareil de décortiquage à passe unique, sans stade de nettoyage, prédomine dans de nombreux pays producteurs de riz, notamment en Asie. En ce cas, la plus grande partie des impuretés inertes (sable et boue) passe toujours dans le son, la balle broyée restant toutefois l'impureté principale. Les efforts entrepris par certains gouvernements pour promouvoir une modernisation, même limitée, de ces installations contribueront, s'ils réussissent, à améliorer sensiblement la qualité du son. Dans les installations de construction plus récente, et dans celles qui ont été modernisées, le nettoyage fait partie du processus. Dans bien des

cas, cependant, la capacité de nettoyage de la machine n'est pas pleinement utilisée. La terre, le sable et les fragments de balle, même en petites quantités, compromettent gravement la valeur nutritive du son. La mastication d'un produit à base de son qui contient un petit grain de sable produit un effet de surprise fort désagréable. Pour éviter ce genre de difficultés et obtenir un son de bonne qualité, il faudra assujettir le nettoyage du paddy à des normes plus sévères.

Gariboldi [68] et Van Ruiten [69] ont traité de façon détaillée du prénettoyage du paddy.

Nombre de stades de l'usinage

L'installation de type "huller" qui effectue simultanément le décortiquage et le blanchiment du paddy en une seule passe donne un sous-produit de qualité médiocre, car c'est un mélange de son (15-25 %) et de balle broyée (75-85 %) [70]. Comme il contient de la balle broyée et de nombreuses petites brisures, la teneur en huile est faible (12 à 15 % environ) (voir tableau 9).

TABLEAU 9. COMPOSITION DU SON OBTENU DANS UNE INSTALLATION DU TYPE "HULLER" ET DANS UNE INSTALLATION A CONES

(Pourcentage en poids humide)

Composants	Installation à cônes			Installation "huller"		
	Variété Anuradhapura	Variété Hambantota	Variété Batticaloa	Variété Anuradhapura	Variété Hambantota	Variété Batticaloa
Protéine	12,68	12,67	12,29	8,53	8,97	9,27
Graisse	15,31	14,94	13,59	5,85	7,50	6,12
Fibre	8,69	9,47	8,68	18,85	21,24	17,32
Cendre	10,09	10,95	10,97	22,40	18,82	17,81
Extrait exempt d'azote	42,17	41,72	44,74	33,90	32,00	38,10

Source : Siriwardene [71].

On a essayé d'améliorer le son ainsi obtenu en le criblant après coup pour séparer la partie fine, qui contient plus d'huile, de la partie grossière qui contient davantage de balle. Cette opération, bien qu'elle soit pratiquée commercialement dans certains endroits, ne résout pas vraiment le problème. Elle ne permet pas de séparer la balle réduite en petites particules, la terre ni la boue; le son reste riche en silice et pauvre en huile (moins de 10 %) et c'est pourquoi sa qualité reste basse dans les deux utilisations directes possibles, l'extraction de l'huile et l'alimentation du bétail.

L'introduction d'une forte proportion de balle dans le son ne peut être évitée qu'en employant des procédés à deux ou plusieurs stades. C'est la seule façon de récupérer un son de bonne qualité, c'est-à-dire riche en huile et pauvre en silice.

L'emploi d'une installation de blanchiment à stades multiples présente plusieurs avantages. Premièrement, la pression exercée sur les grains étant

moins forte, il y a moins de risques d'abrasion profonde qui enlève de l'albumen amylicé avec des fragments de couches de son; deuxièmement, comme il y a moins de brisures, le son contient moins de farine et de petits fragments d'albumen amylicé. Le son est en conséquence plus riche en huile.

Types de machines et conditions de fonctionnement

La machine à décortiquer joue elle aussi un rôle dans la production du son. On a déjà vu que les deux types de décortiqueurs couramment utilisés agissent différemment sur le riz : le décortiqueur à disques endommage les couches de son et enlève une partie du germe alors que le décortiqueur à rouleaux de caoutchouc laisse le caryopse pratiquement indemne. La première de ces machines donne de 1,5 à 2 % de son et la seconde moins de 0,5 %. La différence ne porte pas seulement sur la quantité de son mais aussi sur sa composition (voir tableau 10).

TABLEAU 10. COMPOSITION MOYENNE DU SON PROVENANT DE DIFFÉRENTS TYPES DE DÉCORTIQUEURS

(En pourcentage)

<i>Composant</i>	<i>Décortiqueur à disques</i>	<i>Décortiqueur à rouleaux</i>
Humidité	9,2-13,5	11,7
Protéine	8,1-11,6	3,8
Graisse	6,5-10,4	0,8
Fibre	14,8-22,6	41,5
Cendre	11,2-20,4	13,2
Extrait exempt d'azote	31,0-40,3	28,9

Source : Borasio [72], Leonzio [73], Primo et autres [74].

Le son provenant de la machine à disques consiste en fragments de balle, en son (essentiellement du péricarpe), en un peu de germe et de rachéole, et de petits fragments d'albumen avec des impuretés inorganiques, alors que le son provenant de décortiqueurs à rouleaux ne contient presque pas de germe et de son. C'est ce qui explique pourquoi le son des machines à rouleaux est plus pauvre en graisse et plus riche en fibre. Les descriptions ci-dessus ne sont valables que pour les machines parfaitement réglées. Ce n'est malheureusement pas le cas d'habitude, notamment avec les machines à disques où le réglage précis de l'écartement entre les deux surfaces abrasives est d'une importance capitale. On se souviendra que la machine à disques exerce une pression sur les deux extrémités du plus grand axe du grain (longueur) alors que la machine à rouleaux presse les extrémités de l'axe le plus petit (épaisseur). La longueur des grains varie plus que leur épaisseur; de plus, la surface des disques n'est pas élastique comme celle des rouleaux. Quand les longueurs sont très différentes, les grains les plus longs se brisent et les plus courts sortent tels quels. Si l'écartement entre les disques n'est pas bien réglé, ou si, par suite de l'usure, il n'est pas uniforme, ou si l'alimentation en grains de la machine est trop rapide, l'abrasion subie par le grain entraîne l'élimination de quantités de son plus importantes.

Quand le riz est décortiqué dans une machine à rouleaux de caoutchouc, le son séparé par la suite lors du blanchiment est plus riche en huile que celui qu'on obtient avec un décortiqueur à disques (voir tableau 11).

TABLEAU 11. EFFET DES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉCORTIQUEURS SUR LA TENEUR EN HUILE DU SON PROVENANT DES MACHINES A BLANCHIR

Type de décortiqueur	Teneur en huile (en pourcentage)
Disque abrasif	15-17
Rouleau de caoutchouc	18-20

Source : Aggarwal et Sarda [75].

L'efficacité du décortiqueur agit aussi sur les propriétés du son. Aucune machine ne décortique cent pour cent du paddy en une seule passe. De plus, si le décortiqueur est usé ou mal réglé, ou si la dimension du grain varie, le pourcentage des grains qui passent par la machine sans être atteints est élevé. Si la machine qui sert à séparer le paddy n'est pas conduite avec le plus grand soin (ce qui entraînerait alors un rendement très faible) le riz brun qui entre dans les machines à blanchir souffrira.

La taille moyenne des grains de riz brut rejetés par le séparateur de paddy est beaucoup plus faible que celle du riz qui entre dans les décortiqueurs, et c'est pourquoi il y a des grains qui sortent sans avoir été traités. L'installation d'un décortiqueur "rétroactif" qui ne traite que le grain rejeté par le séparateur de paddy et qui est réglé d'après la taille moyenne de ces grains est une bonne solution qui permet de s'assurer plus facilement qu'il n'entre pas de riz brut dans les machines à blanchir.

Comme on l'a déjà fait observer, les séparateurs de paddy peuvent fonctionner à près de 100 % de leur capacité avec des rendements industriellement acceptables. Il faut en tenir compte lorsqu'on veut obtenir un son de haute qualité.

Il faut également mentionner les épierreurs, qui peuvent être placés avant les décortiqueurs ou avant les machines à blanchir. Les cailloux et les mottes de terre d'une taille voisine de celle des grains de riz doivent être éliminés avant le blanchiment car c'est là qu'ils risquent de se désintégrer et de rester associés en permanence au son.

Les machines à blanchir exercent une influence décisive sur les propriétés du son. Ce qui compte surtout à ce sujet c'est le type de machine, le nombre de passes et la catégorie d'émeri employée, ainsi que la dimension de la maille du tamis. Les principales variables des conditions de fonctionnement sont l'homogénéité et le degré d'usinage, et l'éventuel emploi de poussière pour le polissage du riz.

Les machines à blanchir opérant par frottement donnent un son différent de celui qui provient des machines à abrasion. Le son des premières est plus gros et un peu plus froissé et ondulé (voir tableau 12); il contient d'ordinaire davantage de graisse (voir tableau 13).

Le blanchiment en une seule passe donne un son contenant moins de graisse et plus d'extrait exempt d'azote que le son produit en plusieurs passes. Premièrement, la séparation des couches extérieures du grain est plus irrégulière

TABLEAU 12. RÉPARTITION PAR DIMENSION DES PARTICULES DE DIVERS TYPES DE SON PROVENANT DE MACHINES A BLANCHIR

N° US	Tamis Dimension de maille (micromètres)	Pourcentage de son retenu par le crible			
		Machine à frottement ^a	Machine à abrasion ^b		Son avec germe
			Son sans germe		
			Gamme ^c	Moyenne ^c	
20	841	4,4-16,0	0,2-0,4	0,3	18,3
30	595	12,0-28,0	1,8-3,8	2,9	9,7
50	297	42,0-62,0	14,9-21,1	19,1	20,3
80	177	2,0-16,0	22,9-29,6	25,0	18,1
100	149	0,5-2,0	3,2-5,6	4,1	4,4
>100	<149	—	43,0-53,8	48,6	29,2

^aChiffres d'après Mihara [76].

^bChiffres de rizeries espagnoles.

^cChiffres de quatre rizeries.

TABLEAU 13. COMPOSITION MOYENNE DU SON PROVENANT DE MACHINES A BLANCHIR PAR FROTTEMENT ET PAR ABRASION

Composants	Machine par frottement ^a	Machine par abrasion ^b
Humidité	11-13	12-14
Protéine	14-16	13-16
Graisse	18-21	14-16 ^c
Fibre	8-10	9-10
Cendre	9-12	8-9
Extrait exempt d'azote	33-36	45-50

^aChiffres de rizeries japonaises, d'après Mihara [76].

^bChiffres de rizeries espagnoles, d'après Primo et autres [74].

^cLe niveau de 19 % n'est pas rare.

et la pénétration plus profonde; deuxièmement, le pourcentage de brisures est plus élevé et le son reçoit une proportion plus forte d'albumen amylicé. La dimension de la maille du tamis de la machine à blanchir ne varie guère d'une machine à l'autre mais l'usure due à un emploi excessif et parfois un mauvais réglage donnent des résultats fâcheux. La présence de brisures, voire de grains entiers dans le son est d'ordinaire attribuée à une détérioration du tamis. Si l'on n'y porte pas remède, la qualité du son baissera peu à peu et nuira au rendement en riz usiné. Le tableau 14 montre ces effets dans une installation à cône. La fraction de 841 μm contient un grand nombre de très petites brisures parce qu'on a bricolé l'emploi d'un tamis détérioré. On voit nettement l'influence exercée sur la teneur en huile de l'ensemble du son.

Le nombre de stades du blanchiment et le type de machine employé peuvent agir sur la température du son récemment produit. Un procédé de blanchiment à passes multiples, comportant des machines à injection ou à aspiration d'air, donne du son à une température plus basse, ce qui freine la détérioration par les enzymes.

TABLEAU 14. EFFET DES BRISURES SUR LA TENEUR EN HUILE DU SON DU COMMERCE PROVENANT D'UNE MACHINE A CONE ABRASIF

<i>Tamis</i>			
N ^o US	Dimension de maille (micromètres)	Fraction du son retenue (pourcentage sur poids sec)	Teneur en huile de la fraction (pourcentage sur poids sec)
20	841	16,78 ^a	5,96
30	595	13,24 ^a	12,77
50	297	28,22	
80	177	10,31	
100	149	11,04	18,34
>100	<149	20,41	
Total		100,00	15,35

^aHabituellement moins de 5 %. Le pourcentage élevé dénote la présence de petites brisures.

Le degré d'usinage exerce un effet particulièrement marqué sur les propriétés du son mais son influence est en fin de compte due à la répartition des composants chimiques du grain de riz, dont il a été question plus haut.

Dans certains pays, on se sert de carbonate de calcium pour le blanchiment. Cette substance, dont les particules sont plus petites que $74 \mu\text{m}$, agit comme abrasif et contribue à donner une belle finition au riz blanc. La proportion dans laquelle on l'emploie est très variable (de 0,5 à 2 % avec le paddy) selon la catégorie de riz et la machine employée. Le carbonate de calcium ne facilite pas seulement le blanchiment, il modifie aussi la composition du son. Son emploi à 0,5 % avec le riz brun donne dans le son une concentration de carbonate de 10 % pour un degré d'usinage de 5 %; ceci affecte deux propriétés du son : l'acidité mesurable et le rapport calcium/phosphore; dans le premier cas, le carbonate est un neutralisant et dans le second il exerce un effet directement bénéfique, le rapport calcium phosphore étant de 1:10 environ alors que pour l'alimentation du bétail il doit être plus proche de 1:1.

Références

1. N. Purakam et autres, "Estimation and analysis of rice milling rate in Thailand", Rapport au Conseil national de la recherche de Thaïlande, 1976.
2. H. Ospina, "Economic study on the extraction of oil from rice bran", *IIT Tecnología* (Bogota), vol. 3, n^o 12 (1961), p. 17 à 31.
3. J. L. Jaramillo, "Oil from rice polishings", *Arroz* (Colombie), vol. 14, n^o 151 (1965), p. 10 à 11.
4. E. G. Vargas et M. R. Murillo, "Composición química de subproductos de trigo y arroz y de granos de maíz y sorgo utilizando en Costa Rica", *Agronomía Costarricense*, vol. 2, n^o 1 (1978), p. 9 à 15.

5. R. M. Saunders et autres, "A 1978 survey of rice postharvest losses during threshing, drying, parboiling, milling and the potential for reducing such losses in developing countries", *Rice Postharvest Losses in Developing Countries* (Albany, Californie, United States Department of Agriculture, 1980).
6. M. Rivero, "Evaluación de la calidad de los arroces cultivados en España" (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1969), résultats inédits.
7. S. Barber et Benedito de Barber, "Una aproximación a la medida objetiva del grado de elaboración del arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 17, n° 2 (1977), p. 223 à 224.
8. H. G. R. Reddy, F. M. Gariboldi et Y. Joko, *Report of the Expert Study Group on the Rice Bran Oil Industry* (Commission économique pour l'Asie et l'Extrême-Orient et Conseil asiatique du développement industriel, 1970).
9. L. G. Elias et R. Bressant, "Use of Central American food resources for the improvement of animal industry: V. Chemical composition of some by-products derived from the cereal industry: wheat, rice and corn", *Turrialba*, vol. 20, n° 2 (1970), p. 166 à 170.
10. D. D. Brown, "Rice industry in India: increasing mill out-turn of rice", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 2, n° 4 (1965), p. 88 à 90.
11. M. M. Chakrabarty, D. Bhattacharya et R. S. Vaidyanathan, "Some studies in rice bran oil refining", communication au Séminaire sur l'huile de son de riz comestible, Bombay, 25 novembre 1977.
12. S. N. Raghvendra Rao, M. N. Narayana et H. S. R. Desikachar, "Pattern of change in silica, ash, crude fibre, whiteness and bran pigmentation with progressive polish in rice varieties", *Journal of Food Science and Technology*, n° 9, 1972, p. 51 à 53.
13. R. P. Kachru et F. Eghtedari, "Modernization of rice processing industry in Iran" (Chiraz, Université Pahlavi, Collège d'agriculture, 1977).
14. T. Kwon et J. Jo, "An assessment of rice processing and storage in the Republic of Korea", *Rice Report 1975*, S. Barber et H. S. R. Mitsuda, eds. (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1975).
15. G. W. Arnott et H. K. Lim, "Animal feeding stuffs in Malaysia: 2. Quality of rice bran and polishings", *Malaysian Agricultural Journal*, vol. 45, n° 4 (1966), p. 387 à 403.
16. T. K. Van, "Quality testing of rice in Malaysia with particular reference to milling and cooking", *Malaysian Agricultural Journal*, vol. 43, n° 1 (1960), p. 19 à 27.
17. M. L. Berberan, "Industrialization of rice and its products", *Revue de l'Agriculture* (Mozambique), vol. 5, n° 56 (1963), p. 9 à 11 et 46 à 48.
18. S. Maqsood Ali, S. Abdul Haq et A. Hameed Khan, "Investigations on the by-products of the rice milling industry: I. Minerals and vitamins B and E in the various rice fractions", *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, n° 1, 1958, p. 231 à 233.
19. S. A. Khan, "PCSIR's program for utilization of by-products of the rice milling industry", *Pakistan Journal of Science*, vol. 31, n° 3 à 6 (1979), p. 143 à 149.
20. J. W. Hunnell et J. F. Nowlin, "Solvent extractive rice milling", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), p. 201 à 214.

21. M. J. Guerra et W. G. Jaffe, "Nutritional experiments with rice bran", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 25, n° 4 (1975), p. 401 à 417.
22. S. Barber, "Milled rice and changes during ageing", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), p. 215 à 263.
23. J. T. Hogan et H. J. Deobald, "Measurement of the degree of milling of rice—a review", *Rice Journal*, vol. 68, n° 10 (1965), p. 10.
24. S. Barber et C. Benedito de Barber, "An approach to the objective measurement of the degree of milling", *RPEC Reporter*, vol. 2, n° 2 (1976), p. 1 à 8.
25. S. Barber et C. Benedito de Barber, "Outlook for rice milling quality evaluation systems", *Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality* (Los Baños, Philippines, Institut international de recherche sur le riz, 1979), p. 209 à 222.
26. M. C. Kik, "Determining the degree of milling by photoelectric means", *Rice Journal*, vol. 54, n° 12 (1951), p. 18 à 22.
27. H. S. R. Desikachar, "Determination of the degree of polishing in rice: I. Some methods for comparison of the degree of milling", *Cereal Chemistry*, vol. 32, 1955, p. 71 à 77.
28. L. Borasio, "Metodo macrocolorimetrico per valutare i piu finiti gradi di lavorazione dei risi lavorati", *Annali (Vercelli)*, vol. 3, n° 51 (1955).
29. Intergovernmental Group on Rice, "Proposed definitions of the terms used in rice trade (annex to revised model system)", *Comments on the Proposals for a Revised Model System of Grading Rice in International Trade* (Rome, FAO, 1971) (CCP:RI/GS 72/1).
30. Intergovernmental Group on Rice, *Degree of Milling of Rice: The Standard Method Adopted by the Food Agency, Government of Japan* (Rome, FAO, 1972) (COP:RI/CS C.R.S.1).
31. K. R. Bhattacharya et C. M. Sowbhagya, "A colorimetric bran pigment method for determining the degree of milling of rice", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 23, n° 2 (1972), p. 161 à 169.
32. H. S. Autrey et autres, "Effects of milling conditions on breakage of rice grains", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 3, n° 7 (1965), p. 593 à 599.
33. C. A. Watson, E. Dikeman et R. A. Stermer, "A note on surface lipid content and scanning electron microscopy of milled rice as related to degree of milling", *Cereal Chemistry*, n° 52, 1975, p. 742.
34. P. Feillet, "Note sur une méthode de contrôle du degré d'usinage du riz", *Bull. Riziculteurs de France*, n° 129, 1970, p. 17 à 21.
35. B. S. Miller et autres, "A rapid, objective method to measure the degree of milling rice", *Cereal Chemistry*, vol. 56, n° 3 (1979), p. 172 à 180.
36. E. Primo et autres, "Factores de calidad del arroz: XIII. Determinación del grado óptimo de elaboración", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 4, n° 2 (1964), p. 238 à 245.
37. H. S. R. Desikachar, "Determination of the degree of polishing in rice: II. Determination of thiamine and phosphorus for processing control", *Cereal Chemistry*, vol. 32, n° 1 (1955), p. 78 à 80.
38. L. Borasio, "L'apparecchio fotoelettrico 'Ricetester' per il controllo delle caratteristiche ottiche", *Il riso*, vol. 11, n° 7 (1962), p. 23 à 29.

39. Y. Pomeranz, R. A. Stermer et R. Dikeman, "NMR-oil content as an index of degree of rice milling", *Cereal Chemistry*, n° 52, 1975, p. 849.
40. G. Blet, "Le contrôle photométrique industriel: application au blanchiment du riz", *Mesures, Régulation, Automatisation*, n° 189, 1953, p. 82 à 84.
41. A. Angladette, "Note au sujet du contrôle photoélectrique du blanchiment des riz", *Riz et Riziculture*, n° 4, 1957, p. 139 à 143.
42. R. M. Johnson, "Light-reflectance meter measures degree of milling and parboiling of parboiled rice", *Cereal Chemistry*, n° 42, 1965, p. 167 à 175.
43. Shams-Ud-Din et K. R. Bhattacharya, "On the meaning of the degree of milling of rice", *Journal of Food Technology*, vol. 13, n° 2 (1978), p. 99 à 105.
44. R. A. Sterner, "An instrument for objective measurement of degree of milling and colour of milled rice", *Cereal Chemistry*, n° 45, 1968, p. 358 à 364.
45. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, "Rice texturing methods and equipment", *Bulletin des services agricoles*, n° 18, 1973.
46. D. F. Houston, E. A. McComb et E. B. Kester, "Effect of bran damage on development of free fatty acids during storage of brown rice", *Rice Journal*, vol. 55, n° 2 (1952), p. 17.
47. A. N. Srirangarajan et autres "Note on variations in residual bran in individual rice grains from batches polished to different degrees", *Cereal Chemistry*, vol. 38, n° 4 (1961), p. 391 à 392.
48. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, "Terminologie du riz", *Bulletin de terminologie*, n° 26, 1974.
49. L. Borasio et F. Gariboldi, *Glosario ilustrado de máquinas para la elaboración del arroz* (Rome, FAO, 1957).
50. P. D. Limcangco-Lopez, F. S. Achacoso et L. S. Castillo, "The chemical composition of rice and corn by-products: I. Proximate composition and minerals", *Philippine Agriculturist*, vol. 46, n° 5 (1962), p. 324 à 342.
51. B. D. Webb, "Rice quality and grades", *Rice: Production and Utilization*, B. S. Luh, ed. (New York, Avi publishing, 1980), chap. 15, p. 543 à 565.
52. T. Srinivas et H. S. R. Desikachar, "Removal of bran and aleurone layers at different points on the surface of rice grain during progressive polishing", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 11, n° 2 (1974), p. 83 à 84.
53. S. Manoharkumar et autres, "Relationship of the coarseness of rice (*Oryza sativa*) varieties to the thickness of bran and aleurone layers", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 5, n° 4 (1968), p. 193 à 194.
54. J. Cho, "The anatomical observation of the embryo in rice", *Botanical Magazine*, vol. 52, n° 622 (1938), p. 520 à 533.
55. S. Barber, *Basic Studies on Ageing of Milled Rice and Application to Discriminating Quality Factors*, Rapport final, projet n° E-25-AMS-(9) (Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Foreign Research and Technical Program Division, 1969).
56. K. Kumaresan, U. S. Sree Ramulu et U. S. Ramulu, "Factors influencing the quantity and quality of rice bran oil. III. Parboiling", *Riso*, vol. 24, n° 7 (1978), p. 341 à 344.
57. B. D. Webb et D. L. Calderwood, "Relationship of moisture content to degree of milling in rice", *Cereal Food World*, n° 22, 1977, p. 484.

58. Y. Koga, "Drying, husking and milling of rice in Japan: rice milling", *Farming Japan*, août 1969, p. 25 à 40.
59. M. C. Kik, "Nutritive studies of rice", *Arkansas Agricultural Experimental Station Bulletin*, n° 508 (Fayetteville, University of Arkansas, 1951).
60. D. B. Bechtel et Y. Pomeranz, "Implications of the rice kernel structure in storage, marketing, and processing: a review", *Journal of Food Science*, vol. 43, n° 5 (1978), p. 1 538 à 1 542.
61. M. Kanda, H. Ikehashi et R. Ito, "Evaluation of brown rice character through milling tests of samples partitioned according to grain trait", *Agricultural Technologist* (Tokyo), vol. 24, n° 4 (1969), p. 24 à 27.
62. J. J. C. Hinton, "Parboiling treatment of rice", *Nature*, vol. 162, n° 4128 (1948), p. 913 à 915.
63. B. S. Vasam et autres, "Effect of processing on the movement of oil in the rice kernel and its relation to the oil content of paddy and the yield of oil from rice bran", ONUDI/FAO/GEAEO, Communication au Séminaire interrégional sur le traitement industriel du riz tenu à Madras, 11-16 octobre 1971.
64. R. Chandrasekaran et P. Pillaiyar, "Processing methods. India", in *Rice Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua et M. Graham, eds. (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement 1976), p. 335 à 339.
65. K. K. Mukherjee et M. Bhattacharjee, "Distribution of oil in the bran layers of slender, medium and short grain varieties of rice, and effect of parboiling", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 55, n° 5 (1978), p. 463 à 464.
66. D. G. Rowlands et F. E. Clements, "The degradation of malathion in rice brans", *Journal of Stored Products Research*, vol. 1, n° 1 (1965), p. 101 à 103.
67. H. W. Schroeder, R. A. Boller et H. Hein, "Reduction in aflatoxin contamination of rice by milling procedures", *Cereal Chemistry*, vol. 45, novembre 1968, p. 574 à 580.
68. F. Gariboldi, "Rice milling equipment: Operation and maintenance", *Agricultural Services Bulletin*, n° 22, 1974.
69. H. van Ruiten, "Milling: precleaning", *Rice Postharvest Technology*, E. V. Araullo, D. B. de Padua et M. Graham, eds. (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1976), p. 207 à 216.
70. J. B. Shamsudin, *Quality of Rice Bran; Main Consideration in the Establishment of Bran Oil Extraction Plant* (Kuala Lumpur, Ministère de l'agriculture et des coopératives, 1968).
71. J. A. Siriwardene, "Analytical data on rice bran processed in Ceylon", *Ceylon Veterinary Journal*, vol. 17, n° 3 (1969), p. 73 à 76.
72. L. Borasio, "Proposal to the classification and commercial evaluation of rice milling by-products", *Risicoltura*, vol. 36, n° 1 (1948), p. 4 à 8.
73. M. Leonzio, "Analytical research on the principal constituents of the by-products of rice", *Riso*, vol. 14, n° 4 (1965), p. 331 à 334.
74. E. Primo et autres, "Chemical composition of rice: V. By-products obtained at the different steps of the milling diagram", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 10, n° 2 (1970), p. 244 à 257.

75. V. S. Aggarwall et P. S. Sarda, "Modernization of the rice milling industry", ONUDO/FAO/CEAEO, Communication au Séminaire interrégional sur le traitement industriel du riz tenu à Madras, 11-16 octobre 1971.
76. S. Mihara, "Nakataki water process for separating rice bran components", *Chemical Economy and Engineering Review*, vol. 2, n° 9 (1970), p. 36 à 38 et 42.

V. Techniques de stabilisation du son de riz

Introduction

On a pu voir au chapitre II que les objectifs fondamentaux de la stabilisation sont *a)* de détruire les enzymes, micro-organismes et insectes qui sont les principales causes de la détérioration du son et de ramener leur activité à des niveaux sans danger; *b)* de conserver au maximum les éléments constitutifs précieux du son, principalement l'huile, les protéines, les vitamines et autres éléments nutritifs. On a aussi constaté que les moyens que l'on connaît pour atteindre le premier de ces objectifs contrarient la réalisation du second et que le compromis est la seule solution possible, à condition que le risque de détérioration ne dépasse pas les limites admissibles dans la pratique industrielle.

Or, d'une façon générale, les travaux de recherche et développement concernant les procédés de stabilisation ont jusqu'à présent surtout visé un objectif partiel : freiner l'apparition des acides gras libres. L'heure est venue de revoir les travaux considérables effectués jusqu'à présent et d'évaluer les résultats obtenus à la lumière des nouveaux critères d'évaluation qui ont été élaborés. En conséquence, dans la suite du présent chapitre, l'information dont on dispose sera classée selon les moyens employés pour freiner l'activité enzymatique et les autres causes de détérioration. Nous examinerons d'abord les procédés qui font appel à des agents chimiques. Il sera ensuite question des procédés physiques et d'abord de ceux qui reposent sur le refroidissement, les atmosphères inertes et l'irradiation. Enfin, il sera procédé à une étude en profondeur des procédés qui font appel à la chaleur, les conditions de traitement et le matériel étant examinés séparément.

Méthodes de stabilisation

Les méthodes de stabilisation étudiées jusqu'à présent peuvent se classer en deux groupes principaux : chimique et physique. Ce dernier peut se subdiviser, par exemple, en stockage frigorifique, stockage en atmosphère inerte, irradiation et stabilisation par la chaleur.

Stabilisation chimique

Desikachar [1] a fait observer que les conditions requises pour désactiver la lipase isolée et purifiée sont différentes de celles qu'il faut pour obtenir les mêmes résultats *in situ* dans le son. Ceci s'applique non seulement au son mais aussi à la plupart des enzymes qu'on trouve dans les tissus végétaux. On a

étudié les effets produits par plusieurs produits chimiques très divers afin de savoir s'ils pouvaient être employés pour la stabilisation du son (voir tableau 1).

Malgré quelques résultats apparemment encourageants, les méthodes chimiques n'ont pas donné satisfaction. Les produits essayés n'ont pas le pouvoir qu'il faudrait pour désactiver la lipase. Ceci suffirait à rendre impraticables les méthodes chimiques, mais il faut y ajouter d'autres considérations de nature toxicologique, nutritive et économique. De tous les produits essayés, c'est le SO_2 qui a manifesté la plus forte capacité de désactivation de la lipase. D'après un brevet japonais [2] de 1919, la lipase du son de riz est détruite par un traitement au moyen de 5 à 15 % de SO_2 pendant 5 à 10 heures dans un récipient clos, suivi d'un séchage au soleil. Le traitement du son ou du germe du commerce dans une atmosphère de SO_2 à température ambiante pendant 7 heures et demie [1] ou 15 heures [3] suivi d'une aération pour chasser le gaz ne donne toutefois pas de bons résultats. Pour arrêter la formation d'acides gras libres, il faut exposer le sous-produit à l'anhydride sulfureux pendant des jours [3].

On a récemment utilisé le métabisulfite de sodium comme source d'anhydride sulfureux¹. Mélangé directement au son dans la proportion — jugée optimale — de 2 % en poids, il paraît qu'il freine le développement des acides gras libres. En laboratoire, le mélange de son et de métabisulfite, en bouteilles de verre scellées, a donné des propriétés de stockage satisfaisantes. Un lot de 25 kg logé en sacs de jute et emmagasiné pendant 30 jours a lui aussi donné satisfaction; pendant cette période, la teneur en acides gras de l'huile du son frais n'a passé que de 2,2 à 3,5 %. D'après les auteurs [12], ce traitement ne diminue pas le rendement en huile et l'huile brute peut subir le raffinage habituel pour être transformée en huile comestible. D'autres auteurs [3] ont constaté une réduction sensible de l'indice d'iode des huiles correspondantes dans des lots de son et de germe maintenus sous atmosphère de SO_2 pendant 70 jours à température ambiante. Dans le son traité, l'indice d'iode est tombé de 108,8 à 75,8, et dans le germe de 104,8 à 71,5. On a utilisé l'anhydride sulfureux dans le traitement des céréales et des produits céréaliers, par exemple pour la trempe du maïs dans la fabrication de l'amidon, la protection de la farine de froment contre les micro-organismes, la prévention de la croissance des moisissures et des bactéries dans le maïs ensilé, etc. encore que, dans certains cas, son emploi avec les produits alimentaires soit interdit. L'anhydride sulfureux réagit à plusieurs composants utiles du son. Il détruit la molécule de la thiamine en la divisant en deux parties dont l'une est un acide sulfonique. Sous forme de sulfite, il réagit aux bisulfures tels que la cystéine pour donner des thiols et des sulfonats. Dans la farine de froment, cette réaction réduit la capacité de panification; ces effets n'ont pas été évalués pour la protéine du son. L'anhydride sulfureux réagit lentement aux sucres, pour former ce qu'on appelle les combinaisons de bisulfites; la réaction est réversible et, dans des conditions favorables, SO_2 se dégage. Les traitements au SO_2 peuvent entraîner une corrosion du matériel, qu'il faut éviter. De plus, le produit traité au SO_2 nécessite un traitement supplémentaire pour chasser le gaz résiduel, ce qui pose

¹Les formes couramment employées en technologie alimentaire sont : anhydride sulfureux gazeux (SO_2) et sulfites (SO_3^{2-}), bisulfites (HSO_3^-), ou métabisulfites ($\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$) de sodium et de potassium.

aussi des problèmes. Faute de ce traitement, le dégagement continu de SO_2 crée une atmosphère toxique et désagréable qui peut entraîner de nombreuses difficultés. L'emploi de récipients hermétiques paraît lui aussi présenter des inconvénients.

Stabilisation physique

Les méthodes de stabilisation physique comprennent : a) le stockage à basse température; b) le stockage en atmosphère inerte; c) l'irradiation et d) la stabilisation par la chaleur. Nous examinerons brièvement les trois premières méthodes. La stabilisation par la chaleur présente un intérêt pratique considérable et l'on possède d'abondantes informations sur ce sujet; nous lui avons en conséquence consacré un sous-chapitre particulier.

Le stockage à basse température

On a déjà vu que le stockage du son à des températures voisines de 0°C (de $+3$ à $+5^\circ\text{C}$) [6, 14, 15] et $-3,3^\circ\text{C}$ [16] ralentit l'hydrolyse sans toutefois l'arrêter. Lorsque le son revient à la température ambiante, l'activité enzymatique primitive reprend. Il faut signaler que les chiffres qu'on possède sur les effets du froid sur l'activité enzymatique du son se rapportent à de petits échantillons essayés en laboratoire. Il en va tout autrement quand on traite des lots industriels, par exemple quand il s'agit de centaines de sacs. Comme le son est très peu conducteur de la chaleur, à moins d'utiliser un système de transfert de chaleur très puissant, il met très longtemps à atteindre la température normale de stockage réfrigéré, et dans l'intervalle la détérioration peut atteindre des niveaux relativement élevés. Ces résultats, ainsi que des considérations d'ordre économique, font que la réfrigération ne saurait être une solution industrielle pratique du problème de la stabilisation du son de riz.

A l'échelon du laboratoire, il est intéressant de noter que lorsqu'on met du son dans un flacon sous vide à -70°C , on peut maintenir le niveau des acides gras libres sans aucune détérioration pendant 15 jours [17]. Roseman et autres [18] ont signalé avoir conservé des échantillons de son pendant huit mois sans aucune modification du pourcentage d'acides gras libres, après avoir ramené la teneur en humidité du son à 2 % en le séchant dans un four à 85°C avec ventilation forcée pendant trois heures et avoir mis le son en récipients hermétiques à -22°C . Les échantillons maintenus à -70°C et ceux qui avaient été emmagasinés à -22°C ont manifesté une activité enzymatique en revenant à la température et à l'humidité ambiantes.

Stockage en atmosphère inerte

On a peu de renseignements sur le comportement du son en atmosphère inerte. L'élimination de l'oxygène peut réduire la croissance des moisissures, la prolifération des insectes et les réactions oxydantes, mais on ne saurait en

TABLEAU 1. ESSAIS DE COMPOSITIONS CHIMIQUES POUR LA STABILISATION DU SON DE RIZ

Composition chimique	Formule	Traitement	Efficacité	Source
Acide acétique	CH ₃ COOH	Non précisé	-	Desikachar [1]
Acide chlorhydrique gazeux	HCl	Courant de 15 minutes plus 15 heures	-	Gómez Fabra et Primo [3]
Acide humique		Solution aqueuse à 0,01 %	+	Gómez Fabra et Primo [3]
Acrylonitrile	CH ₂ CHCN	Non précisé	-	Desikachar [1]
Alcool éthylique	CH ₃ CH ₂ OH	Vapeur à 100° C pendant 5 minutes	-	Gómez Fabra et Primo [3]
Alcool méthylique	CH ₃ OH	Non précisé	-	Desikachar [1]
Ammoniac (gazeux)	NH ₃	Courant de 15 minutes et maintien 50 heures	-	Gómez Fabra et Primo [3]
Anhydride sulfureux	SO ₂	a) Traiter pendant 15 heures sous SO ₂ froid et aérer	-	Gómez Fabra et Primo [3]
		b) Maintenir sous SO ₂	+	Gómez Fabra et Primo [3]
		c) 1,5 heure sous courant de SO ₂ , maintenir 6 heures et aérer	-	Adachi et Futsuhara [4]
		d) Traiter par 5-10 % de SO ₂ pendant 5-10 heures et sécher au soleil	+	Loeb et Morris [5]
		e) Non précisé	-	Desikachar [1]
Bromure de méthyle	CH ₃ Br	Non précisé	-	Desikachar [1]
2-Chloroéthanol ^a	CH ₂ ClCH ₂ OH	0,31 %	-	Loeb, Morris et Dollear [6]
Chloropicrine ^b	CCl ₃ NO ₂	Non précisé	-	Desikachar [1]
Dibromure d'éthylène	CH ₂ BrCH ₂ Br	Non précisé	-	Desikachar [1]
1,3 Diméthyl-4,6-bis (chlorométhyle) benzène	1,3(CH ₂) ₂ -4,6- (CH ₂ Cl) ₂ C ₆ H ₂	0,03 %	-	Loeb, Morris et Dollear [6]
Bisulfure de carbone	CS ₂	Non précisé	-	Desikachar [1]

Formaldéhyde	CH ₂ O	Non précisé	-	Desikachar [1]
Furfural	C ₄ H ₂ OCHO	Non précisé	-	Desikachar [1]
Hexane	CH ₂ (CH ₂) ₄ CH ₃	Non précisé	-	Applied Scientific Research Corporation of Thailand [7]
Poudre à blanchir ^c		a) Baigner en solution aqueuse à 4 % et sécher au soleil b) 3-10 % dans l'eau et sécher au soleil	-	Hermans et Ratanapunvorakul [8]
Iodure de potassium	KI	5 et 10 % du poids du son	-	Loeb et Morris [5]
Dipropionate de propylène glycol	CH ₂ CH(C ₂ H ₅ COO)- -CH ₂ (C ₂ H ₅ COO)	0,19 %	-	Panduranga Rao, Ahmed et Rao [9] Loeb, Morris et Dollear [6]
Propionaldéhyde	CH ₃ CH ₂ CHO	Non précisé	-	Desikachar [1]
Bromure de sodium	NaBr	5, 10 et 20 % du poids du son	-	Panduranga Rao, Ahmed et Rao [9]
Cyanure de sodium	NaCN	0,03 %	-	Loeb, Morris et Dollear [6]
Chlorure de sodium	NaCl	5 et 10 % du poids du son	-	Hermans et Ratanapunvorakul [8]
Chromate de sodium	Na ₂ CrO ₄	0,1 % du poids du paddy, 72 heures	-	Chowdhary et Mukherjee [10]
Fluorure de sodium	NaF	5, 10 et 20 % du poids du son	-	Panduranga Rao, Ahmed et Rao [9]
Fluorure de sodium	NaF	Maintenir en solution aqueuse à 5 % (10 % du poids du son) et sécher au four à 105 °C	-	Filho, Germany et Melo [11]
Métabisulfure de sodium	Na ₂ S ₂ O ₃	2 % du poids du son	+	Azeemoddin et autres [12]
Topanol OC (antioxydant)	..	0,5-1,0 %	-	Arnott et Lim [13]
Topanol OF (antioxydant)	..	0,5-1,0 %	-	Arnott et Lim [13]

^aOu chlorhydrique éthyène, 2-chloroéthyl alcool.

^bOu trichloronitrométhane.

^cEgalement dénommé hypochlorite de calcium (Merck).

attendre la destruction de l'activité lipolytique. En fait, il est prouvé que le son, emballé sous atmosphère d'azote et stocké à la température ambiante (20-25 °C), élabore des acides gras libres -40 % environ en 23 jours dans un cas [6].

L'emballage du son sous gaz carbonique n'a pas lui non plus donné de bons résultats [6]. Avec un stockage à température ambiante, on a constaté en trois semaines des valeurs d'acides gras libres de 40 %. D'autre part, l'essai de CO₂ pour le stockage du riz usiné et sa protection contre les insectes et les moisissures a donné de bons résultats. D'une façon générale, les insectes ne peuvent pas survivre à des concentrations d'oxygène de moins de 2 % en volume dans l'air intergranulaire. Ils ne résistent pas davantage à des niveaux de CO₂ supérieurs à 35 % dans des atmosphères riches en O₂ (15-21 %) [19]. La méthode d'échange du gaz carbonique (CEM) associe ces principes à l'aptitude du riz à absorber de grandes quantités de CO₂, qui est réversible (à 20 °C, le grain traité absorbe 200 µm environ par gramme en 24 heures) [20, 21, 22]. Ce procédé comporte l'emballage du riz sous CO₂ dans un plastique thermo-soudable faiblement perméable, clos hermétiquement. Le riz absorbe le CO₂ et l'enveloppe agit comme un emballage sous vide où la protection interne est fournie par le CO₂. Le son a une capacité d'absorption du CO₂ plus faible que celle du riz traité (109 µl par gramme à 25 °C en 24 heures) [23] mais cela suffit pour le procédé CEM. De plus, l'absorption du gaz est due non seulement à la condensation capillaire dans les zones poreuses mais aussi à l'absorption par les composés azotés, notamment les protéines. La protéine enzymatique ne semble pas toutefois être affectée. L'interaction entre protéine et CO₂ dépend davantage de l'absorption physique que d'une réaction chimique ou d'une chemisorption.

Irradiation

On a essayé d'employer l'irradiation pour stabiliser le son de riz. L'information dont on dispose date du début des années 60. Dans un cas [17] le son a été traité au moyen de rayons gamma. Le matériel utilisé a consisté en sources au Co⁶⁰ de 500 curies, les échantillons de son (100 grammes) étant soumis à 225 000 rads par heure. Les doses administrées, allant de 2×10^6 à 12×10^6 rads, n'ont pas réussi à empêcher une augmentation de la teneur en acides gras libres pendant le stockage à 20 °C qui a suivi. Les doses d'irradiation (2×10^6 rads) n'ont pas en elles-mêmes causé d'augmentation de l'acidité. Les résultats obtenus ont été entièrement différents dans un autre cas [24] où l'irradiation aux rayons gamma a été effectuée au moyen d'une source au Co⁶⁰ de 1 000 curies en soumettant les échantillons de son à des traitements de 102 300 rads par heure pendant divers laps de temps, les doses obtenues allant de 1×10^5 à $1,2 \times 10^6$ rads. Les effets du traitement ont été mesurés en mélangeant le son traité à de l'huile végétale neutre (huile de coton) dans la proportion de 1 à 10 en poids; on fait ensuite incuber le mélange à 35 °C et l'on détermine la teneur en acides gras libres en fonction du temps d'incubation. Cette teneur étant restée constante et égale à celle du son initial pendant les six semaines de l'incubation, les auteurs en ont conclu que la dose la plus forte ($1,2 \times 10^6$ rads) avait entièrement désactivé la lipase. L'irradiation aux doses d'essai

n'a provoqué aucun changement de la teneur en acides gras ni de l'indice d'iode de l'huile.

On a irradié du riz brun avec du plasma gazeux afin de vérifier l'élaboration d'acides gras libres à partir de l'huile, mais les résultats n'ont pas donné satisfaction [18, 25, 26]. Le riz brun (échantillons de 30 g), irradié pendant 15 minutes à une intensité de 30 mA et sous pression de 2 mm de mercure, emballé en sacs de papier kraft et emmagasiné à 23 °C et 50 % d'humidité relative, s'est moins détérioré que du riz qui n'avait pas été traité, mais la teneur en acides gras libres du son qu'on en a séparé a augmenté, passant de 3,1 à 6,3 % en six jours. Du son (échantillons de 10 g) préalablement déshydraté au four jusqu'à 2 % d'humidité pendant trois heures à 85 °C et irradié pendant sept minutes avec 50 mA ou cinq minutes avec 100 mA d'intensité, sous pression de 2 mm de mercure, s'est lui aussi détérioré au bout de quelques jours de stockage à 23 °C en atmosphères de 75 et 92 % d'humidité relative. L'irradiation à 100 mA et 2 mm de mercure pendant cinq minutes a provoqué des modifications sensibles des lipides du son. Le taux d'extraction de l'huile par l'éther de pétrole a diminué de près de moitié, l'index d'iode est tombé brutalement de 101 à 70 et le poids moléculaire moyen a presque doublé (de 765 à 1 243).

La technique de l'irradiation se heurte aussi à de sérieuses limitations techniques et économiques. Elle est si compliquée, les installations sont si vastes et les investissements si élevés qu'elle n'est pas compatible avec les ressources techniques et économiques dont on dispose pour la production du son.

Stabilisation par la chaleur : une technique très en faveur

En l'état présent des connaissances, c'est le traitement thermique qui offre la solution la plus plausible au problème de la stabilisation. Browne avait démontré dès 1903 qu'en chauffant le son à 99 °C immédiatement après l'usinage on retardait considérablement les changements hydrolytiques (27). A l'heure actuelle, on a le choix entre plusieurs procédés et types de matériel pour la stabilisation du son. On n'a cependant pas fait de grands progrès depuis Browne, si l'on tient compte du temps passé et surtout des grands efforts faits depuis trente ans. Il reste à trouver les moyens de répondre aux diverses nécessités économiques et techniques que comporte l'adoption de cette technique sur un grande échelle.

Les procédés thermiques de stabilisation peuvent se diviser en deux grands groupes : a) ceux qui ne comportent à aucun stade l'addition au son d'eau (sous forme de liquide ou de vapeur); b) ceux qui comportent une telle addition à tel ou tel stade. Cette classification paraît plus commode que la distinction fréquemment faite entre traitement par la chaleur "humide" et par la chaleur "sèche" car il est difficile de définir avec précision les termes "humide" et "sec" quand il s'agit du traitement du son et de les appliquer correctement aux divers procédés connus. De plus, l'addition d'eau au son — opération commune à plusieurs méthodes — introduit une différenciation en réduisant la résistance thermique des enzymes et des micro-organismes.

Stabilisation par la chaleur sans addition d'eau

On peut communiquer la chaleur au son par plusieurs moyens, par exemple en le maintenant dans une atmosphère chaude (four ou moufle) en le mettant en contact direct avec un courant d'air chaud; en lui transmettant la chaleur par les parois d'un récipient ouvert (transporteur à vis par exemple) ou clos hermétiquement; en le soumettant à un frottement (comme dans le cas des cuiseurs à extrusion); en utilisant des rayons infrarouges, etc. Toutes ces méthodes portent la température à un niveau donné pendant des périodes données.

Le tableau 2 récapitule les conditions recommandées par divers auteurs pour la stabilisation du son par traitement thermique sans addition d'eau. On voit aussitôt qu'il y a des chiffres très disparates et difficiles à concilier, par exemple les procédés A-2 et A-5 (105 °C pendant trois heures contre 80 °C pendant une demi-heure) et B-1 et B-2 (350 °C pendant 10 minutes contre 200 °C pendant 10 minutes). L'information publiée sur les procédés en question est malheureusement incomplète (en partie parce qu'il n'a pas été possible de vérifier tous les paramètres en cause). Presque toutes les études font appel à l'augmentation des acides gras libres pendant le stockage comme seul critère de mesure de l'efficacité de la stabilisation. L'indice dépend aussi de facteurs sans rapport avec l'efficacité du traitement thermique, comme la contamination ultérieure par des micro-organismes producteurs de lipase et l'absorption d'humidité en cours de stockage. De plus, une bonne partie des travaux publiés n'indiquent pas avec précision les conditions de stockage (température, teneur en humidité et humidité relative, stockage à l'air libre ou en récipients perméables), ni les caractéristiques du son aussitôt après le traitement (activité résiduelle de lipase, flore microbienne productrice de lipases, teneur en humidité). Si l'on tient compte du fait que le stockage du son dépend de tous ces paramètres, la difficulté d'une étude comparative des procédés recommandés (récapitulés au tableau 2) ressort à l'évidence. Quelques points permettront toutefois de déterminer l'efficacité des conditions de traitement figurant au tableau 2.

A cet égard, les études de West et Cruz [29] sur les effets du traitement thermique du son en four électrique dans différentes conditions de temps et de température présentent une importance capitale. Le traitement thermique entraîne une réduction très marquée de la teneur en humidité du son et par conséquent de l'activité enzymatique. Afin de déterminer les effets du traitement thermique, compte tenu de la différence entre l'humidité produite et la désactivation effective des enzymes, ils ont conçu et réalisé l'expérience suivante. Une partie de l'échantillon a été mise dans des récipients hermétiques et une autre dans des flacons en verre stériles bouchés avec du coton stérilisé. Dans ces conditions, le son a pu réabsorber de l'humidité tout en restant à l'abri d'une contamination microbienne extérieure. Si les enzymes étaient vraiment désactivées par le traitement, la teneur en acides gras libres ne devrait pas augmenter lors de la réabsorption de l'humidité perdue. Si, par contre, les enzymes n'avaient pas vraiment été désactivées, leur activité ayant seulement été freinée par le manque d'eau, le son aurait la même teneur en acides gras libres tant qu'il serait maintenu dans un récipient étanche à l'air, mais retrouverait son activité enzymatique aussitôt que le niveau de l'humidité

TABLEAU 2. DIVERS TYPES DE TRAITEMENT THERMIQUE POUR LA STABILISATION DU SON SANS ADDITION D'EAU

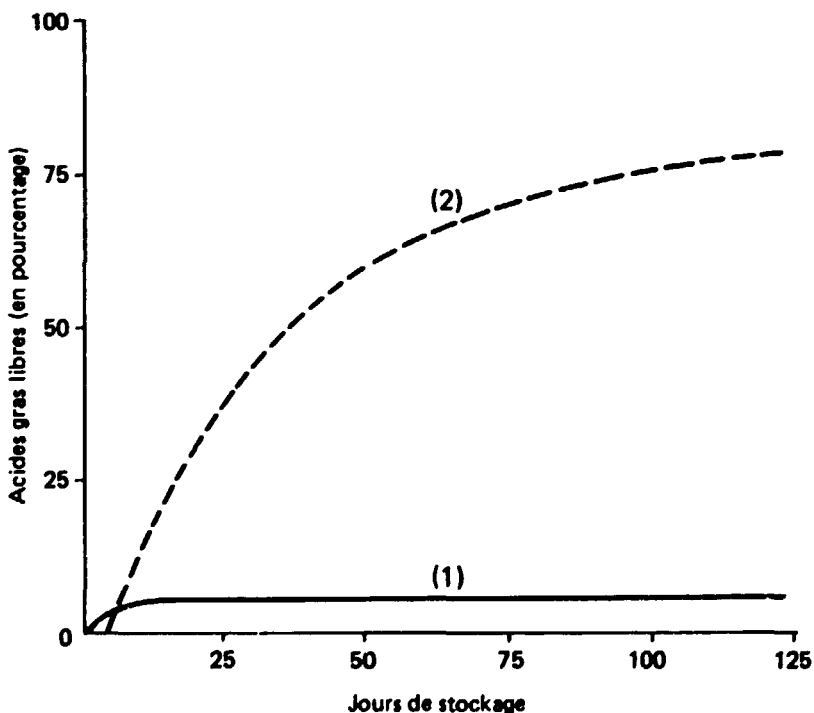
Groupe	Conditions de traitement		Type de traitement et pourcentage final d'humidité	Observations	Source
	Température (°C)	Durée			
A-1	110	2 h	3,7	Sans absorption d'humidité	Loeb, Morris et Dollear [6], Pe [28]
A-2	105	3 h	Au four, agitation continue = 0	Sans absorption d'humidité	West et Cruz [29], Arnott et Lim [13]
A-3	105	1 h	..	—	Jaganmohan et autres [30]
A-4	98 ± 2	30 min	30 min de refroidissement hermétique : 0,75	En récipients étanches à l'air	Instituto de Investigaciones Tecnológicas (Colombia) [31]
A-5	80 ± 2	30 min	30 min refroidissement hermétique : 2,2	En récipients étanches à l'air	Instituto de Investigaciones Tecnológicas (Colombia) [31]
B-1	350	10 min	Chauffé en moufle sur plateau d'aluminium : 1,95	Sans protection contre l'humidité	Sidhoi, El-Tabey Shehata et Mohasseb [32]
B-2	200	10 min	Séché sur plateaux en couches de 6-8 mm	Séché. Son grillé à 160 °C pendant 25 min et à 200 °C pendant 15 min	Arnott et Lim [13]
B-3	110	20 min	—	Activité résiduelle des lipases égale à zéro	Srimani et autres [33, 34]
B-4	120	15 min	Infrarouge : 1,0	—	Gómez et Primo [3]
B-5	120	5 min	—	Faible activité résiduelle des lipases	Ramkrishniah, Sawarkar et Sen [35]
B-6	(P+T+C) ^a	30 min	6-7	Augmentation progressive des acides gras libres	Viraktamath et Desikachar [36] et Ramanathan, Krishna et Sen [37]
B-7	(P+T+C) ^a	45 min	7-8	Augmentation progressive des acides gras libres	Pillaiyar, Yusuff et Narayanasamy [38]
B-8	110-120	1 s par cycle	Nombre de cycles 1-3, humidité non précisée	Augmentation des acides gras libres	Khem Chand et Gupta [39, 40]
B-9	155	18 s dans l'extrudeur	..	Activité résiduelle des peroxydases 3,1 % dans le cuiseur à l'extrusion de Bonnot	Cheigh [41]
	130	18 s dans l'extrudeur	..	Activité résiduelle des peroxydases 20,8 % dans MFM-KIST	
B-10	132	Non précisé (dans l'extrudeur)	6	Activité résiduelle des peroxydases 30 % Pas d'augmentation des acides gras libres	Lin et Cater [42]

^aP = préchauffage depuis la température ambiante jusqu'à 110-115 °C (15-20 minutes environ); T = traitement à 110-115 °C pendant 5 minutes; C = refroidissement depuis 110-115 °C jusqu'à la pression atmosphérique et décharge du produit.

redeviendrait normal. Les résultats de cette expérience ont montré que l'activité enzymatique n'avait pas été complètement détruite par des traitements durant de trois à quatre heures à des températures situées entre 100 et 120 °C, car la teneur en acides gras libres a augmenté lorsque l'humidité (5,5 à 6,5 %) a été réabsorbée. Lorsque, toutefois, le son traité ne réabsorbe pas d'humidité (c'est-à-dire si le degré de réabsorption est inférieur à 1 %), il n'y a pas d'augmentation de la teneur en AGL. Comme les températures supérieures à 10 °C pendant un traitement prolongé assombrissent la coloration du son, les auteurs ont recommandé de le traiter à 105 °C pendant trois heures et de le stocker ensuite en récipients étanches à l'air.

Loeb, Morris et Dollear [6] sont arrivés aux mêmes conclusions en ayant recours à un procédé similaire de celui de West et Cruz, et leur étude peut elle aussi être considérée comme fondamentale. Ils ont constaté que du son brut traité à 110 °C pendant deux heures, la teneur en humidité résultante étant de 3,7 %, pouvait être conservé à 25 °C pendant plus de deux mois, mais que l'acidité augmentait rapidement lorsqu'on rétablissait la teneur en humidité primitive (12,9 %) en ajoutant de l'eau (voir figure 1).

Figure 1. Changements de la teneur en acides gras libres pendant le stockage de son traité pendant deux heures à 110 °C



Légende :

- 1) Échantillon stocké avec l'humidité résultant du traitement (3,7 %)
- 2) Échantillon stocké après addition d'eau pour rétablir la teneur en humidité du son non traité

Source : Loeb, Morris et Dollear [6].

Les procédés thermiques de stabilisation sans addition d'eau peuvent réduire l'activité enzymatique non seulement parce qu'ils diminuent la quantité d'humidité présente, mais aussi parce qu'ils désactivent vraiment l'enzyme. Mais lorsqu'on n'ajoute pas d'eau, les enzymes deviennent plus résistants et des conditions plus rigoureuses sont nécessaires pour que cette méthode produise un effet vraiment important.

A condition de maintenir l'humidité du son traité à un niveau suffisamment bas, le traitement sera apparemment satisfaisant. Les niveaux d'humidité recommandés pour empêcher une augmentation de la teneur en acides gras libres vont de 3 à 6 % [6, 28, 29, 43, 44]. C'est probablement ce qui explique les disparités des conditions figurant au tableau 2 et la difficulté qu'il y a à les concilier.

Les conditions nécessaires pour les procédés du groupe B figurant au tableau 2 sont différentes de celles nécessaires pour le groupe A. Elles comportent des températures plus élevées pendant des périodes plus courtes. La réduction du temps de traitement est obtenue non seulement en augmentant les températures, comme dans le procédé B-1 (350 °C pendant 10 minutes) [32], mais aussi *a*) en accélérant la transmission de chaleur (le son atteint ainsi plus tôt la température normale), comme dans le procédé B-4 (infrarouges à 120 °C pendant 15 minutes) [3] et *b*) en accélérant le séchage [45], comme dans les procédés B-5 (120 °C pendant 5 minutes) et B-8 (120 °C en trois cycles à 1 seconde par cycle) [39, 40].

Srimani et autres [33, 34, 46] ont traité le son à 100, 110 et 120 °C pendant 10, 15 et 20 minutes dans un petit récipient muni d'un agitateur lent, le tout submergé dans un bain d'huile à thermostat. L'efficacité du traitement a été jugée en déterminant l'activité résiduelle des lipases. Les résultats (voir tableau 3) montrent qu'il faut chauffer le son pendant au moins 20 minutes pour détruire la lipase. Ces résultats paraissent contredire les conclusions de

TABLEAU 3. CONDITIONS DE DÉSACTIVATION DE LA LIPASE DU SON PAR TRAITEMENT THERMIQUE SANS ADDITION D'EAU

Traitement		
Température (°C)	Temps (minutes)	Activité résiduelle de la lipase ^a
		1,04 (son primitif)
100	10	0,90
100	15	0,34
100	20	0,14
110	10	0,97
110	15	0,20
110	20	0
120	5	0,97
120	10	0,41
120	15	0,14

Source : Srimani, Chattopadhyay et Bose [46].

^aMicro-équivalents d'acide produit par minute par centimètre cube de solution d'enzyme.

West et Cruz [29] et de Loeb, Morris et Dollear [6] qui, après avoir traité le son pendant trois et deux heures respectivement à 100 °C, ont toujours constaté une activité lipolytique.

Il faut souligner que l'emploi des températures élevées comporte un risque de brûlure du son qui aura pour effet une coloration foncée permanente de l'huile. Ceci peut se produire lorsqu'on applique le traitement pendant 1 seconde à 250 °C [45], pendant 15 minutes à 200 °C et pendant 25 minutes à 160 °C [13], et pendant plusieurs heures à 105 °C [29]. On a fait observer qu'un chauffage prolongé à haute température nuit à la qualité de l'huile (elle devient difficile à décolorer) et comme le son brûle aux températures supérieures à 120 °C et que l'huile prend une odeur de brûlé, on a recommandé de limiter la température à 110 °C [33, 34]. Un autre inconvénient du chauffage prolongé à haute température est que l'huile de son commence à s'altérer parce qu'elle s'oxyde. Si le son traité n'est pas refroidi avant le stockage, il y a risque de combustion spontanée.

Il faut aussi signaler que lorsque le procédé entraîne une dénaturation enzymatique, les hautes températures appliquées pendant des laps de temps très brefs, notamment au son à très faible teneur en humidité, créent un environnement très favorable à la régénération.

Types de stabilisateurs en service

Il est dit dans l'étude faite par West et Cruz en 1933 [29] que le Bureau of Science des Philippines a installé un cuiseur pour la stabilisation du son. L'appareil est un cylindre de 100 cm de diamètre et de 40 cm de hauteur. La base et les parois sont entourés d'une chemise de vapeur. Un agitateur monté près du fond fait tourner le son. La même étude décrit un procédé domestique simple et rudimentaire de stabilisation du son qui permet de le conserver en bon état pendant une semaine ou davantage. Il consiste à chauffer à petit feu dans un four le son frais, en agitant continuellement pendant une heure, pour mettre ensuite le produit dans un bocal ou un flacon en verre clos hermétiquement. Au cours des cinquante années qui se sont écoulées depuis, on a élaboré divers types d'appareils spécialement conçus pour stabiliser le son par voie thermique sans addition d'eau, et l'on a aussi fait l'essai d'autres dispositifs déjà utilisés à d'autres fins. Tous ces appareils peuvent être classés en quatre groupes principaux : transporteur ou tambour ouvert; tambour rotatif fermé; lit fluidisé; cuiseur à extrusion ou "extrudeur".

Transporteurs ou tambours ouverts

Pe [28] a décrit un dispositif installé dans une rizerie en Birmanie qui a une capacité de 5 tonnes par jour. Il consiste en un séchoir muni d'un transporteur à vis ou à écope avec une chemise de vapeur, dans lequel on fait circuler le son pendant 90 à 120 minutes et d'où il sort à une température ne dépassant pas 110 °C et une teneur en humidité de 4 % environ. L'ouvrage de Pe n'indique pas le temps de maintien ni le temps nécessaire pour atteindre la température de travail. A sa sortie, le son est ramené à 80 °C environ et logé en sacs imperméables. Le produit ainsi traité se conserverait au moins trois ou quatre mois à condition qu'il n'y ait pas d'infestation par les insectes. A la date de sa

publication (1971) le stabilisateur décrit par Pe n'avait pas encore été mis commercialement en service².

Un stabilisateur se composant d'un transporteur à vis avec des écopes mélangeuses, muni d'une chemise dans laquelle circule de l'huile qui sert de fluide chauffant a été conçu en Inde [47]. L'emploi de l'huile permet d'atteindre facilement des températures supérieures à 100 °C et la circulation du fluide chauffant permet de l'économiser. Ce modèle présente probablement quelques difficultés car il n'a pas encore été adopté dans l'industrie.

On a également signalé un stabilisateur expérimental continu d'une capacité de 8 à 16 kg/h dans lequel les gaz produits par la combustion de la balle servent à chauffer indirectement le son [48]. Il consiste en un transporteur à colimaçon actionné par un moteur de 1 ch. Ce transporteur est logé dans une tranchée souterraine en maçonnerie qui mène du brûleur de balle à la cheminée. Les gaz de combustion circulent dans l'espace laissé libre entre la tranchée et les parois du transporteur et chauffent ainsi le son.

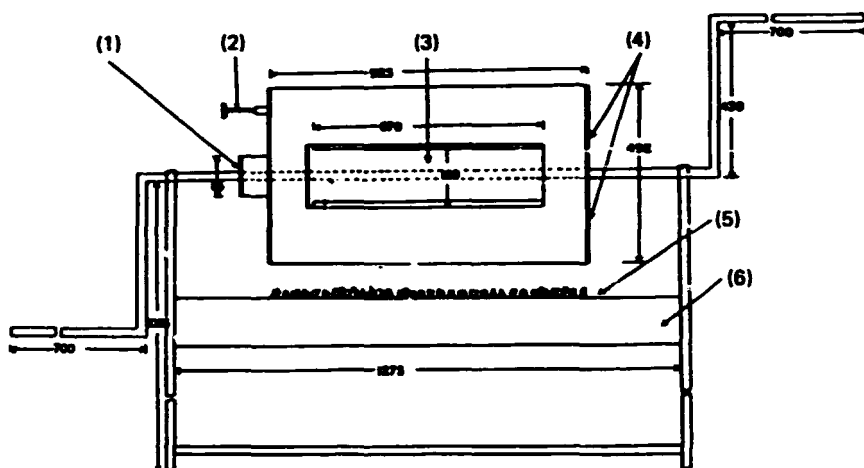
On a également procédé à des essais de stabilisation dans une installation de déshydratation de fourrages : elle consiste en un cylindre rotatif où le son et l'air chaud circulent parallèlement. Avec des températures de 110 et 120 °C et un temps de maintien de huit minutes environ, on peut ramener l'humidité initiale de 9,8 à 1,5 %. Ce traitement n'empêche toutefois pas la formation d'acides gras libres lorsque le son est stocké en sacs de jute dans l'atmosphère ambiante (température moyenne : 29 °C et humidité relative moyenne : 73 %).

Kuppuswami [49] a décrit un stabilisateur à l'usinage des petites installations rurales qui a été conçu, construit et essayé en Inde. L'appareil, qui a une capacité de 5 kg seulement, consiste en un cylindre métallique muni d'un axe central qui sert de support et au moyen duquel on fait tourner le tambour à la main. L'axe est muni de bras et de rateaux qui font tourner le son. Le cylindre est placé au-dessus et deux ou trois petits fourneaux qui peuvent brûler de la balle de riz. D'après Kuppuswami, on obtient une stabilisation satisfaisante en entretenant pendant assez longtemps des températures voisines de 100 °C.

Un stabilisateur portable à main, fonctionnant par lots, d'une capacité de 75 kg, s'inspire d'une idée similaire [30]. Il consiste en un tambour en tôle galvanisée traversé par un axe central reposant sur deux socles, muni d'une poignée qui sert à le faire tourner à la main (voir figure 2). Le tambour présente une ouverture rectangulaire pour le chargement et le déchargement, et un emplacement pour un thermomètre qui sert à vérifier la température du son. Une soupape disposée sur un des côtés permet l'échappement de la vapeur et des produits volatils créés par le traitement. Sur un grill placé à quelques centimètres au-dessus du tambour, on brûle de la balle de riz, du bois ou tout autre déchet agro-industriel pour chauffer le son qui est dans le tambour pendant une demi-heure à une heure à 90-105 °C; le son est ensuite déchargé et ramené à la température ambiante, puis ensaché et emmagasiné. La teneur initiale en humidité, 10 %, est ramenée à 5 %. Les conditions moins strictes du traitement (une demi-heure à 90 °C) ne paraissent pas en diminuer l'efficacité. L'augmentation de la teneur en acides gras libres après une semaine de stockage (conditions non précisées) est insignifiante mais l'activité des lipases

²Un grand nombre de stabilisateurs de dimensions industrielles, assez différents du modèle décrit ici, ont récemment été installés en Birmanie.

Figure 2. Stabilisateur à main



Légende :

1. Echappement de vapeur
2. Thermomètre
3. Porte d'alimentation
4. Ouvertures assurant un courant d'air
5. Gril
6. Plateau à cendres

Source : Jagannohan et autres [30].

n'est pas arrêtée. Les pertes au raffinage de l'huile extraite du son primitif et de celle qui est extraite du son traité stocké pendant une semaine sont comparables, ainsi que leur couleur, une fois qu'elles ont été neutralisées et blanchies (voir tableau 4).

TABLEAU 4. EFFETS PRODUITS SUR LA COULEUR DE L'HUILE PAR LE TRAITEMENT DU SON DANS LE STABILISATEUR A MAIN^a

Son	Couleur Lovibond ^b (cellule de 2,54 cm)		
	Jaune	Rouge	Jaune + 5 rouge
Lot primitif n° 1	9,5	0,9	14,0
Lot n° 1 traité 1 heure à 105 °C et stocké 7 jours	11	1,5	18,5
Lot primitif n° 2	3,5	0,4	5,5
Lot n° 2 traité 1 heure à 90 °C et stocké 7 jours	3,0	0,5	5,5

^aVoir Jagannohan et autres [30].

^bHuile neutralisée et blanchie selon les méthodes prescrites par l'American Oil Chemists Society.

L'idée de combiner l'appareil de stabilisation avec une source d'énergie reposant sur la combustion de la balle de riz est très séduisante. Elle a d'ailleurs été recommandée par l'ONUDI [50, 51]. La figure 3 donne le schéma d'un stabilisateur conçu à cet effet [32] qui n'est cependant pas parvenu au stade de la construction. Le modèle comporte deux transporteurs à vis au diamètre de 22,8 cm et d'une longueur totale de 3,8 m, avec chemise chauffante. La puissance maximale totale est de 4,5 ch. Les gaz de combustion circulent dans la chemise en sens inverse du son qui passe dans les transporteurs. Des soupapes permettent d'évacuer la vapeur émise par le son. Pour une entrée de 75 kg/h de son, à 25 °C et avec une teneur en humidité de 12 %, le produit traité sort à 105-110 °C avec une teneur en humidité de 8 %, après un temps de rétention de 8 minutes. La source d'énergie consomme 4 kg/h environ de balle. La figure 4 donne le schéma de l'opération. Le son traité doit être refroidi à 70 °C avant d'être logé en sacs de jute.

Salgado de Oliveira [52] a imaginé un stabilisateur comprenant une bande de refroidissement (voir figure 5)³. Le désactivateur consiste en un tambour métallique horizontal muni d'une chemise de vapeur; l'axe fixé au tambour qui le traverse est actionné par un moteur de puissance appropriée. L'appareil est conçu pour fonctionner en continu. A l'intérieur du tambour, un transporteur mélange le son et le déplace vers la sortie. La vapeur dégagée par le son chauffé (la température du courant chauffant est de 105 à 110 °C) s'échappe librement par la soupape de sortie. Le son traité passe directement au refroidisseur, qui fonctionne par convection naturelle ou, mieux encore, au moyen d'un petit ventilateur.

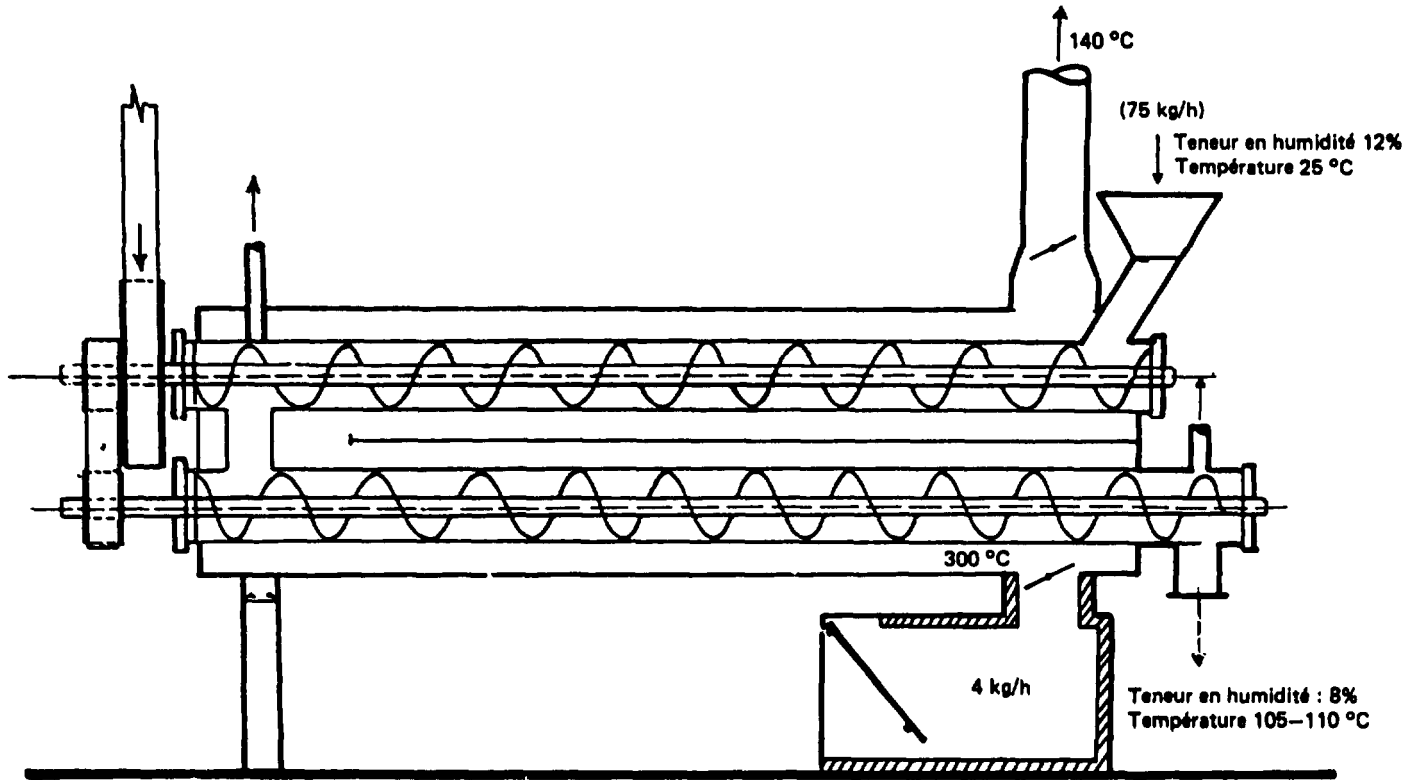
Stabilisateurs à tambour fermé

Viraktamath et Desikachar [36] ont publié les résultats de leurs expériences de stabilisation au moyen d'un tambour rotatif chauffé par des résistances électriques. L'appareil comporte un couvercle hermétiquement fermé et des dispositifs de réglage de la température et de la pression, ainsi qu'une soupape de sûreté et une sortie de vapeur. Après avoir chargé dans le tambour 20 à 25 kg de son, on ferme le couvercle en laissant ouverte la soupape d'échappement de l'humidité et l'on fait monter la température. On laisse la soupape ouverte pendant 2 minutes, quand la vapeur commence à pousser, afin de laisser l'air s'échapper. On la referme ensuite et l'on continue à chauffer jusqu'à ce que le thermomètre indique que le son a atteint la température de 110-115 °C. Cette température est maintenue pendant cinq minutes et l'on ouvre ensuite la soupape jusqu'à ce que la pression excédentaire soit ramenée à zéro. Après ouverture du couvercle, on extrait le son pour le laisser refroidir. La teneur en acides gras libres du son, logé en sacs de toile et stocké à 37 °C et 70 % d'humidité relative, n'a passé que de 4 à 10 % en 120 jours. C'est là le seul critère d'évaluation qui ait été utilisé.

L'idée de chauffer le son dans un récipient scellé a inspiré depuis plusieurs autres solutions. L'une d'elles (figure 6) [37] consiste à employer un cylindre métallique horizontal, muni d'une chemise de vapeur et de deux axes concentriques creux qui servent à chauffer par la vapeur sous pression. L'orifice de chargement et de déchargement du son est muni d'un couvercle fermant

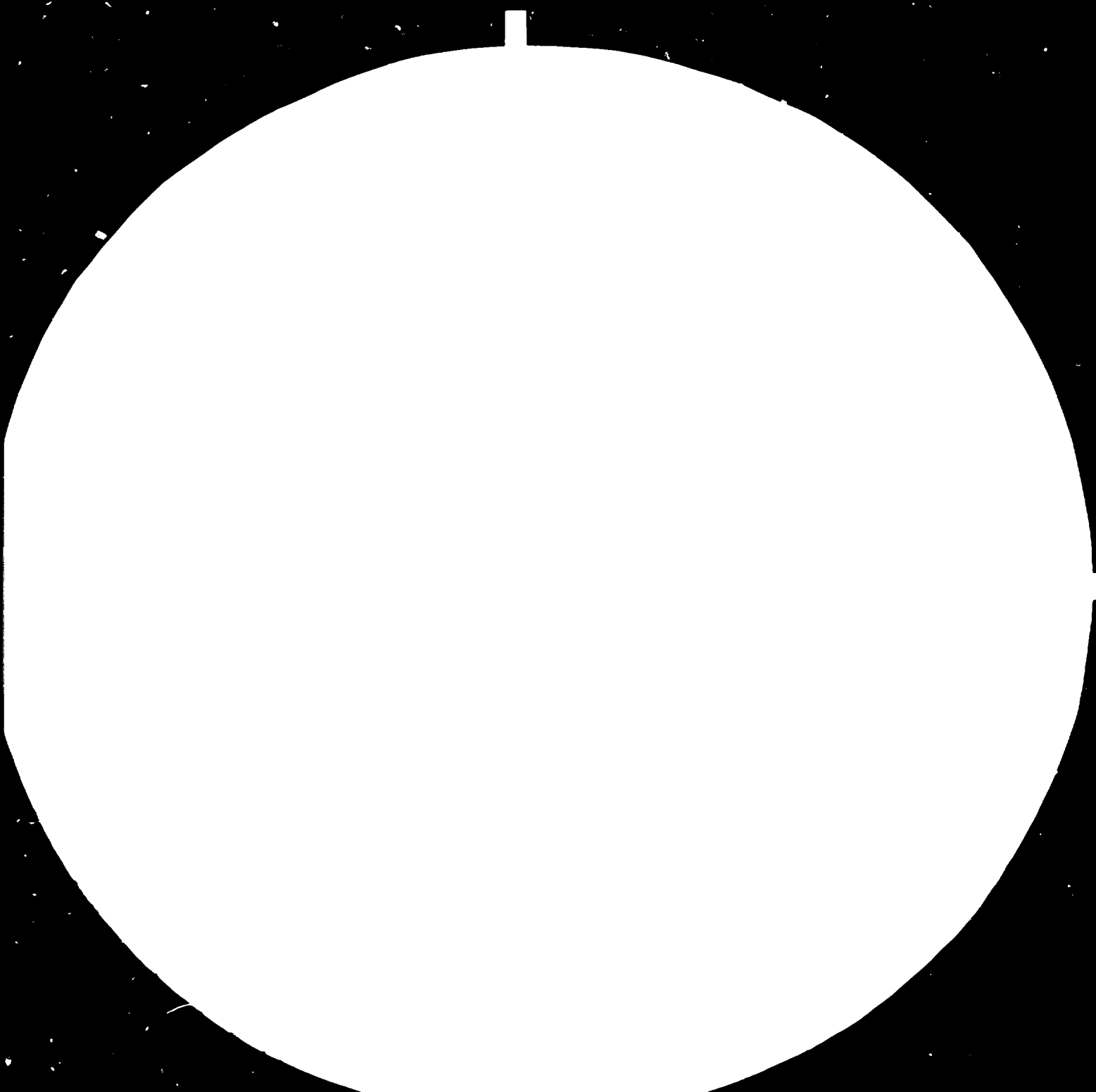
³On ignore si cet appareil a été construit.

Figure 3. Stabilisateur chauffé indirectement par les gaz de combustion de la balle



Source : Applied Scientific Research Corporation of Thailand [52].

800 721





45

50

56

63

71

80

90

100

112

125

140

160

180

200

224

250

280

315

360

400

450

500

2.8

3.2

3.6

4.0

4.5

5.0

5.6

6.3

7.1

8.0

9.0

10.0

11.2

12.5

14.0

16.0

18.0

20.0

22.4

25.0

28.0

31.5

2.5

2.8

3.2

3.6

4.0

4.5

5.0

5.6

6.3

7.1

8.0

9.0

10.0

11.2

12.5

14.0

16.0

18.0

20.0

22.4

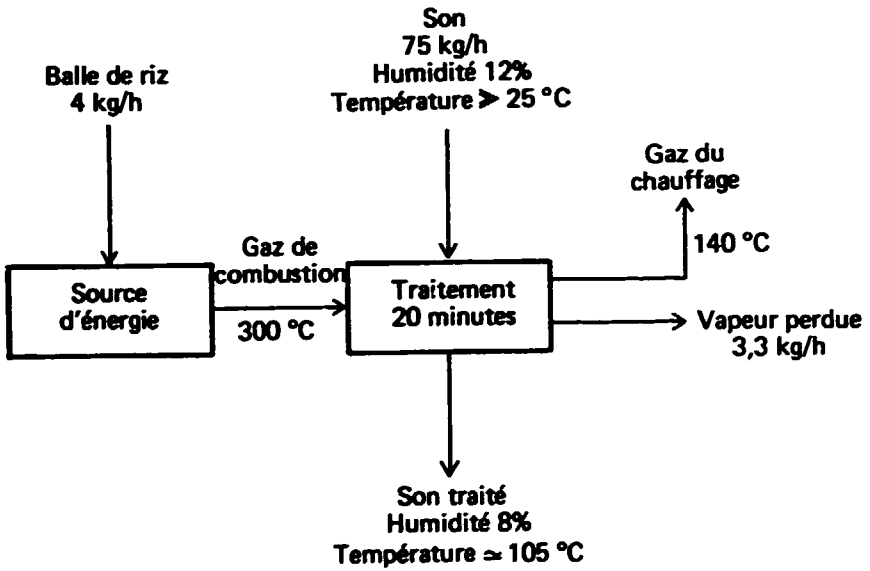
25.0

28.0

31.5

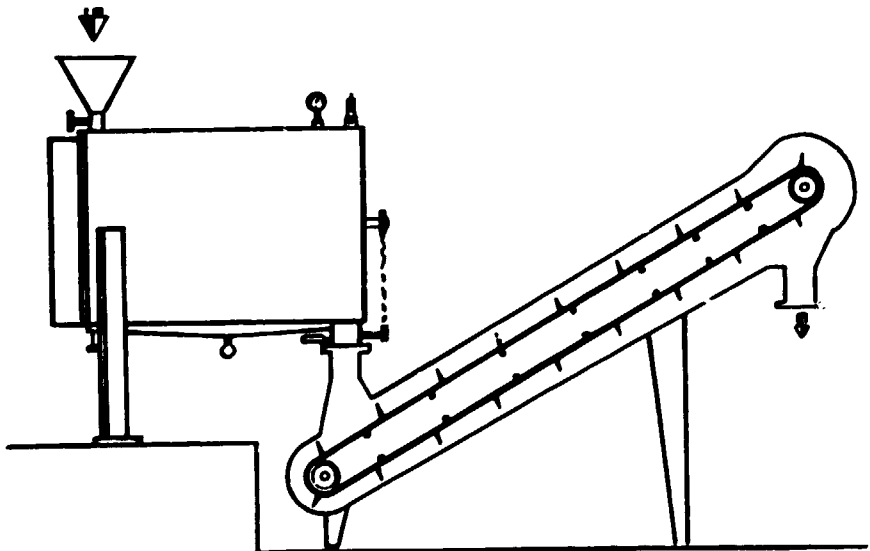
MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

Figure 4. Schéma d'un processus de stabilisation chauffé indirectement par les gaz de combustion de la balle



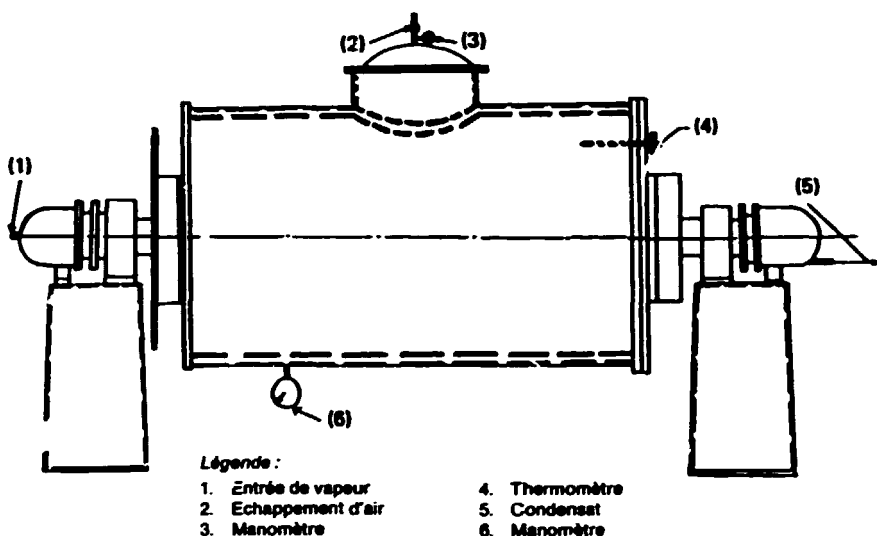
Source : Applied Scientific Research Corporation of Thailand [52].

Figure 5. Désactivateur de son associé à un refroidisseur



Source : Salgado de Oliveira [53].

Figure 6. Stabilisateur de l'Institut central de recherche technique sur l'alimentation de Mysore



Source : Ramanathan, Krishna et Sen [37].

hermétiquement, avec une soupape d'échappement de la vapeur. L'appareil comprend des indicateurs de température et de pression ainsi que des soupapes de sûreté. Le cylindre, actionné par un moteur de 5 ch, tourne à 8 tr/min. On procède par lots de 200 à 250 kg⁴. Le principe du fonctionnement est le même que dans le stabilisateur précédemment décrit. Le traitement est un peu moins énergique (5 minutes à 100 °C au lieu de 110-115 °C), mais toute l'opération, à l'exception du refroidissement ultérieur, prend encore 30 minutes environ. Le son perd de 4 à 5 points de pourcentage d'humidité. D'après les chiffres publiés, au bout de 70 jours de stockage (dans des conditions non précisées), la teneur en acides gras libres du son stabilisé est de 4 %, contre 2,8 % pour le son primitif. La teneur en humidité du son stabilisé est de 4,3 % au début du stockage et elle monte à 5,5 % au bout d'un mois.

Lakshminarayan [54] donne une brève description d'une installation similaire comportant les caractéristiques suivantes : a) capacité, 0,8 m³, représentant 240 kg environ de son; b) épaisseur des tôles du tambour, 6 mm; c) vitesse de rotation, 10 tr/min; d) puissance du moteur, 5 ch; e) pression à l'intérieur du tambour, 0,345 bar pour le son brut et 0,173 bar pour le son étuvé; f) consommation d'énergie, 30 kg à 2,76 bar; durée totale de l'opération, 45 minutes.

Pillaiyar, Yusuff et Narayanasmy [38] ont conçu, construit et essayé un stabilisateur reposant lui aussi sur l'emploi d'un tambour scellé, horizontal et rotatif (8 à 10 tr/min) à chemise chauffante, le fluide de chauffage indirect étant l'air chaud (voir figure 7). Un conduit central⁵ qui traverse horizontalement le

⁴Les auteurs disposent de renseignements techniques sur des appareils d'une capacité de 500 kg [37].

⁵Certains modèles en ont trois.

tambour intérieur, auquel sont soudées de petites plaques métalliques, contribue à améliorer la transmission de la chaleur. Les ailettes facilitent le mélange homogène du produit et empêchent la formation de boulettes si fréquente dans le son. Les paliers à billes, qui s'usent aux températures élevées, sont remplacées par des rouleaux. L'appareil est muni d'un orifice de chargement et de déchargement, avec un couvercle qui peut être fermé hermétiquement. Il comporte des instruments de réglage de la température et de la pression, ainsi que des échappements de vapeur et une soupape de sûreté, et une soupape à papillon pour régler l'entrée d'air chaud. L'appareil, qui peut fonctionner avec n'importe quelle source d'air chaud, a été essayé avec succès à l'aide d'un brûleur de balle construit en Inde et d'un ventilateur de 12,75 m³/min actionné par un moteur de 1 ch⁶. Le stabilisateur accueille 150 kg environ de son, en laissant libre un huitième à un quart du volume du tambour intérieur afin de faciliter le mélange pendant la rotation. L'opération comprend le chargement du produit, la fermeture hermétique du couvercle, le démarrage de la rotation, le chauffage, échappement d'air ouvert, jusqu'à ce que le son atteigne 90 °C, la fermeture de la soupape et la poursuite du chauffage jusqu'à 105 °C, le maintien de cette température pendant 5 minutes et ensuite l'ouverture de l'échappement jusqu'à ce que la pression excédentaire intérieure soit ramenée à zéro, l'ouverture de la bouche de déchargement, et le déchargement du son qu'on laisse refroidir avant de l'ensacher. Avec une charge de 150 kg de son, une température d'entrée de l'air de 240 °C à 260 °C il faut de 45 à 50 minutes pour atteindre 105 °C, l'appareil tournant en permanence. La perte d'humidité pendant le traitement va de 2,5 à 4,0 points de pourcentage. La capacité de stockage des lots de son traité, dont la teneur finale en humidité est de 6 % environ, est satisfaisante; la teneur en acides gras libres (seule caractéristique qui ait été mesurée) a à peine augmenté au bout de trois à quatre mois de stockage dans des conditions non précisées.

Le stabilisateur qu'illustre la figure 8 a ceci de nouveau qu'il comprend une pompe à vide afin d'accélérer l'élimination de l'humidité du son. Son emploi industriel n'a pas encore été signalé.

Stabilisateurs à lit fluidisé à courant d'air chaud

Comme l'activité enzymatique diminue considérablement quand la teneur en humidité du son est ramenée à de très bas niveaux (1 à 3 %) il devrait être possible de stabiliser le produit en le séchant. Afin d'atteindre ces bas niveaux d'humidité sans avoir recours à des traitements prolongés ou à des températures élevées qui risqueraient d'endommager le son, quelques chercheurs ont étudié la possibilité de le sécher sur un lit fluidisé. Ce qui ne signifie pas que, dans d'autres conditions de traitement, le degré de stabilisation atteint ne soit pas dû en partie à la réduction de la teneur en humidité et en partie à une désactivation effective par dénaturation enzymatique.

Srinivasa Rao et autres, par exemple, ont réalisé une installation pilote pour étudier la stabilisation du son par séchage dans un transporteur pneumatique [45]. La caractéristique la plus remarquable de ce dispositif est la brièveté extraordinaire du temps pendant lequel le son est en contact avec l'air

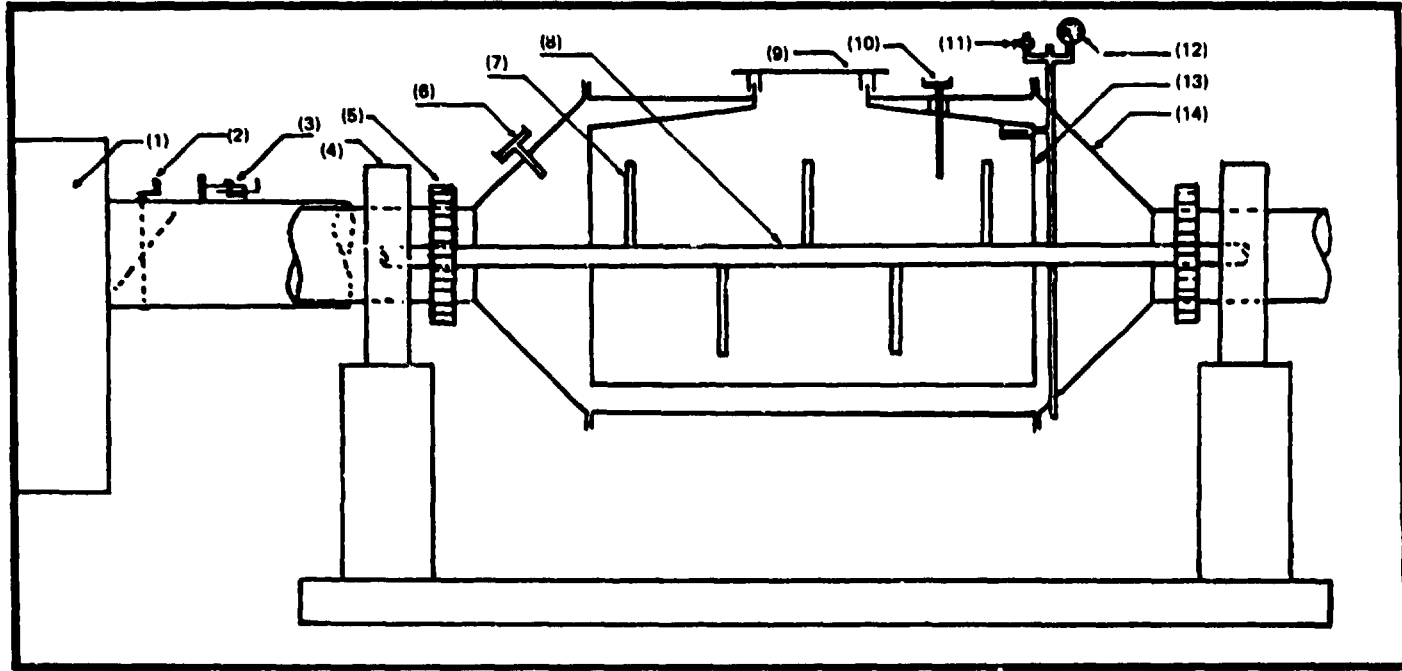
⁶Le ventilateur peut être remplacé par une cheminée de 9 m de hauteur et 20 cm de diamètre qui apporte l'air nécessaire au brûleur.

Figure 7. Stabilisateur à air chaud associé à un brûleur de balle

A. Photographies de l'installation pilote



B. Schéma du stabilisateur

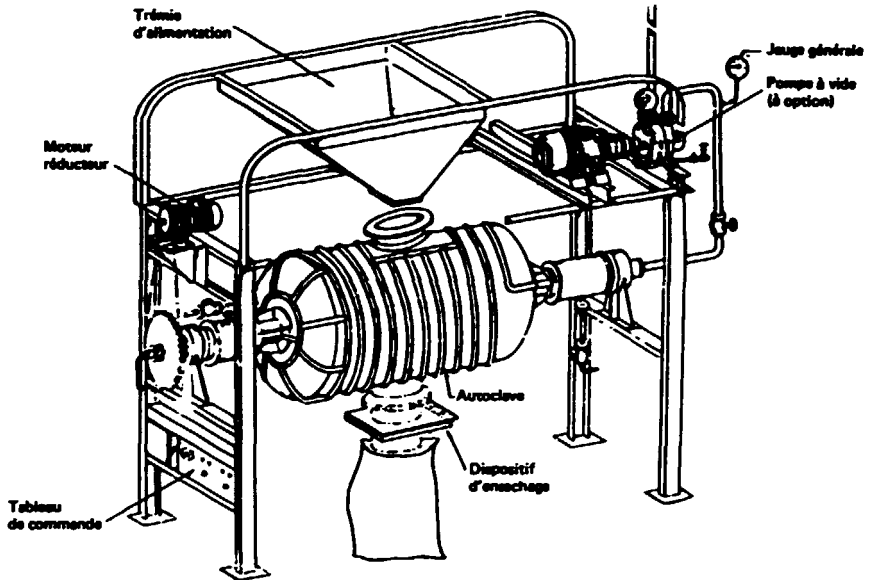


Légende :

- | | | | | |
|----------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. Brûleur | 4. Rouleau de guidage | 7. Ailettes | 9. Couverture | 12. Manomètre |
| 2. Vanne papillon | 5. Chaîne à articulations | 8. Conduit intérieur d'air chaud | 10. Thermomètre | 13. Tambour intérieur |
| 3. Vanne à glissière | 6. Thermomètre | | 11. Echappement d'air | 14. Tambour extérieur |

Source : Pillaiyar, Yussuf et Narayanasamy [38].

Figure 8. Stabilisateur de son

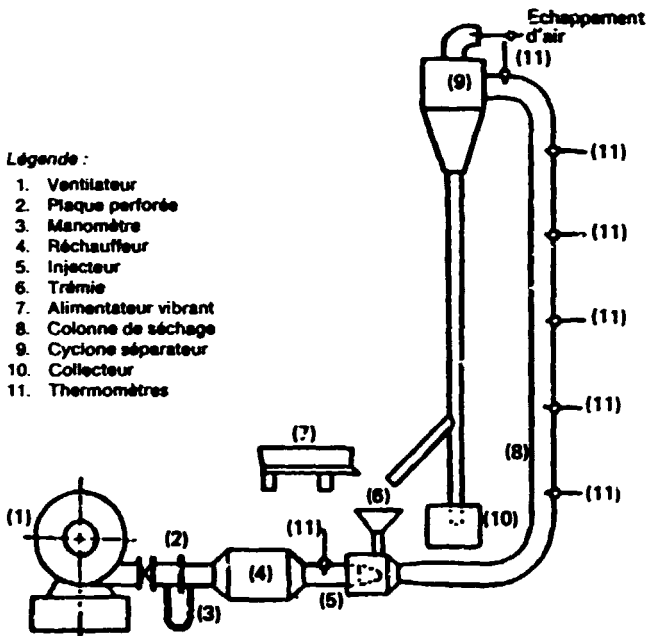


Source : Servotech, Eng., PVT, Ltd.

chaud qui sert d'agent de séchage. La figure 9 montre l'appareil en question. Il consiste en un ventilateur centrifuge fonctionnant à 170 m³/h qui chasse l'air par un orifice sous pression de 457 mm, un réchauffeur électrique de 12 kW et un injecteur. Le son est introduit dans le courant d'air chaud par l'injecteur. Son et air circulent dans une colonne thermiquement isolée de 75 mm de diamètre et 7,75 m de hauteur. Le son séché est séparé dans un cyclone. Les caractéristiques de ce type de séchoir sont les suivantes :

Capacité	54,4 kg de produit humide à l'heure
Capacité d'évaporation	3,63 kg d'eau à l'heure
Teneur initiale en humidité du son (sur sec)	10,1 %
Teneur finale en humidité du son (sur sec)	2,76 %
Température de l'air à l'entrée	196 °C
Température de l'air à la sortie	111 °C
Courant d'air à la température d'entrée	189 m ³ /h
Rapport air/son	2,62
Température du son à l'entrée	27 °C
Température du son à la sortie	75 °C
Nombre d'unités de transfert	0,981
Hauteur de la colonne	7,75 m
Hauteur des unités de transfert	7,93 m
Diamètre de la colonne	75 mm
Energie utilisée	Electricité
Consommation l'énergie	3,321 kWh/kg d'eau évaporée

Figure 9. Séchage par transporteur pneumatique

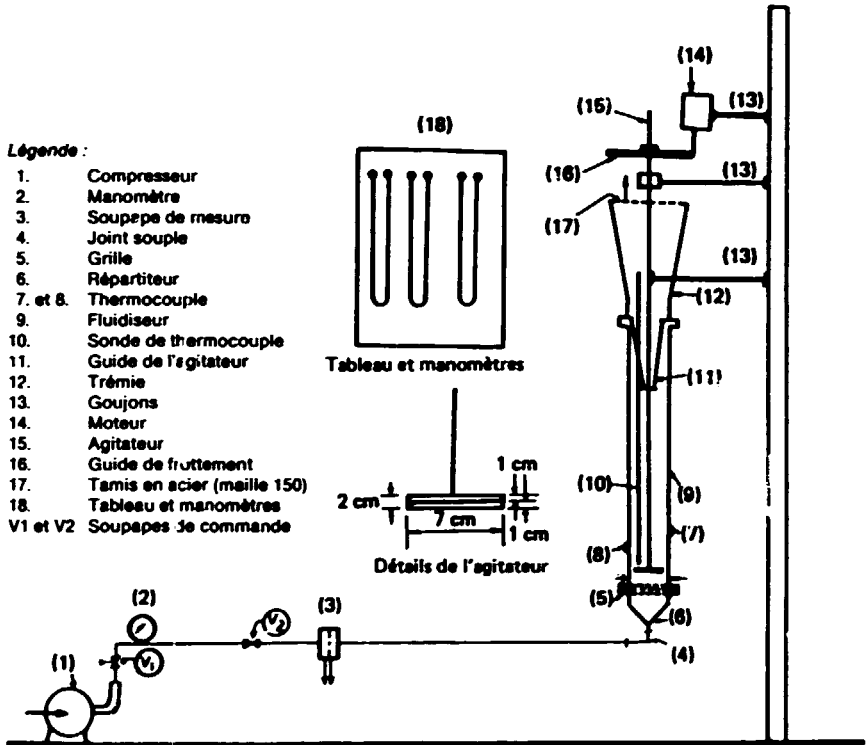


Source : Srinivasa Rao et autres [45].

Le son présente certaines caractéristiques qui le rendent impropre à la fluidisation; il a par exemple tendance à former des "canaux" pendant l'opération, et la conséquence immédiate en est que la température du lit n'est pas uniforme et, partant, que les effets du traitement sont eux aussi inégaux. Pour remédier à cet inconvénient, Ramkrishniah, Sawarkar et Sen [35] ont eu recours à un agitateur lent qui bouleverse les canaux et améliore la fluidisation. La figure 10 montre le dispositif en question. Il consiste essentiellement en une colonne en acier inoxydable de 7,5 cm de diamètre et de 90 cm de hauteur munie d'un échangeur de chaleur électrique tubulaire, en un tamis à maille 150 qui sert de répartiteur au pied de la colonne, en un agitateur à lames de 7 cm de longueur et de 0,5 cm d'épaisseur, placé à 1 cm au-dessus du répartiteur et en une petite trémie. Pour une vitesse de l'agitateur de 60 tr/min, la vitesse de l'air nécessaire pour fluidiser 250 g de son a été de 3,85 m³/h. Le matériel a été essayé pendant des laps de temps différents et à des températures différentes (2 à 10 minutes; 105 et 120 °C). D'après le seul critère appliqué, à savoir l'augmentation des acides gras libres pendant le stockage (dans des conditions non précisées), le traitement est efficace.

La faible conductivité du son; et la diversité des dimensions et des formes des particules font qu'il est difficile de chauffer uniformément un lot. Pour résoudre ce problème, qui paraît se poser dans la plupart des méthodes traditionnelles de stabilisation par voie thermique, Kem Chand et Gupta et Bal, Savarkar et Bhati [39, 40, 55] ont eu recours à un système de transfert de la chaleur dans un lit fluidisé qui comporte des phases denses et diluées. Les

Figure 16. Stabilisateur de son de riz à lit fluidisé avec agitateur

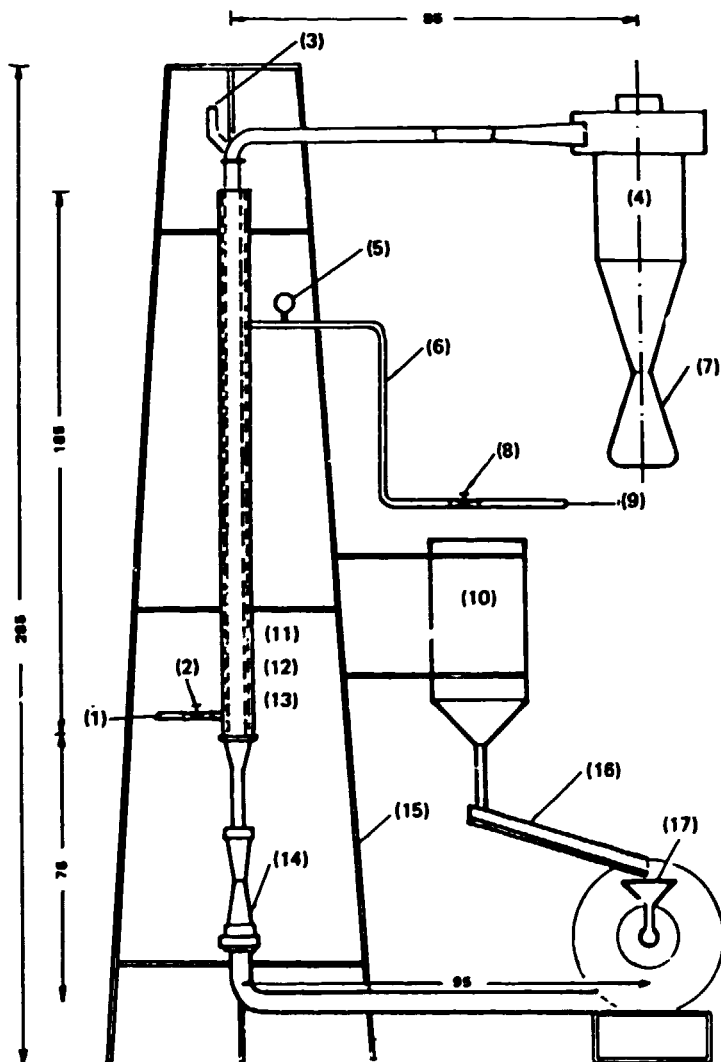


Source : Ramkrishniah, Sawarkar et Sen [35].

particules de la phase dense (co: sistant en sable) sont telles qu'elles ne peuvent être transférées dans le courant d'air et restent en circulation constante dans la zone de transfert de chaleur. Les particules de la phase diluée, qui consistent en son, sont emportées dans le courant d'air et passent par la phase dense où elles sont chauffées uniformément. Ce système présente les avantages suivants : a) le coefficient de transfert de chaleur est de 3,5 à 7 fois meilleur que dans une colonne à lit fixe; b) les particules ont plus de chance d'atteindre une température uniforme; c) le traitement dure moins longtemps et, par conséquent, la colonne est plus courte; d) on peut facilement augmenter la capacité du matériel sans en modifier les dimensions, simplement en augmentant la quantité d'air et le nombre de calories fournies. Le stabilisateur de la figure 11 a été conçu et construit selon ces principes. Il consiste en une colonne de 5 cm de diamètre et de 1,8 m de hauteur chauffée par des résistances électriques⁷. Un ventilateur apporte de l'air à une pression maximale de 5 cm, le courant étant réglable à volonté au moyen d'une vanne papillon; le courant d'air est

⁷Douze réchauffeurs de 1 000 watts.

• Figure 11. Stabilisateur à lit fluidisé à phases combinées^a



Légende :

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. Condensat | 10. Trémie à son |
| 2. Soupape | 11. Doublage en amiante |
| 3. Dispositif d'alimentation en sable | 12. Tuyau à vapeur |
| 4. Cyclone | 13. Tuyau en tôle galvanisée |
| 5. Manomètre | 14. Tube de Venturi |
| 6. Tuyau de vapeur souple | 15. Bâti |
| 7. Sac stérilisé | 16. Alimentateur vibrant |
| 8. Soupape d'arrêt | 17. Ouverture d'alimentation du côté de l'aspiration |
| 9. Vapeur de la chaudière | |

Source : Kem Chand et Gupta [39, 40] et Bal, Savarkar et Bhati [55].

^aLe dessin n'est pas à l'échelle; les dimensions sont indiquées en centimètres.

uniformisé au moyen d'un tube de Venturi dans lequel la réduction passe de 5 cm à 2,5 cm. Un cyclone sépare le son lorsqu'il quitte la colonne. On charge du sable de 0,5 à 1,0 mm de diamètre par la partie supérieure, et la vitesse de l'air est réglée de manière à maintenir stable la zone dense. Le son est chargé à la base de la colonne par une petite trémie placée dans la zone d'aspiration du ventilateur. Le son reste dans la colonne pendant 30 à 70 secondes. D'après les auteurs, on obtient les taux les plus élevés de transfert de chaleur avec une colonne de 5 cm de diamètre et de 150 cm de hauteur, des particules de sable de 0,4-0,5 mm et une vitesse d'air de 3 m/s. En continu, le stabilisateur peut faire passer la température du son de 25 à 120 °C en une seule passe, avec une capacité de 0,72 kg de son par minute. Les auteurs disent que le sable ne vient pas se mêler au son pour en endommager la qualité; la teneur en acides gras libres du son traité à 150 °C et stocké dans des conditions non précisées pendant quatre semaines a passé de 3,3 à 5 %. Ce paramètre est le seul à avoir été évalué. Les auteurs recommandent trois passes à 150 °C pour une stabilisation plus complète.

Cuiseurs à extrusion

Le cuiseur à extrusion, ou extrudeur, transforme en chaleur l'énergie mécanique d'une vis de pression grâce au frottement et au cisaillement qui se produisent lorsqu'un produit en grains est comprimé et contraint de passer par un orifice. Il consiste essentiellement en une vis, un corps, une filière, un dispositif d'alimentation, un apport d'énergie et une transmission avec les mécanismes de commande correspondants.

Williams et Baer [56] ont utilisé une machine de ce type, construite aux Etats-Unis, pour stabiliser du son, mais en ajoutant de l'eau. Par la suite, Viraktamath et Desikachar [36] ont employé une presse du type "expeller" de fabrication japonaise aux mêmes fins et, plus récemment, quelques chercheurs (Lin et Carter [42], Pablo et Sangalang [57], Mukhopadhyay [58], Bhumiratana [59], Harper et autres [60], Sayre [61] et Enochian et autres [62] ont étudié les possibilités du cuiseur Brady Crop, fabriqué aux Etats-Unis d'Amérique, cependant que Cheigh et autres, de l'Institut coréen des sciences et techniques (KIST) ont fait des expériences avec l'extrudeur MFM-KIST, fabriqué par l'Institut d'après un modèle original de la Meals for Millions Foundation (MFM) des Etats-Unis [41, 63]. Cheigh a également essayé un extrudeur de laboratoire de Bonnot [41]. Bien qu'il existe d'autres types d'extrudeurs du même genre, aucun ne paraît avoir été employé pour stabiliser du son.

On emploie beaucoup les extrudeurs depuis quelques années pour la préparation d'aliments précuits à base de mélanges de céréales et de légumineuses ou de graines oléagineuses. Certaines des fonctions qu'ils remplissent peuvent convenir pour le son, par exemple pour la désactivation des enzymes ou les inhibiteurs d'enzymes par action physiologique, la destruction des insectes ou micro-organismes afin d'obtenir des produits hygiéniques ou un stockage prolongé des extrudats obtenus dont la teneur en humidité est basse. Les extrudeurs fonctionnent à des températures de 80 à 155 °C mais les plus favorables semblent se situer vers 110 °C [36]. Il faut toutefois signaler que le temps de rétention est très bref et que le produit accomplit la plus grande partie de son parcours le long de la vis avant d'avoir atteint la température maximale, l'exposition aux températures les plus élevées

n'ayant lieu que sur une portion très courte de l'extrudeur (voir figure 12). Néanmoins, l'effet sur les enzymes du son peut être considérable. Cheigh [41] a réussi à ramener l'activité des peroxydases du son à 3,1 % de sa valeur primitive avec un temps de rétention de 18 secondes et une température de 155 °C (à la filière) dans un extrudeur de laboratoire et à 20,8 %, pendant le même temps, à 130 °C dans un extrudeur MFM-KIST (voir plus loin) d'une capacité de 100 kg/h (voir tableau 5).

La réduction de pression qui se produit lorsque le son quitte l'extrudeur, associée à la haute température du son, entraîne une perte d'humidité lorsque l'eau s'évapore brusquement. Lin et Carter [42] ont évalué la perte en termes de température du son à la sortie de l'extrudeur (voir figure 13). Cheigh [41] a publié des chiffres concernant un extrudeur de laboratoire Bonnot (voir tableau 6)

Le cuiseur Brady Crop 206 a une vis d'extrusion de 15 cm de diamètre et de 1 m de long⁴, reliée directement à l'axe du tracteur agricole qui l'actionne. La machine comprend un système hydraulique à huile avec pompe hydraulique, réservoir d'huile, soupape de commande et moteur hydraulique. Ce moteur fait tourner un petit serpentín qui conduit le produit depuis la trémie d'alimentation jusqu'à l'entrée de l'extrudeur. Au moyen de la soupape de commande on peut faire varier l'amenée de 0 à 50 tr/min pour régler ainsi le volume du produit apporté à la machine; la soupape aide à régler la température de traitement et la capacité de charge en fonction de la puissance du tracteur. Le produit est poussé d'une extrémité à l'autre de la vis d'extrusion par le rotor qui tourne à 500-1 200 tr/min selon la puissance du tracteur. La température du produit monte sensiblement lorsqu'il se rapproche de la sortie. Cette dernière consiste en un cône de 16 cm de diamètre logé dans un boîtier fixe, l'un et l'autre étant remplaçables. On peut varier l'écart entre le cône rotatif et son logement afin de modifier la température d'extrusion. La forme de l'extrudat est déterminée par la périphérie du cône rotatif. Certains appareils sont actionnés par un moteur électrique de 100 ch et d'autres par des moteurs diesel, mais la plupart, comme on l'a dit plus haut, sont branchés sur des tracteurs de 65 ou 130 ch [65]. Il y a maintenant quelques modèles de 30 ch.

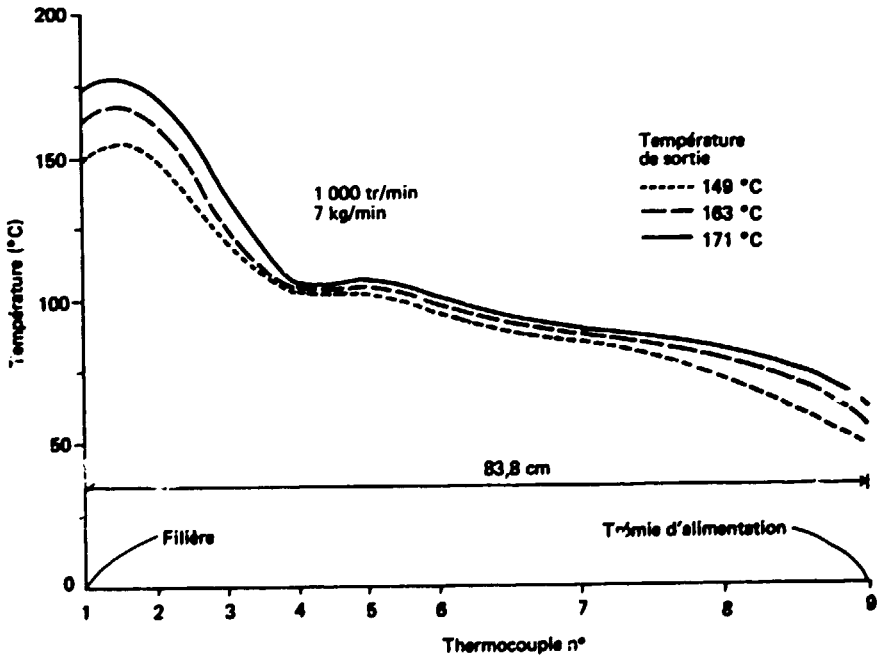
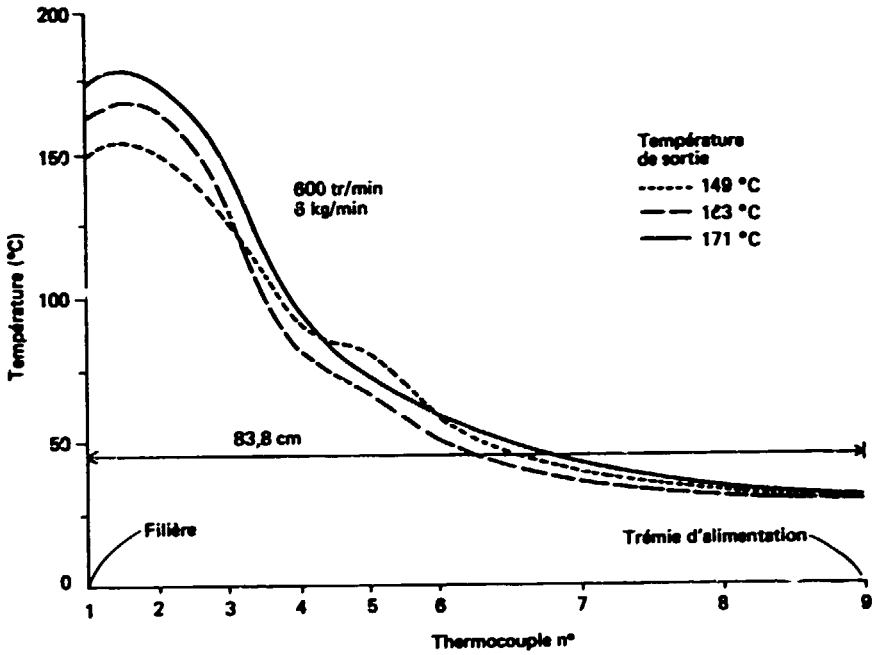
Les pièces qui s'usent le plus vite sont le cône et son logement. On sait que le son est particulièrement abrasif, surtout à l'état sec, mais on ne paraît pas encore avoir déterminé son effet réel sur les deux pièces en question. Avec d'autres produits, dont les céréales, les légumineuses et les semences, les pièces peuvent, selon la teneur et la nature des impuretés, supporter de 10 jusqu'à plus de 500 tonnes avant de s'user. La présence de poussière, de boue et de sable accélère l'usure. Le rotor y est aussi exposé [65]. Dans certaines machines de ce genre, il est bon d'installer un séparateur magnétique pour éliminer les impuretés métalliques avant qu'elles ne pénètrent dans la vis d'extrusion.

Dans le modèle Brady 206, deux dispositifs de commande règlent la température du cuiseur. Le premier est la poignée de réglage du cône, qui règle l'ouverture de décharge et influe sur le temps de maintien et l'apport d'énergie. Le second règle l'amenée du produit à l'extrudeur [64].

Le type de cuiseur à extrusion décrit plus haut est d'un emploi facile. Une fois en marche, il n'y a plus qu'à l'alimenter en son et à régler la sortie. Pour

⁴La vis d'extrusion mesure 12,7 cm de diamètre et 86,4 cm de longueur. Elle a un pas constant de 3,81 cm et tient dans une chemise munie de trois "barres de rupture" [64].

Figure 12. Cuiseur à extrusion bon marché; profil des températures



Source : Harper et autres [60].

TABLEAU 5. CUISEURS A EXTRUSION; EFFETS DE LA TEMPÉRATURE ET DU TEMPS DE RÉTENTION SUR LA TENEUR EN HUMIDITÉ ET L'ACTIVITÉ DES PEROXYDASES DU SON DE RIZ

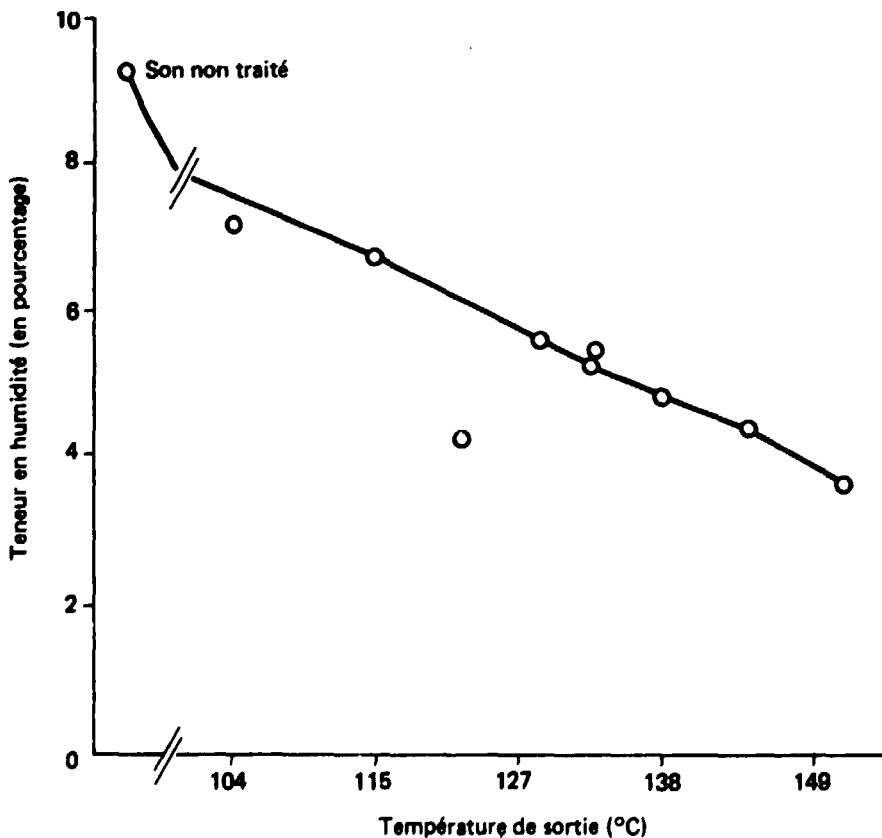
Type de cuisEUR	Température de sortie (degrés C)	Temps (secondes)	Teneur en humidité (pourcentage) ^a	Activité résiduelle des peroxydases (pourcentage) ^b
Bonnot	121	18	9,2	45,1
Bonnot	138	14	8,5	23,1
Bonnot	155	18	7,0	3,1
MFM-KIST	130	18	8,1	20,8

Source : Cheigh [41].

^aTeneur primitive en humidité : 11,1 %.

^bActivité primitive : 100 %.

Figure 13. CuisEUR à extrusion; pertes d'humidité du son de riz à différentes températures



Source : Lin et Carter [42].

TABLEAU 6. CAPACITÉ DE PRODUCTION, TEMPÉRATURE DE TRAITEMENT ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE PENDANT L'EXTRUSION DE SON DE RIZ

Production (kg/heure)	Température de sortie (°C)	Consommation spécifique d'énergie (kWh/kg)
110	146	0,040
145	140	0,038
167	133	0,037
188	131	0,038

Note. Le son a été extrudé par une filière de 4 mm.

s'assurer du bon état de marche, il faut faire passer une certaine quantité de produit par la machine pour le préchauffer. Pour arrêter la machine, on ouvre le plus largement possible la sortie du cône afin de faire tomber la température sans arrêter l'alimentation. Il n'est pas nécessaire de démonter la machine pour la nettoyer, mais il faut veiller à ce qu'il ne reste pas de son à l'intérieur [64].

Le perfectionnement de l'extrudeur Brady 206 fait l'objet d'une grande attention. Jackson [66] a fait observer qu'il faut en modifier certains éléments pour en faciliter l'entretien dans de bonnes conditions d'hygiène, pour éviter l'obstruction de la zone qui sépare le courant d'alimentation de la vis, et pour réduire l'usure de cette dernière. Le Brady 206 a été conçu à l'origine pour être utilisé par intermittence dans les fermes. Pour le rendre apte à fonctionner en continu dans des conditions industrielles, Harper et autres [60] ont recommandé plusieurs modifications, par exemple en ce qui concerne les systèmes de graissage et de transmission. Smith, Kellerby et Triberhorn ont préconisé l'emploi de matériaux plus résistants pour la vis et le cône qui règle la décharge [67].

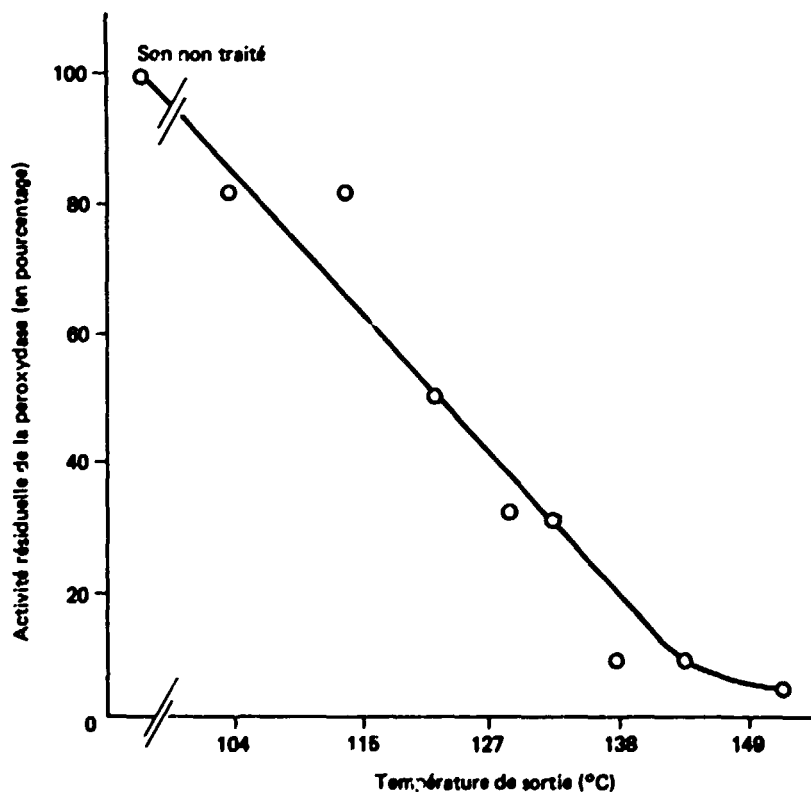
Mukhopadhyay [58] dit avoir obtenu de bons résultats en stabilisant du son de riz étuvé au moyen du Brady 206 avec des températures de sortie de 104 à 149 °C. Le seul critère retenu a été le taux de formation d'acides gras libres qui est resté inférieur à 0,5 % lors du stockage du son pendant un mois à une température non précisée. Pendant cette période, la teneur en humidité a été de 3,5 à 5,5 %. Bhumiratana [59] signale avoir obtenu des résultats similaires en traitant le son à des températures allant de 77 à 110 °C. Il n'a pas lui non plus précisé les conditions dans lesquelles le son a été stocké.

Aux Philippines, Harper et autres [60] ont traité sans aucune difficulté trois types commerciaux de son au moyen du même genre de machine. Il s'est agi de son commun ou grossier qui est un mélange de son, de balle et de résidus d'usinage, de son moyen, contenant une faible proportion de balle et de son fin, exempt de balle, la taille des particules variant de la maille 60 à la maille 80 (250-177 μm). Le son a été traité à diverses températures (de 138 à 171 °C) à raison de 295 kg/h. L'emploi de températures plus élevées a fait qu'il a fallu ménager un écart très étroit à la sortie, ce qui a provoqué des embouteillages. L'addition de 1 % d'eau a facilité l'opération (la teneur en humidité du son n'est pas indiquée) mais n'a pas permis de dépasser la température de 141 °C. Aucun détail n'est donné au sujet des effets du traitement sur la stabilité du son. Les auteurs font observer l'effet abrasif du son sur la vis d'extrusion, qui

subit un polissage accentué pendant l'opération. Le son extrudé s'est présenté sous forme de copeaux d'un diamètre de 6 mm environ.

Lin et Carter [42], au moyen d'un cuiseur à extrusion actionné par un tracteur de 100 ch, ont traité du son contenant 9,3 % d'humidité et 18,8 % d'huile à diverses températures allant de 104 à 152 °C et ont évalué les effets en déterminant l'activité résiduelle de peroxydase et l'augmentation des acides gras libres pendant un stockage dans des conditions bien définies. Les échantillons traités à 122 °C ou au-delà, logés en sacs de polythène imperméables, n'ont accusé aucune augmentation des acides gras libres au bout de 23 jours de stockage hermétique à température ambiante (23-28 °C) pendant lesquels la teneur en humidité a été maintenue au-dessous de 6 %. Un stockage ultérieur pendant 4 jours de plus, à 35 °C et 100 % d'humidité relative en récipients ouverts, a entraîné une augmentation des AGL dans les échantillons traités à moins de 132 °C, mais non dans ceux qui avaient été traités à des températures supérieures. Il n'est pas question d'un stockage encore plus prolongé. Pendant les 4 jours supplémentaires, la teneur en humidité est montée à 12,0-12,5 %. L'activité résiduelle de la peroxydase dans le son extrudé à 132 °C a été de 30 % environ (voir figure 14).

Figure 14. Cuiseur à extrusion; désactivation de la peroxydase à diverses températures



Source : Lin et Carter [42].

Dans une recherche ultérieure, Pablo et Sangalang [57] ont confirmé que lorsque le son a été extrudé à 138 °C, l'humidité est tombée de 11,9 à 5,54 % et qu'aucune augmentation des AGL ne s'est manifestée dans le produit traité logé en sacs de polythène à 29 °C pendant 80 jours.

Le cuiseur à extrusion MFM-KIST [41] consiste en une vis d'extrusion de 63,5 mm de diamètre, à pas constant. Le corps de la machine, divisé en trois zones, n'a aucun dispositif de refroidissement ni de chauffage. La surface intérieure du corps comporte quatre brides parallèles à l'axe longitudinal. La machine est actionnée par un moteur de 30 ch et munie d'une boîte à trois vitesses. Les caractéristiques techniques sont les suivantes :

Moteur principal	1 750 tr/min, 22 kW (30 ch)
Moteur de l'alimentateur	1 710 tr/min, 1,5 kW (2 ch)
Courant électrique	220 V, triphasé, 60 Hz
Transmission	1) 1:11,5 2) 1:6,5 3) 1:4,0
Vitesse de la vis	1) 150 tr/min 2) 273 tr/min 3) 430 tr/min
Diamètre de la vis	63,5 mm
Capacité maximale de production	80-100 kg/h
Longueur × hauteur × largeur	200 × 200 × 190 cm

Le traitement du son de riz à 130 °C, pendant un temps total de maintien de 18 secondes sans addition d'eau a ramené l'activité de la peroxydase à 23 % de sa valeur primitive. Mais le son traité, contenant 8,1 % d'humidité résiduelle contre 11,1 % avant traitement, stocké en sacs de coton à 30 °C et 87 % d'humidité relative, a vu en moins de trois semaines sa teneur en acides gras libres doubler par rapport aux 8 % primitifs.

Un autre modèle (KIST-EO 2030-100) d'une capacité de 150 kg/h possède une vis de 100 mm de diamètre tournant à 600-1 000 tr/min actionné par un moteur de 30 ch dans un corps à quatre sillons parallèles. L'addition d'eau n'est pas nécessaire. Le tableau 6 donne la consommation d'énergie en termes de capacité de production et de température d'extrusion au moment où le son quitte la machine. La température baisse quand la production augmente et la consommation d'énergie augmente quand la température monte. L'extrusion ramène la teneur en humidité du son de 13,8 % à 6 à 9 % selon la température et exerce un effet sensible de désactivation sur la peroxydase. A 130 °C, la peroxydase résiduelle n'est plus qu'à 16 % de sa valeur primitive, et le son ainsi traité manifeste une tendance sensiblement plus faible à la formation d'acides gras libres. Toutefois, après deux semaines de stockage à 32 °C d'humidité et 75 % d'humidité relative, la teneur en AGL a passé de 9 % environ à 14 %. Les autres caractéristiques du son extrudé en ce qui concerne l'extraction de l'huile (dont il est question ailleurs) ont également été jugées favorables.

Stabilisation par voie thermique avec addition d'eau

Certains procédés de stabilisation exigent l'addition d'eau au son, ordinairement sous la forme de vapeur. La vapeur joue un double rôle : a) elle chauffe le son et confère un coefficient élevé de transfert de chaleur; b) elle

accroît l'activité de l'eau dans le son et réduit la résistance thermique des enzymes et des micro-organismes qu'ils contiennent. On n'a pas toujours tenu compte de ces deux aspects dans l'emploi de la vapeur. C'est pourquoi, alors qu'on a bien souvent obtenu un transfert de chaleur rapide et une température suffisamment uniforme, l'hydratation a été lente et la répartition de l'humidité inégale, et des traitements administrés avec un même rapport entre temps et température ont donné des résultats très différents.

Il y a intérêt à distinguer entre les procédés conçus pour obtenir un bon mélange de son et de vapeur et ceux qui ne visent pas cet effet.

Tout procédé qui traite le son pendant qu'il est encore attaché au grain, avec ou sans balle, constitue un cas particulier.

Classification des procédés

Dans les paragraphes qui vont suivre, les procédés reposant sur l'emploi direct de la vapeur sont classés en trois catégories : a) stabilisation du son pendant qu'il est encore sur le riz, avant usinage; b) stabilisation du son sur un lit fixe; c) stabilisation du son sur un lit mobile. Dans ce dernier cas, il est bon de distinguer entre les procédés fonctionnant sous pression normale et ceux qui comportent l'emploi de cuiseurs à extrusion.

Stabilisation du son sur le grain, avant usinage, par traitement direct à la vapeur

Roberts et autres [68] et Houston, Hunter et Kester [69] ont signalé que le traitement de paddy récemment récolté par la vapeur à 100 °C pendant une minute suffit à prévenir la formation d'acides gras libres dans le riz décortiqué contenant 13 % d'humidité stocké pendant 15 jours à 25 °C. L'activité de lipase, bien qu'elle n'ait pas été déterminée avec précision, a considérablement diminué. Viraktamath et Desikachar [34] ont obtenu des résultats similaires non seulement avec du paddy récemment récolté contenant 20 % d'humidité, mais aussi avec du paddy en contenant de 12 à 14 %. Aucun de ces chercheurs n'a réussi à empêcher entièrement la formation d'acides gras libres quand le stockage a duré plus de 10 à 15 jours. Après traitement pendant 5 et 10 minutes, l'augmentation des AGL a été sensible lorsque le produit a été stocké pendant 80 jours à 37 °C.

On a constaté que de nombreux procédés d'étuvage [70, 71] détruisent les enzymes du riz. Le degré de désactivation dépend des conditions d'application du procédé et notamment du traitement par la vapeur. Nawab Ali et Ojha [72] ont fait observer que, d'une façon générale, les diverses méthodes d'étuvage du riz comportent l'emploi de vapeur saturée à 1-5 kg/cm² pour le traitement du paddy trempé, et que les temps de traitement varient de 2 à 3 minutes pour les petites charges à 20 à 30 minutes pour les charges plus importantes. Vu la forte teneur en humidité du riz soumis à un traitement par la vapeur, 2 à 3 minutes suffiraient probablement, à une température réelle de 100 °C, pour désactiver pour la plus grande part, sinon en totalité, l'activité enzymatique des grains. Viraktamath et Desikachar [36] ont déterminé les effets de diverses méthodes d'étuvage dans les conditions figurant au tableau 7. Le son obtenu à partir de riz étuvés s'est montré raisonnablement stable. Sa teneur en acides gras libres (seule caractéristique évaluée) est restée à 3 à 5 % pendant 50 jours de stockage à

TABLEAU 7. CONDITIONS D'ÉTUVAGE DU RIZ SPÉCIFIÉES POUR LA QUALIFICATION D'UN SON

Numéro du procédé	Trempage	Durée du traitement à la vapeur
1	A basse température, 72 heures	10 minutes à la pression atmosphérique
2	A basse température, 72 heures	Non précisé ^a
3	A basse température, 72 heures bichromate de potassium 0,1%	Non précisé ^a
4	A 45 °-50°C, 24 heures	10 minutes à la pression atmosphérique
5	A 70 °C, 3-3,5 heures	10 minutes à la pression atmosphérique
6	A 70 °C, 3-3,5 heures	Non précisé ^a
7	10 minutes, vapeur à la pression atmosphérique	20 minutes à 0,356 kg/cm ² , puis 5 minutes à 1,758 kg/cm ²

Sources : Pour les procédés 1, 4 et 5, Viraktamath et Desikachar [36]; pour les procédés 2, 3, 6 et 7, Iengar et autres [73].

^aProbablement jusqu'à l'ouverture des glumes.

37 °C (humidité non indiquée), Iengar et autres [73] ont obtenu des résultats similaires avec du son contenant 8 % d'humidité, logé en bouteilles de verre, provenant de riz étuvés traités par divers procédés (tableau 7). Il faut signaler que le son provenant de riz étuvé sous pression (tableau 7, procédé n° 7) a été, en comparaison, plus stable.

Dans la pratique industrielle, et d'ailleurs d'une façon générale, les résultats ne sont pas toujours aussi bons, quoique, grâce aux méthodes modernes d'étuvage, le son contenant 14 % d'humidité puisse parfois subsister une quinzaine en hiver avec une teneur de 2 à 4 % en acides gras libres [74].

La mauvaise conservation du son de riz étuvé est peut-être due à plusieurs causes, dont les principales sont les suivantes : a) traitement thermique insuffisant où le rapport nécessaire entre temps et température n'est pas atteint (le temps d'injection de la vapeur est parfois très bref) ou traitement à la vapeur inégal n'agissant pas pareillement sur tous les grains de riz); b) stockage du paddy étuvé dans des conditions favorables de la contamination et à la formation de micro-organismes producteurs de lipase (ceci peut se produire pendant le séchage ou le stockage); c) contamination du son par des micro-organismes producteurs de lipase et leur croissance dans des conditions favorables. Viraktamath et Desikachar [36] ont signalé un cas particulier dans lequel l'infestation par les insectes de son stabilisé par voie thermique dans un récipient scellé, sans addition d'eau, a été la principale cause de l'augmentation des acides gras libres.

Il faut signaler que la stabilisation du son n'est même pas considérée comme un objectif secondaire de l'étuvage et n'est qu'un résultat fortuit de l'opération, qui est en conséquence souvent exécutée dans des conditions imparfaites ou peu favorables. Il ne devrait pas être trop difficile d'adapter ces conditions de manière à désactiver le son et à éviter la recontamination, et le stockage en serait grandement facilité.

Stabilisation du son par traitement direct à la vapeur sur lit fixe

Plusieurs auteurs ont eu à faire face à des conditions très variables pour stabiliser du son à la vapeur sur lit fixe (tableau 8). Dans certains cas, on obtient des résultats satisfaisants en soumettant le son à des températures de 100 à 105 °C pendant 10 à 15 minutes; dans d'autres, il faut 118 °C pendant 30 minutes ou 134 °C pendant 1 heure. Ces résultats apparemment discordants sont probablement dus aux causes mentionnées plus haut. La teneur en humidité du son pendant le traitement thermique peut elle aussi jouer un rôle important. Faute de renseignements sur des paramètres très importants, il est impossible d'interpréter valablement les résultats.

Stabilisation du son par traitement direct à la vapeur sur lit mobile

Les procédés de stabilisation du son par traitement direct à la vapeur comportent l'addition d'eau au son à la pression normale ou sous forte pression au moyen d'une injection d'eau ou de vapeur. Les deux méthodes permettent de mélanger intimement la vapeur et le son, ce qui présente la plus grande importance car cela accroît le transfert de chaleur et la vitesse d'hydratation du son et facilite le traitement uniforme de toute la masse. Comme on pouvait s'y attendre, la plupart des auteurs recommandent des conditions d'exécution très similaires (tableau 9). D'une façon générale, trois minutes environ d'exposition directe à la vapeur sous pression normale suffisent à désactiver les enzymes du son. On suppose que la teneur en humidité du son augmente de 3 à 5 points de pourcentage, mais cet effet peut être combattu par un séchage ultérieur qui rétablit l'humidité primitive. Quelques auteurs recommandent de ramener la teneur en humidité du son stabilisé à 3 % [44] ou à 2-5 % [32]. Si toutefois les enzymes ont vraiment été désactivés par le traitement (ce qui reste à démontrer en procédant à une analyse chimique appropriée du son) cette précaution n'aboutit qu'à augmenter les frais de traitement et très probablement à détériorer davantage les composants utiles du son. Certes, dans des conditions industrielles, il est difficile d'empêcher une contamination microbiologique du son stabilisé. D'autre part, plus l'activité de l'eau dans le son est faible, moins il y a de risque de multiplication des micro-organismes producteurs de lipase. Quoi qu'il en soit, le son devra acquérir une teneur en humidité en équilibre avec les conditions de l'environnement, qui devra être maintenue au-dessous du niveau minimal nécessaire à la croissance rapide des micro-organismes producteurs de lipases. L'emploi de cuiseurs à extrusion à injection d'eau ou de vapeur [11, 56] exige : a) un temps très bref; b) des pressions élevées; c) une perte immédiate d'une partie de la teneur en eau au stade de la décompression, entraînant l'expansion du produit. D'après Williams et Baer [56], les conditions nécessaires pour désactiver le son sont : une teneur en humidité du son à extruder de 27 %, une température interne de 115 °C, une température finale de 82,5 ° et une humidité finale de 23 %.

Les machines en service

La stabilisation du son par traitement du grain de riz complet n'est qu'un épisode de la production du riz étuvé, aussi aucune machine spéciale n'a-t-elle été élaborée à cette fin, non plus que pour traiter le son directement à la vapeur

TABLEAUX 8. CONDITIONS RECOMMANDÉES POUR LA STABILISATION DU SON DE RIZ PAR TRAITEMENT DIRECT A LA VAPEUR SUR LIT FIXE

<i>Traitement à l'autoclave</i>			<i>Observations</i>	<i>Stockage</i>	<i>Référence</i>
<i>Température (°C)</i>	<i>Temps</i>	<i>Lit de son</i>			
121	2 h	Sur plateaux	Séchage supplémentaire, 1 h à 60 °C	A 21 °C, pas d'augmentation des acides gras libres Après 41 jours avec 13,7 % d'humidité Après 13 jours avec 14,6 % d'humidité Après 7 jours avec 26,4 % d'humidité	Loeb et Mayne [43]
134	1 h	Sur plateaux	Teneur initiale en humidité, 11,30 %	Teneur en humidité, 11,11 % En sacs polythène à température ambiante — pas d'augmentation des AGL après 50 jours	Sidhom, El-Tabey Shphata et Mohasseb [32]
118	30 min			En boîtes en fer blanc hermétiques — pas d'augmentation des AGL après 15 jours	Iengar et autres [73]
105	10 min	Couche de 3 cm	En laboratoire	Teneur en humidité, 8-10 % En sacs toile à température ambiante 20-30 °C Humidité relative, 40-90 % 6,5 % d'AGL après 50 jours	Ratanapunvorakul et Hermans [75]
128	7,5 min	Couche de 3 cm	En usine pilote Séchage supplémentaire	En sacs toile A température ambiante 23-32 °C Humidité relative, 50-90 %	Hermans, Pichitakul et Bhuntumkomol [76]
100 ^a	15 min	Couche de 0,5-1 cm	Séchage supplémentaire au four jusqu'à humidité inférieure à 10 %	AGL moins de 10 % après 80 jours à 37°C	Viraktamath et Desikachar [36]
100	20 min	En benne cylindrique à fond conique; injection de vapeur par tube central 250 kg de son	Température du son au départ, 95-97 °C Augmentation d'humidité, 2-3 % Séchage supplémentaire	Teneur en humidité, 6,8 % AGL = 10 % après 25 jours	Viraktamath [77]

^aVapeur à la pression atmosphérique.

TABLEAU 9. STABILISATION DU SON DE RIZ PAR TRAITEMENT DIRECT A LA VAPEUR SUR LIT MOBILE

Température ^a	Conditions		Résultats	Référence
	Temps	Observations		
100 °C	15 min (pour 1 t) 8 min (pour 250 kg)	Température du son à l' sortie, 95-97 °C Augmentation de M, 2-3 points de pourcentage Séchage supplémentaire	M = 6 % AGL = 10 % en 15 jours	Viraktamath [77]
100 °C	3 min	Augmentation de M, 1,5-2 points de pourcentage Séchage supplémentaire	Désactivation totale de la lipase	Srimani et autres [33, 34]
100 °C ^a	4,5 min	Augmentation de M, 3,5 points de pourcentage Séchage supplémentaire	Maintien des AGL à des niveaux acceptables pendant au moins un mois	Burns et Cassidy [78]
100 °C ^a	2,5 min ^b	Augmentation de M, 7-8 points de pourcentage Séchage supplémentaire jusqu'à M=12 %	Désactivation totale de la peroxydase	Barber et autres [92]
100 °C	3 min	Séchage supplémentaire jusqu'à M=3 %	A M=3 % le son se conserve plusieurs mois	Yokochi [44]

Note. M = teneur en humidité.

^aVapeur à la pression atmosphérique.

^bPour une teneur finale en humidité de 15-16 %, on recommande 3 minutes.

sur un lit fixe. Le son a généralement été chauffé dans des autoclaves ou, à titre expérimental, dans des appareils destinés à d'autres fins [73, 77].

Il y a trois types essentiels de machines pour le traitement direct du son par la vapeur sur un lit mobile : a) les transporteurs à vis munis de godets ou autres dispositifs mélangeurs; b) un lit fluidisé; c) les cuiseurs à extrusion. Dans chaque cas, le traitement à la vapeur est suivi d'un séchage.

Transporteurs à vis pour le traitement direct à la vapeur sur lit mobile

On a utilisé pour le traitement direct à la vapeur des transporteurs à vis [33, 77, 78, 79] ou des transporteurs à lames [78].

Viraktamath [77] a fait des essais à l'échelle industrielle au moyen d'un matériel classique d'huilerie. Dans un cas, il a employé un conditionneur d'une capacité de 1 t/h consistant en un tambour cylindrique muni d'une chemise de vapeur, d'un injecteur direct de vapeur et de transporteurs à godets pour

transporter et mélanger le son simultanément. Dans un autre cas, il a employé des conditionneurs semicylindriques (capacité 1 t/h et 0,25 t/h) également équipés d'une chemise à vapeur, d'un injecteur direct de vapeur et de transporteurs à godets. En continu, les temps ont été de 15 minutes pour les appareils d'une tonne et de 8 minutes pour celui Ju quart de tonne. La température finale a été de 95 °C-97 °C dans tous les cas. L'humidité a augmenté de 2-3 points de pourcentage, mais cette augmentation a ensuite été éliminée par le séchage et le refroidissement à l'ombre. Le son, logé en sacs de jute et emmagasiné dans une ambiance non précisée, est devenu plus acide mais il a fallu plus de 15 jours pour atteindre 10 % d'acides gras libres.

Burns et Cassidy [76] ont fait breveter un procédé de stabilisation du son de riz qui repose sur l'emploi d'un transporteur à vis de 30 m de longueur, muni d'une trémie et d'une petite vis d'alimentation. On injecte de la vapeur à 45 kg de pression par un tube perforé dans la première partie de la vis, de 6,6 m de longueur et à revêtement calorifuge. La teneur en humidité augmente de 3 à 5 points de pourcentage après exposition du son à 100 °C pendant 1 minute et demie. Dans la seconde portion, qui a 20 m de long et est elle aussi calorifugée, on injecte de la vapeur et on apporte de la chaleur par rayonnement afin de maintenir la température du produit à 102-104 °C, le temps de maintien étant de 3 minutes environ. Enfin, dans la dernière portion, qui a 3,3 m environ de longueur et est munie d'un conduit à grand tirage pour éliminer la vapeur, on laisse le produit refroidir en partie. L'installation nécessite d'autres appareils auxiliaires, par exemple un séchoir, qui ne sont pas décrits.

Yokochi [79, 80] a conçu une installation de stabilisation du son (figures 15 et 16) qui présente les caractéristiques suivantes : a) système d'alimentation muni d'un élévateur à godets, d'une trémie et d'une vis de chargement; b) cuiseur horizontal à chemise de vapeur et injection directe de vapeur, muni d'un système d'agitation; c) séchoir horizontal, avec chemise de vapeur et agitateur; d) séchoir-refroidisseur horizontal, avec chemise de vapeur et agitateur; e) transporteur pneumatique avec cyclone séparateur et trémie; f) systèmes de transmission; g) dispositifs de commande. Le son est traité pendant 3 minutes dans le cuiseur puis séché pour ramener la teneur en humidité de 14 à 3 %; le son doit alors être stocké.

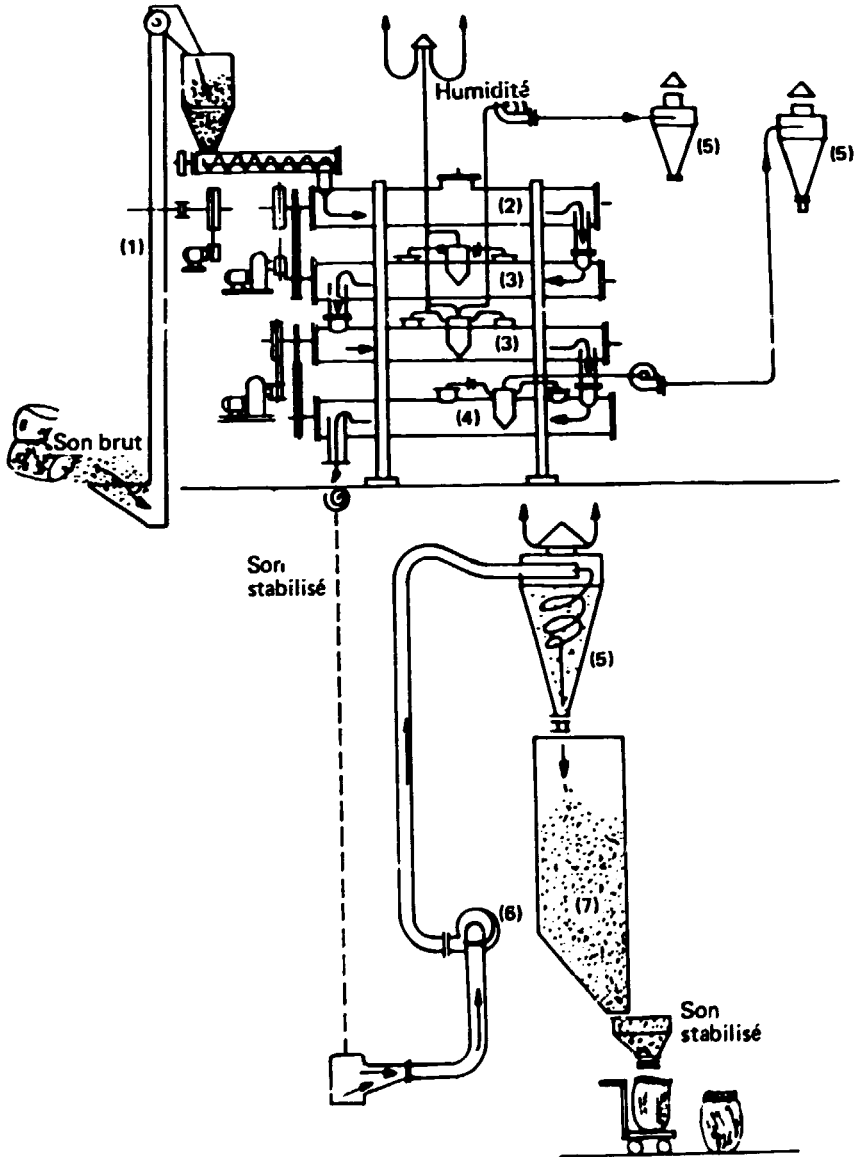
Le modèle de la figure 17 représente une autre méthode. Le système se compose : a) d'un cuiseur à injection directe de vapeur avec transporteur, le temps de rétention étant de 5 minutes et la température de sortie 110 °C; b) d'un granulateur; c) d'un élévateur; d) d'une colonne de séchage avec chambre de refroidissement [81].

Appareils de traitement direct à la vapeur sur lit fluidisé

On ne connaît qu'un seul appareil permettant le traitement direct par la vapeur du son sur lit fluidisé. C'est le stabilisateur mis au point par l'Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos de Valence⁹. L'installation se distingue par le fait qu'elle humidifie et chauffe uniformément et presque instantanément chacune des particules discrètes qui constituent le son, en les maintenant constamment sur un lit fluidisé. Ainsi, dans des conditions de temps, de température et d'humidité faciles à régler, chacune des particules de

⁹ "Patrinato Juan de la Cierva" pour la recherche scientifique et technique. Brevet espagnol n° 401685 du 16 mai 1974.

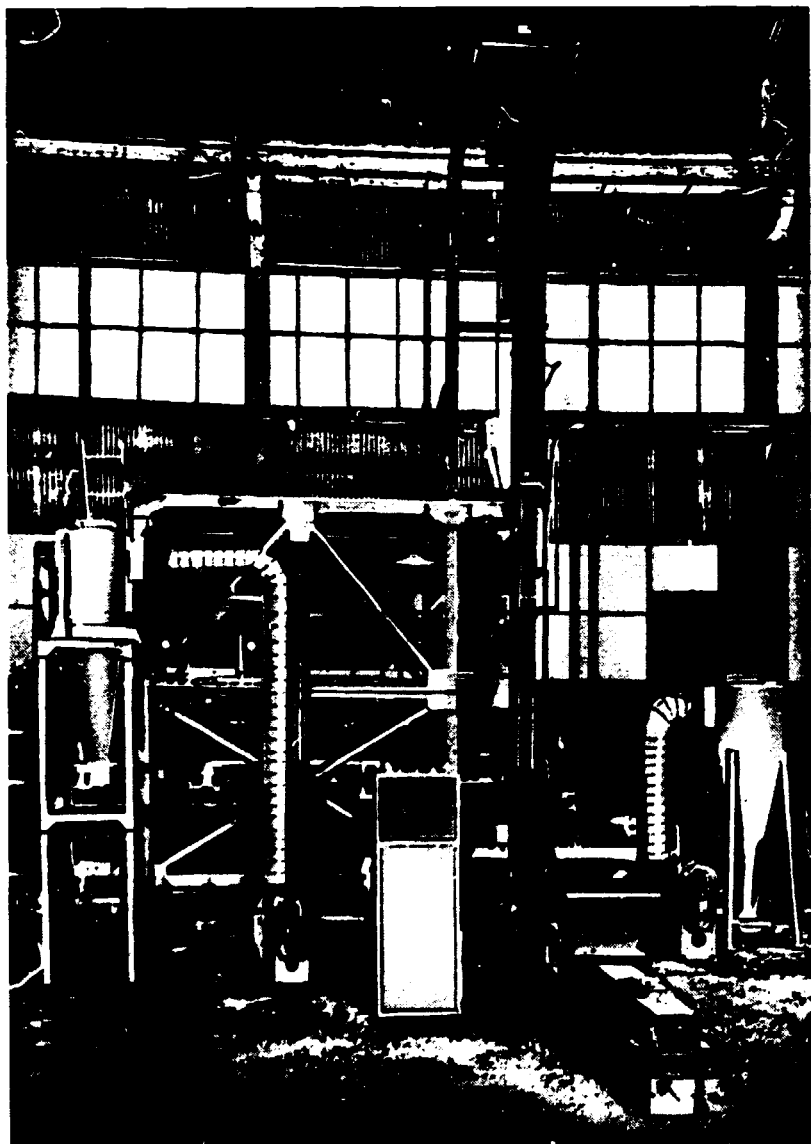
Figure 15. Stabilisateur à vapeur direct, avec séchoir et refroidisseur



Légende :

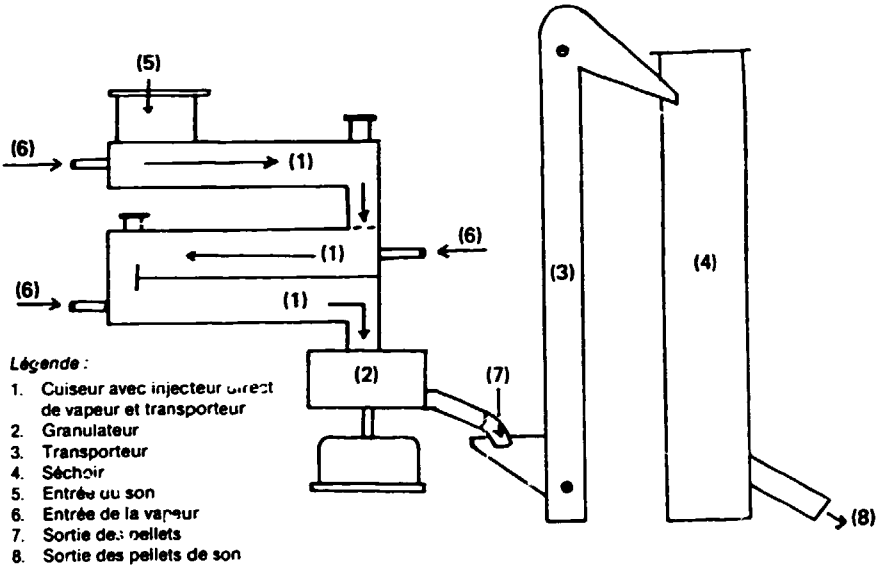
- 1. Elévateur
- 2. Cuiseur à vapeur
- 3. Séchoir
- 4. Refroidisseur
- 5. Cyclone
- 6. Ventilateur
- 7. Benne de trémie

Source : Yr kochi (79).

Figure 16. Stabilisateur de son en cours de montage

Source : K. Yokochi (80).

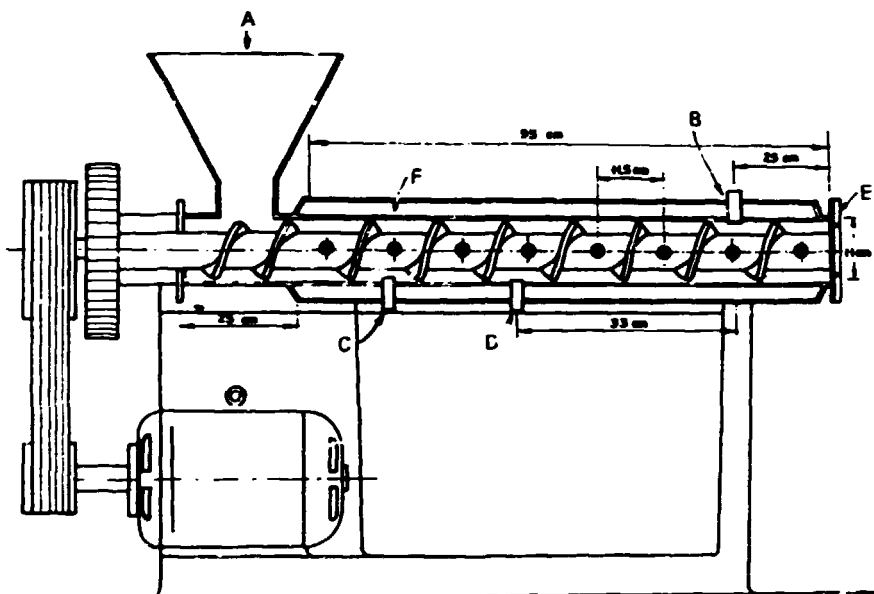
Figure 17. Autre type de stabilisateur



Source : Banarjee [81].

son est rapidement et totalement désactivée. L'installation comprend essentiellement un appareil de désactivation, un appareil de séchage et un appareil de refroidissement, avec des dispositifs de commande, d'appui et autres appareils à option (voir figures 18 et 19). L'appareil de désactivation se compose d'une trémie doseuse et du désactivateur proprement dit, avec un lit fluidisé. La trémie peut être chargée au moyen d'un système pneumatique ou autre et peut aussi servir de réservoir régulateur de l'alimentation quand le courant de son vient directement des cônes de blanchiment. Le désactivateur comprend un système d'injection de vapeur avec agitateur mécanique pour la fluidisation. Il peut aussi comporter un deuxième dispositif de retenue consistant en un transporteur à vis permettant d'adapter le temps de traitement à la capacité d'alimentation. L'appareil de séchage et de cuisson se compose d'un séchoir et d'un cuisseur (conduits et cyclones), de soupapes à la sortie des cyclones, de ventilateurs pour les circuits de séchage et de refroidissement, et des moteurs électriques nécessaires à la transmission. La figure 18 montre comment fonctionne l'installation. Le cyclone d'alimentation (2) reçoit le son et le distribue en continu à l'appareil de désactivation (6); dans ce dernier, le son reçoit une injection directe de vapeur, ce qui, en même temps que l'agitation mécanique, maintient le produit en état de fluidisation parfaite pendant 2 minutes et demie à 3 minutes à 100 °C environ, avec une teneur en humidité supérieure de 4 à 5 points de pourcentage à celle du départ. La vis extrait en continu le son désactivé pour l'amener au séchage. Si l'installation comporte l'appareil de rétention (à option) [chemise de vapeur] (9), on peut régler la vitesse d'alimentation et le temps de rétention de chaque phase. En quittant le désactivateur, le son est déchargé dans le séchoir, où il est emporté par le

Figure 18. Stabilisateur élaboré par l'Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), agissant directement par la vapeur sur lit fluidisé avec séchoir et refroidisseur



Légende :

- | | |
|--|---|
| 1. Ventilateur d'alimentateur | 13. Conduit de séchage |
| 2. Cyclone d'alimentation | 14. Cyclone de séchage |
| 3. Soupape de décharge du cyclone | 15. Vanne de décharge du cyclone |
| 4. Moteur de soupape | 16. Conduit de refroidissement |
| 5. Trémie | 17. Cyclone de refroidissement |
| 6. Désactivateur de vapeur | 18. Vanne de décharge du cyclone |
| 7. Distributeur de vapeur | 19. Sortie du produit désactivé |
| 8. Transporteur à vis | 20. Moteur des vannes des cyclones de refroidissement et de séchage |
| 9. Chemise de vapeur | 21. Ventilateur de séchage |
| 10. Trémie | 22. Ventilateur de refroidissement |
| 11. Désactivateur : moteur et transporteur à vis | 23. Matériel de production de vapeur et d'air chaud |
| 12. Transporteur à vis | |

courant d'air créé par le ventilateur (21) en liaison avec les éléments producteurs de vapeur et d'air chaud (23). Dans le cyclone (15) la poudre sèche est séparée et extraite par la partie inférieure. Le ventilateur (22) pousse alors le son sec dans le conduit, le refroidit et le recueille ensuite dans le cyclone (17), d'où il est extrait pour être emmagasiné en sacs ou en vrac dans des conditions de température et d'humidité similaires de celles du point d'entrée. La figure 20 illustre la variation du temps théorique de rétention du son dans le désactivateur en termes de débit du produit. Il faut signaler que le temps de rétention ne varie pas linéairement en fonction de l'inverse du débit; le poids de la matière retenue augmente sensiblement quand le débit augmente. En

Figure 19. Stabilisateur de l'IATA



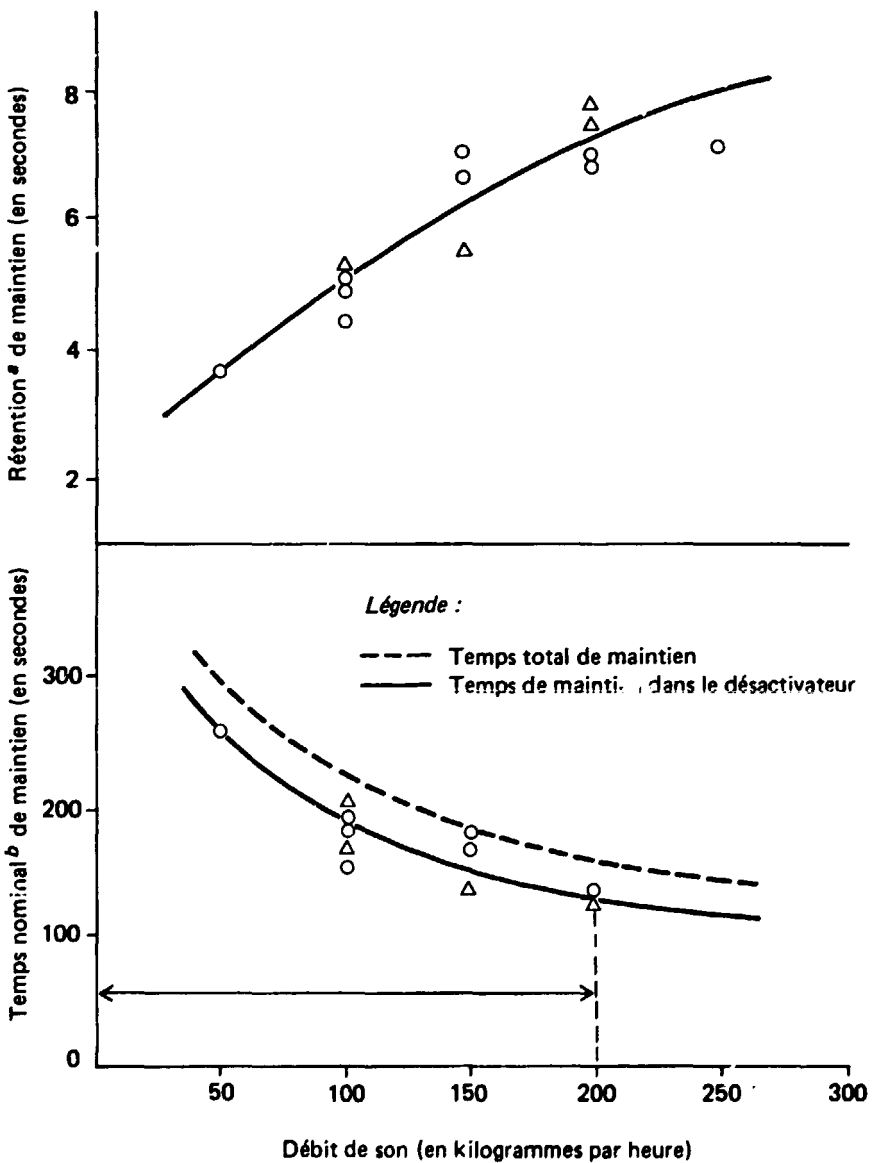
conséquence, le temps de rétention est plus long pour les débits supérieurs, ce qui élargit la gamme opérationnelle de la machine. 155 secondes ont suffi pour détruire entièrement l'activité de peroxydase du son.

Le tableau 10 donne les détails d'exploitation pour un prototype industriel d'une capacité de 500 kg/h.

Cuiseurs à extrusion à injection d'eau ou de vapeur

Outre les cuiseurs à extrusion décrits plus haut, il en existe d'autres types munis de dispositifs qui injectent directement de l'eau ou de la vapeur dans la masse de matière transportée sous pression. Williams et Baer [56] ont utilisé

Figure 20. Stabilisation du son de riz dans un prototype industriel; rétention^a et temps nominal de maintien^b en fonction du débit du son



Source : Fito et autres [83].

^aPoids du son retenu dans le désactivateur.

^bCalculé d'après l'équation $DT = M/F$, M étant le poids de son retenu dans le désactivateur (en kg) et F le débit du son (en kg/s). Le temps de maintien dans le corps de rétention a été de 30 s, par conséquent : $DT \text{ total} = 30 + (M/F)$.

TABLEAU 10. STABILISATION DU SON PAR UN PROTOTYPE INDUSTRIEL DU STABILISATEUR DE L'IATA

Passe n°	Conditions de traitement			Caractéristiques du son stabilisé		
	Débit du son (kg/h)	Vapeur injectée dans le son (kg/h)	Rapport vapeur/ son	Teneur en humidité ^a (pourcentage sur la moule)	Activité de peroxydase ^b	
					Son brut	Son stabilisé
1	290	34	0,117	11,9	12,2	0,00
2	360	36	0,100	12,0	10,6	0,00
3	410	44	0,107	12,7	8,2	0,01
4	470	47	0,100	12,5	11,4	0,00
5	510	55	0,108	12,5	12,5	0,01

Source : Fito et autres [83].

^aTeneur initiale en humidité du son : 12,2-13,2 %, base humide; air de séchage à 115-120 °C; débit d'air : 1 700 m³/h.

^bUnités d'absorption par gramme de son, sur base humide, déterminées selon la méthode employée par Vetter, Steinberg et Nelson [82].

une de ces machines, modèle pilote du cuiseur "Expandar", pour stabiliser du son. L'appareil a un diamètre intérieur de 11,5 cm environ et 1,30 m de longueur. La filière a un orifice unique de 15,88 mm et l'arbre tourne à 216 tr/min, actionné par un moteur de 25 ch. L'injecteur d'eau est placé à 1 m de la sortie et l'injecteur de vapeur 30 cm environ plus loin. Le son sortant de l'usinage est apporté à la machine par un système composé d'une trémie et d'une vis, transporté sur 15 cm environ et reçoit alors une injection d'eau. Après un nouveau déplacement de 75 cm, il reçoit une injection de vapeur. Dans les conditions prescrites par les auteurs, le son acquiert une teneur en humidité de près de 25 % et atteint une température de 115 °C environ par la combinaison de la chaleur de frottement et de celle de la vapeur injectée. La chute de pression qui se produit lors de la décharge du son entraîne une rapide vaporisation de l'eau (qui était restée liquide sous la forte pression régnant à l'intérieur du boîtier) et une expansion du son. Le son perd jusqu'à 25 % de son humidité en se refroidissant instantanément et est enfin ramené à sa teneur finale en humidité dans un séchoir approprié. Les données caractéristiques de la stabilisation du son au moyen de ce type de cuiseur à extrusion sont les suivantes :

Alimentation

Teneur en humidité du son, 9 %
 Capacité de charge, 5,8 kg/h
 Injection d'eau, 10 kg/h
 Injection de vapeur, 4,5 kg/h

Expansion

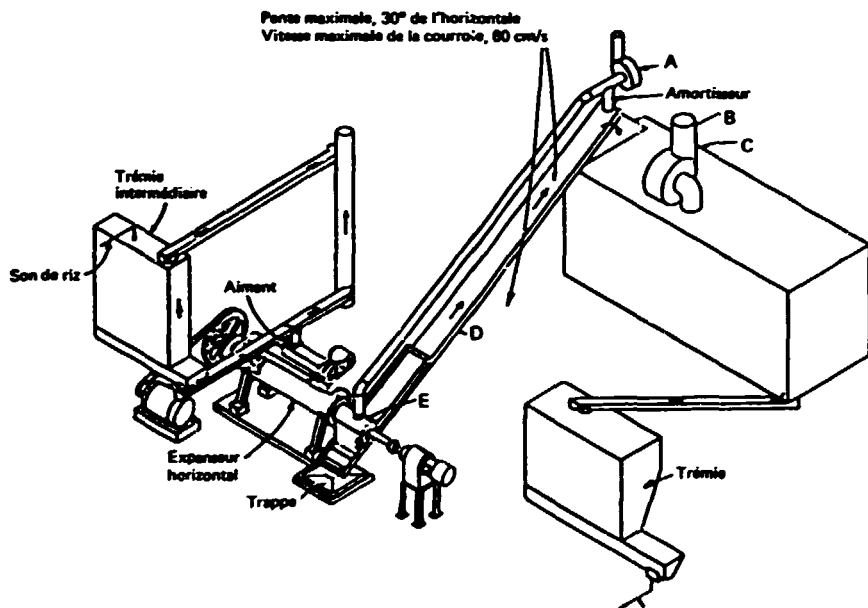
Teneur en humidité du son, 27 %
 Température intérieure, 115 °C
 Température au déchargement, 82,5 °C
 Production, 72,5 kg/h

Spécifications du produit

Teneur en humidité du son, 23 %
 Densité en vrac, 400 kg/m³
 Coefficient d'expansion, 1,24

La figure 21 illustre une installation de ce type. Il existe des installations d'une capacité de 9 à 270 tonnes par 24 heures, voire plus grandes.

Figure 21. Cuiseur à extrusion à injection directe de vapeur et d'eau chaude

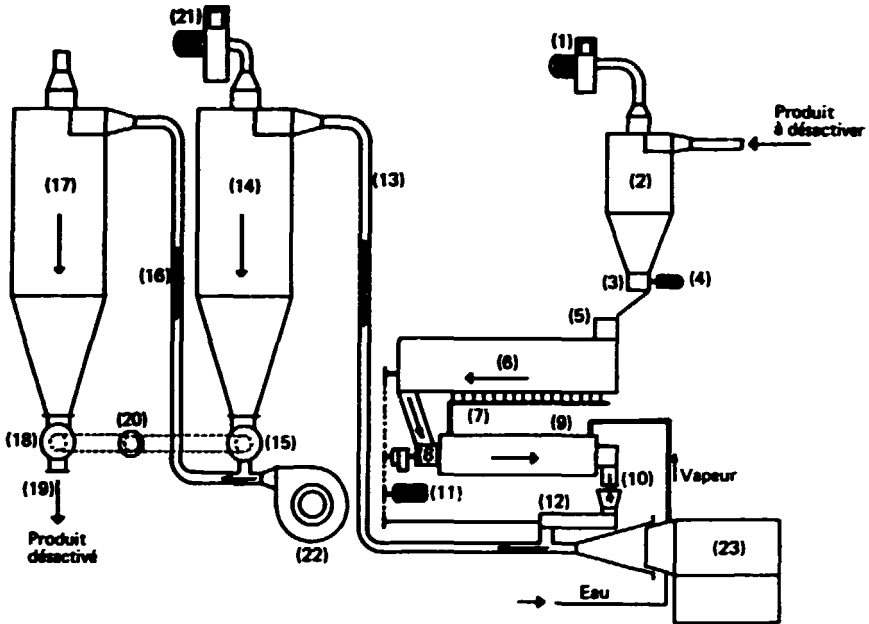


Légende :

- A. Ventilateur aspirant
- B. Ventilateur d'aspiration du séchoir
- C. Séchoir et refroidisseur à air chaud à courroie
- D. Courroie plate de transport à hotte avec auges
- E. Hotte de déchargement

On a conçu, construit et essayé d'autres modèles expérimentaux [11, 83], mais leur emploi dans l'industrie n'a pas été signalé. Filho, Germany et Melo [11] ont décrit un cuiseur à extrusion comportant lui aussi l'emploi direct de vapeur humide (voir figure 22). Il se compose d'un cylindre à double paroi pour le chauffage indirect, de 120 cm de longueur, au diamètre intérieur de 11 cm, muni de vannes d'injection d'eau et de vapeur. Aux endroits de l'arbre où le filetage est interrompu des barres destinées à rompre la masse sont fixées au cylindre. Le cuiseur à extrusion a une filière à six trous de 5 mm de diamètre. L'arbre tourne à 100 tr/min et est actionné par un moteur de 20 ch. Dans l'expérience en question, la teneur initiale en humidité du son était de 11,7 %, et a été portée à 14 % afin d'atteindre un meilleur rendement. La température était d'environ 100 °C-110 °C avant que le son ne quitte la machine. La teneur en humidité du son avant qu'il ne quitte le cuiseur a été ramenée à 12 % et a dû ensuite être abaissée à 9 % par séchage pour permettre un stockage dans de bonnes conditions.

Figure 22. Cuiséur à extrusion expérimental à injection directe de vapeur



Légende :

- A. Alimentation en son
- B. Injection de vapeur
- C. Injection d'eau

- D. Injection de vapeur
- E. Plaques perforées pour la sortie du son
- F. Chemise de vapeur

Source : Filho, Germany et Melo [11].

Critères d'évaluation des méthodes de stabilisation

La stabilisation a en fin de compte pour but de transformer le son en un produit durable dans des conditions d'ambiance et de stockage normales, afin de conserver dans toute la mesure possible de bonnes qualités du produit primitif. La meilleure façon d'évaluer les méthodes de stabilisation consiste par conséquent à mesurer la qualité du produit stabilisé et à déterminer jusqu'à quel point des objectifs du traitement ont été atteints. Un autre critère est celui de la possibilité d'adaptation de la méthode aux besoins de l'industrie, du point de vue technique et économique. Dans certains cas, ces deux aspects sont étroitement liés et ne sauraient être séparés.

La notion de qualité englobe les éléments suivants : a) stabilité du son traité; b) mesure dans laquelle sont conservées les propriétés désirables du son brut; c) amélioration des autres propriétés fonctionnelles du son.

Critères d'évaluation de la stabilité du son traité

Les plus importants de ces critères sont : a) la teneur en humidité et la température; b) l'activité enzymatique résiduelle; c) le nombre total de micro-organismes et, notamment, de moisissures productrices de lipase; d) les autres causes de modification biologique; e) la conservation par le stockage.

Teneur en humidité et température

La bonne conservation par le stockage exige le maintien de la teneur en humidité et de la température au-dessous de certaines valeurs critiques. Un produit est réputé "sec" ou "sain" [84] lorsque, compte tenu de la gamme probable des températures auxquelles il est exposé pendant le stockage et le transport, il n'y a pas risque d'activité métabolique tant soit peu importante du grain lui-même, ni d'attaque par les moisissures ou autres micro-organismes et nuisibles. La gamme des teneurs en humidité qui présentent un risque minimal de modification varie selon l'état du lot de son, et dépend de la température et de la durée du stockage. D'une façon générale, on peut poser qu'une teneur en humidité "sans danger" est au-dessous du niveau auquel elle est en équilibre avec une humidité relative de 65 %. Lorsqu'une méthode de stabilisation exige, pour être efficace, que le son traité ait une teneur en humidité inférieure à celle-là, le son ne saurait être suffisamment stabilisé.

Dans un lot donné de son, les changements périodiques de l'humidité relative de l'atmosphère affectent particulièrement les couches superficielles. Quand le lot est important, l'humidité relative de l'air interstitiel dépend surtout de la teneur en humidité et de la température initiales du son stabilisé. Les gradients d'humidité relative et de teneur en humidité sont déterminés par les différences qui ne cessent de se produire entre la température de la surface et celle de l'intérieur, différences dues aux modifications de la température extérieure et du réchauffement intérieur. L'humidité se déplace vers la zone la plus froide et y fait monter la teneur en humidité.

Les températures élevées du son traité peuvent entraîner des réactions oxydantes dans les graisses pendant le stockage, et en l'absence d'un dispositif de refroidissement il y a risque de combustion spontanée. D'autre part, si le refroidissement est rapide, sans aération, l'humidité relative de l'air interstitiel augmente dangereusement.

En résumé, il faut donc que la température du son à la fin du processus de stabilisation soit le plus proche possible de la température ambiante et que la teneur en humidité soit un peu plus basse que celle qui serait en équilibre avec l'humidité de 65 % relative à la température ambiante. Sans quoi, il faudra soumettre le son à des opérations supplémentaires de séchage ou de refroidissement qu'il y a lieu de prévoir dans le processus général de stabilisation si l'on veut qu'il donne de bons résultats.

Activité enzymatique résiduelle

Dans un son bien stabilisé l'activité de lipase doit être nulle. Cette condition est nécessaire, mais elle peut n'être pas suffisante car il peut rester

d'autres enzymes nuisibles en activité. Comme on l'a déjà vu, la peroxydase est le plus résistant de tous les enzymes végétaux connus. C'est pourquoi la détermination de l'activité de la peroxydase donne une bonne indication du degré de désactivation du son. Si cette activité est nulle, les autres, y compris celles de la lipase, le seront aussi.

Pour déterminer l'activité de lipase dans le son il faut évaluer l'acidité qui se manifeste lorsque l'on laisse le son, ou plutôt un extrait aqueux de son, agir sur de l'huile ou sur un ester d'acide gras dans des conditions déterminées. Une des méthodes [85] consiste à dégraisser le son au moyen d'hexane à 25 °C, à l'extraire ensuite par l'eau distillée, et à mettre une partie aliquote de l'extrait, après centrifugation, en réaction avec le Tween 20¹⁰ à pH 7,2; le pH est réajusté périodiquement au moyen d'alcali pendant 30 minutes et l'on calcule l'activité de lipase d'après le volume consommé. Cette activité s'exprime par unités de lipase par kilogramme de son, une unité étant la quantité de lipase qui catalyse la formation d'un milli-équivalent d'acide par minute. Une autre méthode [46] reposant sur le procédé élaboré par San Clemente et Vadhera [86] consiste à préparer directement l'extrait contenant l'enzyme à partir du son non dégraissé en l'agitant énergiquement avec de l'eau à 4 °C; on laisse une partie aliquote de l'extrait, après passage dans la centrifugeuse, agir pendant 24 heures sur une émulsion aqueuse d'huile d'olive raffinée à pH 8 et 35 °C. Les acides gras ainsi libérés sont évalués au moyen d'alcali, après ajustement du pH à 8,6 sur l'échantillon et sur un témoin. L'activité de lipase s'exprime en micro-équivalents d'acide produits par minute et par centimètre cube de la solution d'enzymes.

La méthode de détermination de la peroxydase employée par Vetter, Steinberg et Nelson [82] donne de bons résultats. Elle repose sur une détermination colorimétrique de la couleur que fait apparaître la *o*-phénylendiamine oxydée par l'enzyme en présence d'eau oxygénée. On prépare un extrait aqueux de l'enzyme à l'aide d'un tampon au phosphate-citrate et l'on ajoute à une partie aliquote du filtrat de l'*o*-phénylendiamine et de l'eau oxygénée, qu'on laisse réagir pendant 5 minutes à 25 °C. On arrête la réaction avec du bisulphite et l'on mesure l'absorption de l'échantillon par rapport à un témoin neutre. Avec le son, il n'y a pas d'interférence due à l'amidon en sorte que les solutions sont tout à fait claires, ce qui simplifie l'épreuve.

La pointe de la courbe d'absorption de la couleur oxydée se situe à 430 nm. La couleur créée par l'*o*-phénylendiamine oxydée est conforme à la loi de Beer-Lambert. L'activité de peroxydase s'exprime en unités d'absorption par gramme de son. Une version simplifiée de cette méthode, dans laquelle la mesure spectrophotométrique est remplacée par une comparaison visuelle entre l'échantillon et le témoin des tubes de Nessler, permet de déceler très rapidement la pression de la peroxydase dans le son. Comme elle peut distinguer facilement entre son activé et désactivé, cette méthode est très utile pour le contrôle en usine de la stabilisation pratiquée industriellement.

Il faut signaler que la détermination des acides gras libres en cours de stockage ne donne pas une mesure exacte de l'efficacité de la stabilisation. D'abord, elle prend beaucoup de temps. Ensuite, l'apparition des acides gras

¹⁰Ester soluble d'acide laurique et de sorbitan polyoxyéthyléné. L'emploi de ce substrat soluble dans l'eau évite les difficultés que présentent d'autres méthodes qui ont recours à l'eau et à l'huile, car le degré de dispersion du substrat joue un rôle important.

dépend de nombreux facteurs dont certains sont exogènes et se manifestent après la stabilisation. D'autre part, la teneur en AGL est un bon indicateur de la qualité des conditions de stockage.

Compte total des micro-organismes et des moisissures producteurs de lipase

On sait très peu de choses sur la destruction parallèle des activités enzymatiques et des micro-organismes et notamment sur la flore caractéristique du son de différentes zones rizicoles ainsi que sur l'identité et la fréquence des moisissures productrices de lipase, sur la résistance de leurs spores à la chaleur, etc. Mais dans les conditions dans lesquelles la peroxydase est détruite dans le son, la microflore est réduite à des niveaux tels qu'il n'y a pas de risque de détérioration à condition de limiter prudemment l'humidité et la température.

La détermination du compte microbien, notamment des moisissures, dans le son stabilisé, rend de grands services pour évaluer une méthode donnée de stabilisation dans certaines conditions locales, tout au moins tant qu'on ne s'est pas familiarisé avec la microflore particulière du lieu.

Autres causes de détérioration biologique

La détérioration du son peut aussi être due à d'autres organismes vivants, dont les plus importants sont les insectes et les mites. Les conditions nécessaires à la désactivation de la peroxydase, notamment par la voie thermique, dépassent toutefois les seuils de résistance de toute forme végétative de ces organismes. Ces causes biologiques peuvent prendre une importance particulière lorsqu'on emploie des agents spécifiques pour détruire les enzymes, et il faut tenir compte de l'éventualité de leur présence.

La conversion du son stocké

Les critères d'évaluation du processus de stabilisation, loin d'être indépendants les uns des autres, sont étroitement liés. Un lot industriel de son qui présente une forte activité résiduelle de lipase peut se conserver longtemps si l'on maintient sa teneur en humidité à un bas niveau et s'il n'y a pas d'infestation biologique. D'autre part, dans des conditions industrielles, les facteurs déterminants du succès de la stabilisation peuvent n'atteindre qu'à peu près les valeurs extrêmes qui sont les plus sûres et les plus favorables lorsque, par exemple, la microflore résiduelle, bien que faible, présente incontestablement un potentiel de croissance. C'est un enchaînement de circonstances qui détermine si les niveaux résiduels de micro-organismes, d'humidité et d'enzymes sont ou non actifs et combien de temps le son stocké se conservera. Enfin, l'efficacité du processus dépend aussi du risque de contamination du son lors d'opérations ultérieures, une fois qu'il aura été traité pour détruire les causes d'altération. Le refroidissement du son traité est une opération très hasardeuse. L'air est un bon vecteur de contamination; le son est comme un filtre qui retient une bonne partie des micro-organismes et des insectes qu'il contient. Les changements de température et d'humidité relative de l'environnement jouent eux aussi un rôle important.

On peut prédire la durée de la conservation du son stocké d'après les valeurs des caractéristiques exposées plus loin (critères a i-iv) compte tenu des risques de recontamination et des conditions de l'environnement local. Bien qu'on ait quelque connaissance de l'influence de ces facteurs, il est bon de procéder à des essais de stockage qui, pour être utiles, doivent remplir deux conditions : premièrement, il faut connaître les caractéristiques qui déterminent la stabilité potentielle du son stabilisé; deuxièmement, il faut vérifier toutes les conditions environnementales qui influent sur la conservation du son stocké. Une troisième condition, facultative mais très à recommander, est que les conditions de l'essai simulent le plus possible celles de l'industrie, ou bien, s'il en est déjà ainsi, qu'elles permettent de prévoir avec une certitude raisonnable le comportement du son dans les conditions locales. Il y a des bibliographies spécialisées qui donnent les nombreux essais effectués sur le stockage du son traité, mais elles ne servent pas à grand-chose car elles ne remplissent pas les conditions énumérées plus haut. Un procédé très répandu d'évaluation d'un processus de stabilisation consiste à effectuer un essai de stockage simple : on suit le développement des acides gras libres — c'est le seul indice de qualité envisagé — et on compare l'échantillon traité et l'échantillon primitif. La différence entre les deux présente peu d'importance pratique et les valeurs acquises par l'échantillon traité dépendent de facteurs non contrôlés : activité initiale de lipase, recontamination, augmentation de la teneur en humidité en cours de stockage, fluctuations de la température, etc. La valeur de cette information dépend aussi de la dimension de l'échantillon, du type de récipient et des circonstances dans lesquelles le son est stocké. Les résultats obtenus sur des échantillons de 250 g logés en sachets de toile et conservés dans des conditions de laboratoire généralement non précisées, mais réputées hygiéniques et aérées, ne sauraient mener par extrapolation à la connaissance de ce que donneraient des conditions industrielles. Ils ne permettent pas de prédire le comportement du son en lots de plusieurs tonnes, logés en sacs de jute probablement réemployés et stockés dans un magasin peu aéré.

En bref, les essais de stockage, loin d'être le moyen le plus simple d'évaluer un procédé de stabilisation, sont des opérations complexes et il faut prendre en considération et vérifier de nombreuses variables si l'on veut que l'essai serve à quelque chose. D'autre part, il est vivement recommandé d'y procéder afin de déterminer la pertinence de tout nouveau procédé de stabilisation dans les conditions locales.

Nous proposons de tenir compte des facteurs ci-dessous :

- a) Caractéristiques du son stabilisé¹¹ :
 - i) Activité résiduelle de lipase¹²;
 - ii) Compte des moisissures;
 - iii) Présence d'insectes;
 - iv) Teneur en humidité;
 - v) Température;

¹¹Il faut analyser le lot pour s'assurer de l'homogénéité de ces caractéristiques.

¹²Il n'est pas nécessaire de déterminer l'activité résiduelle de lipase si l'activité de peroxydase est nulle et s'il n'y a pas de lipases d'origine bactérienne plus résistantes à la chaleur que la peroxydase.

- b) Conditions environnementales et mode de stockage :
- i) Humidité relative;
 - ii) Température;
 - iii) Eclairage;
 - iv) Aération;
 - v) Type de récipient et arrimage;
 - vi) Dimension de l'échantillon;
 - vii) Caractéristiques des locaux où le son est stocké.

Critères d'évaluation de la perte de propriétés utiles du son en cours de stockage

Les plus importants emplois qu'on connaisse du son stabilisé du commerce sont l'extraction d'huile comestible et l'alimentation du bétail. Les possibilités les plus riches de promesses sont l'emploi pour la fabrication de produits alimentaires, voire pharmaceutiques. Le son possède pour chacun de ces emplois des qualités naturelles qu'il importe de conserver et qu'il faut par conséquent contrôler. L'absence de toxicité est une condition préalable de tout emploi pour l'alimentation humaine ou animale.

L'emploi du son source d'huile comestible

Lorsqu'on évalue la perte de qualité par la stabilisation du son destiné à la production d'huile comestible, les principaux critères à prendre en considération sont : a) le rendement total en huile; b) le taux d'extraction; c) le comportement de l'huile brute au raffinage et, notamment, la facilité avec laquelle elle peut être décolorée; d) la dimension des particules.

Il est très important de connaître le rendement total en huile brute. On obtient généralement des valeurs similaires avant et après le traitement stabilisateur.

Le taux d'extraction et la dimension des particules sont des caractères importants car les procédés de stabilisation en usage comportent des éléments susceptibles d'avoir sur eux un effet positif ou négatif. La granulation du son et l'expansion des granules pendant la stabilisation par extrusion peut permettre de se dispenser de granuler ensuite le son pour éviter les fines et améliorer la vitesse d'extraction.

Il importe aussi de savoir comment l'huile se comporte pendant la décoloration. Certaines méthodes de stabilisation, telles que le traitement thermique sans addition d'eau, assombrissent l'huile. On dit qu'ils "fixent" la couleur. Les pigments sont relativement faciles à éliminer au moyen de traitements de neutralisation et notamment de décoloration; mais les produits de dégradation très colorés, qui sont en grande partie responsables de l'assombrissement et de la coloration déplaisante, sont, eux, très difficiles à éliminer. Il est donc plus important de mesurer la couleur de l'huile décolorée que celle de l'huile brute, dans des conditions simulant celles de l'industrie. Les différences de couleur des huiles brutes ne correspondent pas toujours à celles des huiles décolorées. Une fois décolorée, l'huile doit satisfaire aux mêmes spécifications de qualité de l'huile extraite de son brut et non traité lorsque le son vient d'être produit et convenablement raffiné.

La couleur de l'huile est généralement mesurée au moyen d'un Tintimètre de Lovibond [87] en comparant la couleur de l'huile de son (versée dans une colonne en verre de 154 mm de longueur et de 19 mm de diamètre remplie jusqu'à la graduation 133,35) avec la couleur de plusieurs verres témoins en trois séries graduées : jaune, rouge et bleu. Une combinaison de verres rouges et jaunes suffit généralement, les bleus n'étant nécessaires que lorsque l'huile a une nuance verte. Les verres rouges sont étalonnés selon l'échelle de Priest-Gibson N. Les verres jaunes ne le sont pas car l'œil humain ne peut déceler que des variations de jaune relativement importantes, et, pour comparer l'échantillon d'huile, une approximation de la couleur suffit à obtenir une comparaison satisfaisante avec les verres rouges.

La profondeur de la couleur de l'huile de son, comme celle de la plupart des huiles, peut être exprimée de façon satisfaisante en unités de "rouge". Le système Lovibond ne convient toutefois pas pour des huiles très colorées ou pour des couleurs autres que le rouge et le jaune.

On peut aussi mesurer la couleur de l'huile par spectrophotométrie, méthode fréquemment utilisée dans la recherche et pour le contrôle régulier de la production. Le spectre de l'huile à 525-550 nm est non seulement plus réductible que les valeurs de rouge de Lovibond mais encore en rapport avec elles. La méthode de l'American Oil Chemists Society (AOCS) permet de déterminer l'absorption optique de l'huile aux longueurs d'onde de 460, 550, 620 et 670 nm dans des cellules d'un diamètre intérieur de 21,8 mm. Elle emploie pour calculer la couleur photométrique, proche de celle qui s'exprime en unités de rouge de Lovibond, l'équation suivante :

Couleur photométrique = $1,29A_{460} + 69,7A_{550} + 4,12A_{620} - 56,4A_{670}$ où A est la capacité d'absorption [88].

Du point de vue industriel, il est bon de tenir compte de quelques autres caractéristiques du son stabilisé qui pourraient signifier des aspects négatifs du processus de stabilisation. Il s'agit entre autres de la prédisposition du produit aux réactions oxydantes en cours de stockage et de manutention. Dans certaines conditions, la stabilisation peut entraîner une perte importante de tocophérols et de leurs propriétés antioxydantes. Ce phénomène, associé à de faibles teneurs en humidité et à la présence d'oxygène dans le volume considérable de l'air interstitiel, encourage l'oxydation des graisses du son traité. De plus, la stabilisation peut dans certaines machines entraîner la formation de particules de tailles très différentes, voire de gros paquets qui rendent la manutention difficile. Il faut aussi penser aux effets éventuellement nocifs ou désagréables que peut entraîner pour le personnel l'emploi de certains procédés de traitement chimique.

L'emploi du son dans l'alimentation animale

L'intérêt que présente le son comme composant des aliments du bétail est dû à son apport en calories, en protéines et en vitamines. L'importance relative de ces trois éléments diffère selon que le son figure dans la formulation d'aliments dont la composition est étudiée pour assurer une nutrition équilibrée ou bien sert normalement à une alimentation non scientifique du bétail, comme on la pratique dans les campagnes. Dans le premier cas, les vitamines ne

présentent pas une importance capitale, car le son n'est pas là pour remplacer des additifs vitaminés, alors que dans le second il peut jouer un rôle important s'il constitue le seul moyen de satisfaire les besoins en vitamines des animaux. A cet égard, la thiamine et les tocophérols sont nécessaires. Comme ils sont sensibles à la chaleur, un traitement thermique poussé risque d'entraîner des pertes importantes. L'action de SO_2 détruit la thiamine.

Il est peu probable qu'aucun des procédés de stabilisation connus occasionne une perte tant soit peu importante de la valeur énergétique du son¹³.

La valeur en protéines du son dépend de deux facteurs principaux : la concentration totale en protéines et la répartition des acides aminés qui les constituent. La proportion de protéine ingérée qui est effectivement digérée et absorbée dépend pour beaucoup non seulement de la ration de protéines définie par les acides aminés qu'elle contient mais aussi de la présence de ces acides aminés. Les processus de stabilisation, et notamment les procédés thermiques, n'affectent probablement ni la teneur en protéines du son ni le dosage de ses acides aminés. Il se peut toutefois, selon l'intensité du traitement, qu'ils limitent la présence de certains acides aminés. La présence de la lysine donne une bonne indication de la rétention des acides aminés pendant la stabilisation. La lysine est sensible aux conditions nécessaires à la désactivation des enzymes et est surtout un acide aminé qui joue un rôle limitateur dans le son. Or, on possède des méthodes chimiques permettant de constater sa présence.

La présence de lysine peut être déterminée par la méthode directe au fluorodinitrobenzène de Carpenter [90] modifiée par Booth [91]. Elle comporte la conversion des résidus de lysine des groupes epsilon aminés libres des protéines en dérivés jaunes de 2,4 dinitrophényl en les traitant par une solution alcaline de 1-fluoro-2,4 dinitrobenzène (FDNB). Les dérivés du dinitrophényle d'autres acides aminés- α sont solubles dans l'éther (sauf quand ils dérivent de l' α -arginie) et sont éliminés par extraction au moyen de ce solvant, le taux d'absorption de la phase aqueuse résiduelle étant mesuré ultérieurement. L'interférence du dinitrophényle dérivé de l' α -arginie est corrigée en faisant réagir le epsilon-dinitrophényle dérivé de la lysine avec du chloroformate de méthyle (chlorure de méthoxy-carbonyle), ce qui donne un composé qu'on peut extraire par l'éther. Le dinitrophényle dérivé de l' α -arginie reste en phase aqueuse, et l'on mesure de nouveau l'absorption. La lecture initiale moins la lecture finale donne la quantité de epsilon-lysine disponible dans le son.

Références

1. H. S. R. Desikachar, "Preservation of by-products of rice milling", *Proceedings of the International Conference on Rice By-product Utilization*, Valence, 20 septembre-2 octobre, 1974, S. Barber et E. Tortosa, eds. (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de alimentos, 1977), vol. II, p. 1 à 32.
2. K. Takahashi, *Rice Bran Oil*. Brevet japonais n° 35.263, 4 novembre 1919.

¹³Certains auteurs ont suggéré que l'extraction des graisses pourrait accroître la stabilité du son. On ne saurait cependant considérer le dégraissage comme un procédé de stabilisation, sans compter que l'acidification de la graisse résiduaire continue à poser des problèmes dans le son dégraissé, et l'on a fait observer qu'un traitement thermique est nécessaire pour y mettre fin [89].

3. J. L. Gómez Fabra et E. Primo Yufera, "Industrial utilization of the by-products: IX. Stabilization of the germ and the bran", *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química*, Serie B: Química, vol. 49, n° 12 (1953), p. 804 à 808.
4. K. Adachi et Y. Futsuhara, "Effects of radiation on the developing rice embryos: I. Cytohistological and histological observations of irradiated embryos", *Jap. J. Breed.*, vol. 24, n° 1 (1974), p. 31 à 37.
5. J. R. Loeb et N. J. Morris, *Abstract Bibliography of the Chemistry Processing and Utilization of Rice Bran and Rice Bran Oil* (La Nouvelle-Orléans, Southern Regional Research Laboratory, Bureau of Agricultural and Industrial Chemistry, Agricultural Research Administration, Department of Agriculture, 1952).
6. J. R. Loeb, N. J. Morris et F. G. Dollear, "Rice bran oil extraction process", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, n° 26, 1949, p. 738 à 743.
7. Applied Scientific Research Corporation of Thailand (Bangkok, 1976), résultats inédits.
8. W. C. J. Hermans et V. Ratanapunvorakul, *Preliminary Study of Rice Bran Stabilization Methods* (Bangkok, Applied Scientific Research Corporation, 1967).
9. B. P. Panduranga Rao, S. A. Ahmed et S. D. T. Rao, "Factors affecting the free fatty acid changes in rice bran", *Indian Oil and Soap Journal*, vol. 32, n° 37 (1967), p. 203 à 210.
10. S. Chowdhary et R. K. Mukherjee, "Post-heating changes affecting yield and bran quality in rice", *RPEC Report* vol. 4, n° 2 (1978), p. 45 à 48.
11. F. P. Filho, C. J. Germany et G. A. Melo, "Inactivation of lipase of rice bran", *Lavoura Arrozeira*, vol. 27, n° 280 (1974), p. 4 à 11.
12. G. Azeemoddin et autres, "Stabilization of rice bran with sodium metabisulfite", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 56, n° 5 (1979), p. 589.
13. G. W. Arnott et H. K. Lim, "Animal feeding stuffs in Malaysia: 2. Quality of rice bran and polishings", *Malaysian Agricultural Journal*, vol. 45, n° 4 (1966), p. 387 à 403.
14. W. W. Meinke, B. B. Holland et W. D. Harris, "Solvent extraction of rice bran: Production of β -vitamin concentrate and oil by isopropanol extraction", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, octobre 1949, p. 432 à 534.
15. E. I. Sidhom, A. M. El-Tabey Shehata et Z. S. Mohasseb, "Effect of storage conditions on the formation of fatty acids in rice bran", *Alexandria Journal of Agricultural Research*, vol. 23, n° 1 (1975), p. 101 à 107.
16. J. S. Kumar David et autres, "Quality of bran oil as influenced by the conditions of storage of rice bran", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 2, n° 3/4 (1965), p. 113 à 114.
17. H. Diaz Blasco, N. Moundiroff et J. G. Gomez Artero, "Radiation of rice bran with gamma rays", *Revista Argentina Grasas Aceites*, vol. 5, n° 2 (1963), p. 57 à 60.
18. A. S. Roseman et autres, "Gas plasma irradiation of rice: III. influence on brown rice and rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 40, n° 5 (1963), p. 568 à 575.
19. M. B. Hyde et N. J. Burrell, "Some recent aspects of grain storage technology", *Grain Storage*, R. N. Sinha et W. E. Munit, eds. (New York, Avi Publishing, 1973), chap. 14, p. 313 à 365.
20. H. Mitsuda, F. Kawai et A. Yamamoto, "Hermetic storage of cereals and legumes under the water and ground", *Memoirs College Agr. Kyoto University*, n° 100, Food Science and Technology Series No. 1, novembre 1971.

21. H. Mitsuda et autres, "Carbon dioxide gas absorption by cereal grains and its application to packaging", *Journal of the Japanese Society of Food and Nutrition*, n° 25, 1972, p. 627 à 631.
22. H. Mitsuda et autres, "Mechanisms of carbon dioxide gas adsorption by grains and its application to skin-packaging", *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, n° 9, 1973, p. 71 à 83.
23. H. Mitsuda et autres, "Carbon dioxide-protein interaction in a gas-solid phase", *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, n° 21, 1975, p. 151 à 162.
24. S. I. El-Hinnawy, "The effect of gamma radiation on the activity of lipolytic enzymes and oil in rice bran", *Annals of Agricultural Sciences (Le Caire, Université Ain Shams)*, vol. 7, n° 2 (1962), p. 107 à 114.
25. A. S. Roseman et autres, "Gas plasma irradiation of rice: I. Hydration characteristics", *Cereal Chemistry*, vol. 38, n° 5 (1961), p. 423 à 431.
26. J. T. Hogan et A. S. Roseman, "Gas plasma irradiation of rice: II. Effect of heat on hydration and cooking characteristics", *Cereal Chemistry*, vol. 38, n° 5 (1961), p. 432 à 438.
27. C. A. Browne, Jr., "Characteristics of rice oil", *Journal of the American Chemical Society*, n° 25, 1905, p. 948 à 954.
28. M. Pe, "Rice bran oil technology", Communication au Séminaire interrégional sur le traitement industriel du riz, Madras (Inde), 1971.
29. P. A. West et A. O. Cruz, "Philippine rice-mill products with particular reference to the nutritive value and preservation of rice bran", *Philippine Journal of Science*, vol. 52, n° 1 (1933), p. 1 à 76.
30. R. S. Jaganmohan et autres, "A rice stabilizer for rice mills", *Research and Industry (New Delhi)*, vol. 23, n° 2 (1978), p. 88 à 91.
31. Instituto de Investigaciones Tecnológicas, "Production of oil from rice bran", *Arroz*, Colombie, vol. 9, n° 107 (1961), p. 8 à 13.
32. E. I. Sidhom, A. H. El-Tabey Shehata et Z. S. Mohasseb, "The influence of certain heat and chemical treatments upon the formation of free fatty acids during storage of rice bran", *Alexandria Journal of Agricultural Research*, vol. 23, n° 1 (1975), p. 93 à 100.
33. B. N. Srimani et autres, *Stabilization of Rice Bran in a Closed Circuit Fluidized Bed Heat Transfer System*, Rapport final sur le projet CSR n° 4, Université de Jadavpur (Inde), 1972.
34. B. N. Srimani, P. Chattopadhyay et A. N. Bose, "Stabilization of rice bran: II. Design of a moving bed continuous rice bran drier", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization*, Valence, 30 septembre-2 octobre 1974, S. Barber et E. Tortosa, eds. (Valence, Institut de Agroquímica y Tecnología de alimentos, 1977), p. 39 à 48.
35. P. Ramkrishniah, S. K. Sawar'kar et P. Sen, "Stabilization of rice bran in a stirred fluid bed", *Riso*, vol. 22, n° 2 (1973), p. 185 à 190.
36. C. S. Viraktamath et H. S. R. Desikachar, "Inactivation of lipase in rice bran in Indian rice mills", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 8, n° 2 (1971), p. 70 à 74.
37. P. K. Ramanathan, H. Krishna et D. P. Sen, "Stabilization of rice bran by moist heat and rice bran oil", *Comptes rendus du Séminaire sur l'huile de son de riz comestible*, 23-26 novembre 1977 (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), p. 75 à 78.

38. P. Pillaiyar, M. D. Yusuff et R. V. Narayanasamy, "Hot air stabilizer for rice bran", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 10, n° 4 (1978), p. 151 à 153.
39. Kem Chand et C. P. Gupta, "Stabilization of rice bran", Communication au Séminaire sur la modernisation de l'usinage du riz, Calcutta, septembre 1974.
40. Kem Chaud et C. P. Gupta, "Design of rice bran stabilizer", *RPEC Reporter*, vol. 1, n° 1 (1975), p. 39 à 40.
41. H. S. Cheigh, "The LEC program in Korea" *Low-cost Extrusion Cookers: Second International Workshop Proceedings*, 15-18 janvier 1979, Dar es Salaam (Tanzanie), LEC Report No. 7 (Fort Collins, Colorado State University, 1979), p. 115 à 120.
42. S. H. C. Lin et C. M. Cater, "Effect of extrusion-cooking on the formation of free fatty acids in rice bran", résultats inédits (1979).
43. J. R. Loeb et R. Y. Mayne, "Effect of moisture in the microflora and formation of free fatty acids in rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 29, n° 3 (1952), p. 163 à 175.
44. K. Yokochi, "Rice bran processing for the production of rice-bran oil and rice-bran protein meal", communication à la réunion du Groupe d'experts chargé d'examiner les problèmes de préinvestissement et les critères techniques et économiques de la production dans l'industrie des graines oléagineuses. Vienne (Autriche), 16-20 octobre 1972 (ID/WG.120/9/Rev.1 et résumé).
45. P. N. Srinivasa Rao et autres, "Pilot plant studies on the stabilization of bran: Pneumatic conveying drying", *Indian Chemical Engineer*, n° 7, 1965, p. 72 à 76.
46. B. N. Srimani, P. Chattopadhyay et A. N. Bose, "Stabilization of rice bran: I. Direct measurement of the lipase activity in rice bran and the methods for the inactivation of the same", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization*, Valence, 30 septembre-20 octobre 1974, S. Barber et E. Tortosa, eds. (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de alimentos 1977), vol. II, p. 33 à 38.
47. V. Subramanyan et autres, "Rice bran stabiliser", *Proceedings of the Fourth Meeting of the Rice Coordination Committee, New Delhi*, juillet 1974.
48. G. Sivarami Reddy et autres, "A stabilizer for rice bran", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 6, n° 4 (1974), p. 99 à 100.
49. M. Kuppuswamy, "Low-cost rice bran processor for rural regions", Comptes rendus du séminaire sur l'huile de son du riz comestible, Bombay, 23-26 novembre 1977 (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), p. 81 à 82.
50. Projet de rapport final de la réunion d'experts sur l'étude et la réalisation d'un petit stabilisateur bon marché de son de riz, Vienne (Autriche), 6-10 décembre 1976 (ID/WG.240/2).
51. Research and development of a small-scale, low-cost rice bran stabilizing unit, comptes rendus du séminaire sur l'huile de son du riz comestible, Bombay, 23-26 novembre 1977 (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), p. 33 à 40.
52. Applied Scientific Research Corporation of Thailand, "Draft study on the definition of the most suitable rice bran stabilizing technology, its verification and the specification of its technical parameters", communication à la réunion d'experts sur l'étude et la réalisation d'un petit stabilisateur bon marché de son de riz, Vienne (Autriche), 6-10 décembre 1976 (ID/WG.240/2).
53. A. Salgado de Oliveira, "Rice-bran enzyme inactivating equipment" (communication privée, 1976).

54. S. Lakshminarayanan, "Rice bran stabilizer", Comptes rendus du séminaire sur l'huile de son du riz comestible, Bombay, 23-26 novembre 1977 (Bombay, Solvent Extractors' Association of India), p. 20.
55. S. Bal, S. K. Savarkar et S. K. Bhati, "Development of a rice bran stabilizer using combined phase fluidized bed method of heat transfer", Comptes rendus du séminaire sur l'huile de son du riz comestible, Bombay, 23-26 novembre 1977 (Bombay, Solvent Extractors' Association of India).
56. M. Williams et S. Baer, "The expansion and extraction of rice bran", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 42, n° 2 (1965), p. 151 à 155.
57. I. S. Pablo et A. V. Sangalang, "The effect of extrusion-cooking on the formation of free fatty acids in rice bran" (Manille, Université féminine des Philippines, 1978).
58. S. Mukhopadhyay, "Low cost cooker use in India", *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado*, 2-5 juin 1975 (Fort Collins, Colorado State University, 1976), p. 85 à 91.
59. A. Bhumiratana, "LEC activities in Thailand: Low-cost extrusion cookers", *Second International Workshop Proceedings, Dar es Salaam (Tanzanie)*, 15-28 janvier 1979, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1979), p. 225 à 234.
60. J. M. Harper et autres, *Evaluation of Low-cost Extrusion Cookers for Use in LDCs: Annual Report*, LEC Report No. 4 (Fort Collins, Colorado State University, 1978).
61. R. N. Sayre, *Review on Rice Bran Stabilization Systems with Emphasis on Extrusion Cooking* (Albany, California, Western Regional Research Centre, Department of Agriculture, 1980).
62. R. V. Enochian et autres, *Stabilization of Rice Bran with Extrusion Cookers, and Recovery of Edible Oil: A Preliminary Analysis of Operational and Financial Feasibility* (Albany, California, Western Regional Research Centre, Department of Agriculture, 1980).
63. H. S. Cheigh, C. J. Kim et D. C. Kim, Communication au colloque sur les récents progrès des sciences et techniques alimentaires, Taipei, 9-11 janvier 1980.
64. R. E. Tribelhorn, "Colorado State University extrusion facilities and systems", *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado*, 2-5 juin 1976, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1976), p. 35 à 41.
65. M. Van Peurse, "Manufacturer's experience with LEC's the Brady crop cooker", in *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado*, 2-5 juin 1976, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1976), p. 29 à 30.
66. J. Jackson, "Research to improve manufacturing operations", *Low-cost Extrusion Cookers: International Workshop Proceedings, Fort Collins, Colorado*, 2-5 juin 1976, LEC Report No. 1 (Fort Collins, Colorado State University, 1976), p. 150.
67. J. L. Smith, J. D. Kellerby et R. E. Tribelhorn, "Mechanical evaluation of Brady crop cooker", *Special Report: Evaluation of Low-cost Extrusion Cookers for the Use in LDCs*, LEC Report No. 5 (Fort Collins, Colorado State University, 1978).
68. R. L. Roberts et autres, "Steam blanching of fresh rough rice curbs spoilage by fatty acids", *Food Industries*, n° 21, 1949, p. 1 042.
69. D. F. Houston, J. R. Hunter et E. B. Kester, "Effect of steaming fresh paddy rice on the development of free fatty acids during storage of brown rice", *Cereal Chemistry*, 1951, p. 394 à 399.

70. F. Gariboldi, "L'étuvage du riz", collection Progrès et mise en valeur, *Agriculture*, n° 97 (Rome, FAO, 1974).
71. Nawab Ali et T. P. Ojha, "Parboiling", *Rice: Postharvest Technology*, E. V. Araujo, D. B. de Padua et M. Graham, eds. (Ottawa, Centre international de recherche sur le développement, 1976), p. 164 à 204.
72. S. Bal, N. Ali et T. P. Ojha, *Parboiling of Paddy*, RPEC Publication No. 745 (Kharagpur, Inde, Indian Institute of Technology, 1974).
73. N. G. C. Iengar et autres, *Effect of Pressure Parboiling of Paddy on the Preservability of Bran Produced*, 1978.
74. P. S. Sarda, "Processing rice bran oil of edible grade", comptes rendus du séminaire sur l'huile de son de riz comestible, Bombay, 23-26 novembre 1977 (Bombay Solvent Extractors' Association of India).
75. V. Ratanapunvorakul et W. C. J. Hermans, "Report No. 3: Further studies on rice bran stabilization methods" (Bangkok, Applied Scientific Research Corporation of Thailand, 1968).
76. W. C. J. Hermans, N. Pichitakul et K. Bhuntumkomol, *Rice Bran Stabilization by Steaming: Pilot Plant Experiments*, rapport n° 4 (Bangkok, Applied Scientific Research Corporation of Thailand, 1970).
77. C. S. Viraktamah, "Large scale trials for stabilization of rice bran with steam", *Journal of Food Science and Technology* (Mysore, Inde) vol. 11, n° 4 (1974), p. 191 à 193.
78. H. L. Burns et M. M. Cassidy, *Method of Treating Rice Bran and Rice Polish*, brevet des Etats-Unis 2, 563, 798.
79. K. Yokochi, "Rice bran processing for the production of rice bran oil and characteristics and uses of the oil and deoiled bran", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization*, Valence, 30 septembre-2 octobre 1974, S. Barber et E. Tortosa, eds. (Valence, Instituto de Agroquímica y tecnología de alimentos, 1977), vol. III, p. 1 à 38.
80. K. Yokochi, "Installation for the stabilization of rice bran" (communication personnelle, 1976).
81. S. Banarjee, "Design of rice bran stabilizer", comptes rendus au Séminaire sur l'huile de son de riz comestible, Bombay, 23-26 novembre 1977 (Bombay, Solvent Extractors' Association of India).
82. J. L. Vetter, M. P. Steinberg et A. I. Nelson, "Quantitative determination of peroxidase in sweet corn", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 6, n° 1 (1958), p. 39.
83. P. J. Fito et autres, "Process for the stabilization of rice bran: II. Development of pilot plant and industrial equipment", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization*, Valence, 30 septembre-2 octobre 1974, S. Barber et E. Tortosa, eds. (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de alimentos, 1977), vol. II, p. 63 à 72.
84. Norme internationale ISO 6322/1, Stockage des céréales et des légumineuses. Partie I; Considérations générales sur la conservation des céréales (1981).
85. D. F. Houston, R. L. Roberts et E. B. Kester, "Method of measurement of lipase activity in rice bran", *Rice Journal*, vol. 28, n° 4 (1951), p. 29 à 30.
86. C. L. San Clemente et D. V. Vadhera, "Instrumental assay of microbial lipase of constant pH", *Applied Microbiology*, vol. 15, n° 1 (1967), p. 110.

87. American Oil Chemists Society, "Color. Wesson method using color glasses calibrated in accordance with the AOCS tintometer color scale", AOCS official method CC 13-b-45, *Official and Tentative Methods of the American Oil Chemists Society* (Chicago, 1974).
88. American Oil Chemists Society, "Color, photometric method", AOCS official method cc 13-c-50, *Official and Tentative Methods of the American Oil Chemists Society* (Chicago, 1974).
89. L. Lynn, R. M. Anderson et D. L. Carpenter, "New X-M rice bran: Entirely new basic raw material now available to food processors", *Cereal Science Today*, vol. 12, n° 6 (1967), p. 221 et 222.
90. K. J. Carpenter, "The estimation of the valuable lysine in animal-protein foods", *Biochemical Journal*, n° 77, 1960, p. 604.
91. V. H. Booth, "Problems in the determination of FDNB-available lysine", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, n° 22, 1971, p. 658 à 666.
92. S. Barber et autres, "Process for the stabilization of rice bran: I. Basic research studies", *Proceedings of the International Conference on Rice By-products Utilization*, Valence, 30 septembre-2 octobre, 1974, S. Barber et E. Tortosa, eds. (Valence, Instituto de Agroquímica y tecnología de alimentos, 1977), vol. II, p. 49 à 62.

VI. Le stockage du son de riz

Le stockage en pratique

Le son de riz est un produit qui, dans des conditions normales, se détériore assez rapidement et qu'il faut par conséquent stocker le moins longtemps possible avant de le consommer ou de le soumettre à un nouveau traitement industriel (surtout pour la production d'aliments du bétail ou l'extraction d'huile). Or, en pratique, les circonstances diffèrent beaucoup d'une région à l'autre et le temps qui s'écoule entre la production du son à la rizerie et sa consommation ou son emploi ultérieur peut aller de quelques heures à quelques mois. Dans nombre de zones rurales, le son est produit dans une petite installation locale, vendu ou réparti quotidiennement, et consommé le même jour ou le lendemain. Il en va de même des installations d'extraction qui font partie des grandes rizeries. Dans d'autres zones, toutefois, qui sont situées loin des centres de production, comme celle de Bombay, le son traité a été produit plusieurs mois plus tôt. Il est recueilli par petits lots dans de petites installations villageoises par des intermédiaires, transporté sur 200 à 400 kilomètres, distribué le plus tôt possible aux usines d'extraction et, ensuite, quelques jours peuvent très bien se passer avant qu'on le traite. C'est dire que même compte tenu du fait que la rizerie, les intermédiaires et les utilisateurs s'efforcent de réduire les délais au minimum, en pratique le son devra quand même être stocké. Et comme le produit est instable, il subira des changements même pendant un stockage très bref.

Le son étant un sous-produit, il faut l'expédier ou le consommer rapidement, et comme la technique en est encore à ses débuts, on le stocke généralement un peu n'importe comment. Après son passage par les machines à blanchir, on le laisse s'accumuler, parfois simplement entassé sur le sol ou transporté dans un magasin ou un silo dans les grandes installations.

Le stockage en silos occasionne d'ordinaire des difficultés parce que le son a tendance à se prendre en masses et à obturer la sortie. On voit souvent sur les parois du silo ou du magasin, près de la sortie, les traces des coups de bâtons donnés par les ouvriers pour détacher le son.

Le son est déchargé directement du magasin ou du silo dans des camions qui le transportent en vrac. Dans de nombreuses régions, le son est d'ordinaire manutentionné et transporté en sacs. Le sac joue un rôle économique et social important en raison de la main-d'œuvre qu'il nécessite et, aussi, parce qu'il contribue à la conservation du son.

Les facteurs qui agissent sur la transformation du son

Dans la pratique industrielle et commerciale, un lot de son constitue un écosystème très complexe. Il contient le germe de la semence, qui conserve ses

facultés respiratoires et germinatives. Il contient aussi des fragments de tissus contenant un grand nombre d'enzymes très actifs. Sa structure cellulaire est en grande partie détruite, ce qui permet à ses éléments constitutifs d'entrer en contact les uns avec les autres et avec l'oxygène du vaste volume d'air interstitiel qui l'environne. Le contenu microbien est généralement important. Le son transporte aussi des œufs d'insectes ou diverses espèces d'insectes adultes. Les activités biologiques internes et externes et les réactions chimiques qui peuvent en résulter dépendent de plusieurs facteurs. Les plus importants sont: *a)* la teneur en humidité; *b)* la température; *c)* le temps; *d)* la composition de l'atmosphère interstitielle; *e)* les caractéristiques physiques et chimiques des particules de son et les relations qui s'établissent entre elles. L'humidité, qu'il s'agisse de l'humidité relative ou de l'activité de l'eau, joue un rôle essentiel, qu'il faut connaître si l'on veut bien comprendre le comportement du son en cours de stockage. C'est pourquoi nous commencerons par le rôle de l'eau l'étude des modifications qui se produisent dans le son.

Le rôle de l'eau : isothermes de sorption

Les molécules d'eau peuvent former des ponts d'hydrogène¹: *a)* entre d'autres molécules d'eau pour former des agrégats caractéristiques de l'état liquide ou les structures cristallines caractéristiques de la glace; *b)* entre les groupes organiques polaires (-OH, -COOH, -NH) [voir figure 1]. Ces derniers se trouvent fréquemment dans le son, l'amidon et les sucres, qui en sont les principaux éléments constitutifs, sont caractérisés par la présence d'un grand nombre de groupes d'hydroxyle; les protéines, autre élément important du son, contiennent elles aussi de nombreux groupes polaires et ioniques dans leurs chaînes latérales d'acides aminés (-OH, =NH, -NH₂, -NHCNHNH₂, -COOH, -CONH₂) qui tous peuvent être associés par la formation de liens d'hydrogène. L'eau peut également former des structures autour de groupes non polaires ($\equiv\text{CH}$, $=\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$) pour lesquelles elle ne manifeste pas d'affinité; les groupes polaires, reliés à l'eau par des liens d'hydrogène, repoussent les groupes non polaires dans des zones exemptes d'eau à l'intérieur de la macromolécule. L'affinité d'une substance biologique pour l'eau dépend du rapport entre le nombre des groupes polaires et celui des groupes non polaires, de sa facilité d'accès et de son orientation.

La courbe dite de sorption donne une représentation graphique de l'affinité de l'eau pour le son (voir figure 2). La courbe représente la quantité d'eau adsorbée par une substance (le son) à une température constante prédéterminée (d'où le mot "isotherme") en fonction de l'humidité relative de l'atmosphère en équilibre avec le produit.

On peut aussi l'exprimer comme une fonction de l'activité de l'eau ou de la pression d'équilibre de la vapeur. L'activité de l'eau $a_w = p/p_0$ est une fonction de l'humidité relative en équilibre avec le produit (RHE) où p est la pression de vapeur exercée par l'eau dans la substance à une température prédéterminée, et

¹La liaison par liens d'hydrogène électrostatique peut se former entre un atome électriquement négatif (O, N, F, S, Br, I, Cl) qui possède une paire supplémentaire d'électrons, appelé le donneur, et un atome d'hydrogène dénommé le récepteur. Il s'agit d'un lien faible de basse énergie (17-46 kJ/mole) en comparaison du lien covalent (environ 419 kJ/mole).

Figure 1. Liens d'hydrogène entre l'eau et divers groupes fonctionnels

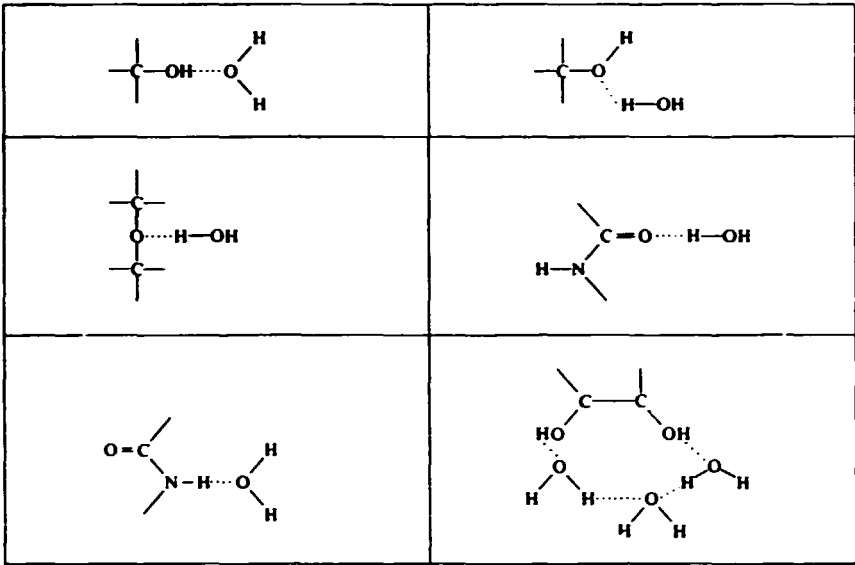
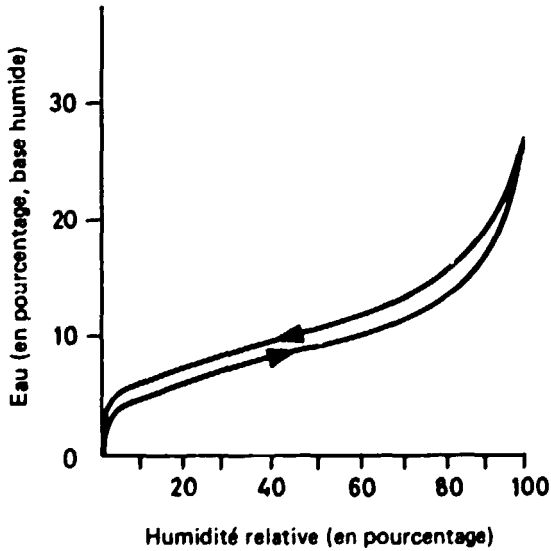


Figure 2. Isothermes de sorption et de désorption caractéristiques du son de riz (hypothétiques)



p_0 la pression de saturation de la vapeur de l'eau à la même température. a_w et RHE n'ont pas la même signification : RHE désigne la phase gazeuse et a_w la phase condensée.

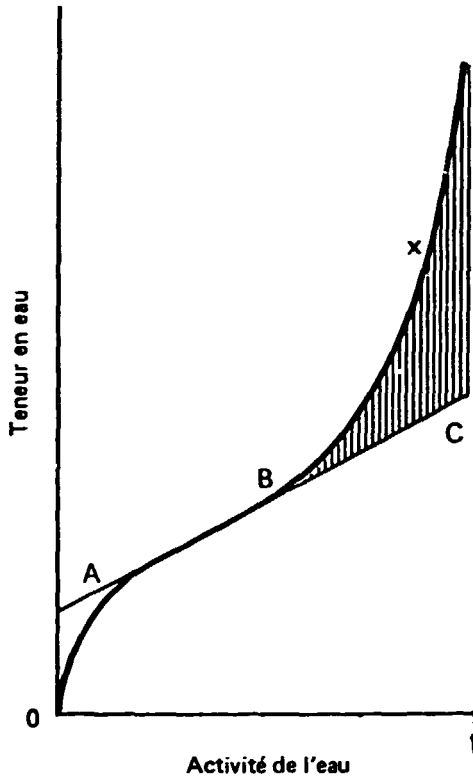
L'isotherme de sorption caractéristique a la forme d'un sigmoïde. Il comprend trois parties bien définies : l'une dans laquelle a_w est entre 0 et 0,10 environ, et dans laquelle on suppose que les molécules d'eau sont fortement liées aux centres polaires libres et accessibles; une deuxième partie dans laquelle a_w se trouve à peu près entre 0,10 et 0,65, ce qui correspond à la partie droite de la ligne et où l'on suppose que les molécules d'eau s'attachent aux précédentes ou aux centres polaires rendus accessibles par la structure du substrat; une dernière partie où les valeurs de a_w sont supérieures à 0,65 et où la pente est accusée, ce qui suppose une accumulation de molécules supplémentaires d'eau dans les structures secondaire et tertiaire des macromolécules qui résulte aussi des effets capillaires et osmotiques aux valeurs élevées de a_w ; dans cette zone, les molécules d'eau sont douées d'une grande mobilité. Multon et Bizot [1] signalent que Guilbot et Lindenberg [2] ont montré que la différence d'ordre de grandeur entre la partie sigmoïde et la prolongation de la partie droite (zone hachurée de la figure 3) représente la fraction de l'eau adsorbée retenue par des liens de faible énergie possédant des propriétés de solvants. L'ordonnée de la partie droite extrapolée en $a_w = 1$ représente de l'eau fortement liée, sans pouvoir solvant.

Les courbes de sorption et de désorption ne coïncident pas (voir figure 2). La dernière se déplace vers l'origine des coordonnées. La teneur en humidité correspondant à une humidité relative donnée peut avoir l'une des deux valeurs, selon que la matière acquiert ou perd de l'humidité. Pour un même RHE, le son, comme d'autres produits des céréales, a une teneur en humidité moins élevée quand on le sèche que quand il acquiert de l'humidité. Ce phénomène, connu sous le nom d'hysteresis, peut représenter des différences de 1 à 2 points de pourcentage pour une valeur quelconque de RHE. Dans certains cas, il importera donc de savoir si les chiffres portent sur la sorption ou la désorption.

Si l'on prend en considération non pas une température unique, mais une gamme de températures, on obtient une série de courbes d'isothermes (voir figure 4). La pression de vapeur exercée par la teneur en humidité du produit change de façon telle que l'humidité atmosphérique ambiante représente une fraction presque constante de celle d'une atmosphère saturée à cette température. A mesure que la température monte, l'affinité du son pour l'eau décroît. En conséquence, quand on chauffe le son, il perd de l'eau et, inversement, quand on le refroidit il en adsorbe.

Dans les conditions que représente la partie terminale de la courbe d'isothermes, qui commence par des valeurs de a_w de 0,75 et 0,80 environ, le stockage présentera des risques. A partir de ce moment, il y aura de l'eau et les micro-organismes pourront s'en servir, ce qui facilitera leur prolifération. Au-dessus d'une valeur de a_w de 0,75, les moisissures se développent rapidement et produisent de la chaleur, ce qui augmente les possibilités de détérioration. Pour éviter tout risque, il faut donc maintenir a_w au-dessous de 0,75. A quelques exceptions près, il n'y aura pas de réaction enzymatique (sauf pour la lipase) ni de croissance bactérienne importante sans un minimum d'eau solvante.

Figure 3. Courbe de sorption montrant la présence d'eau solvante



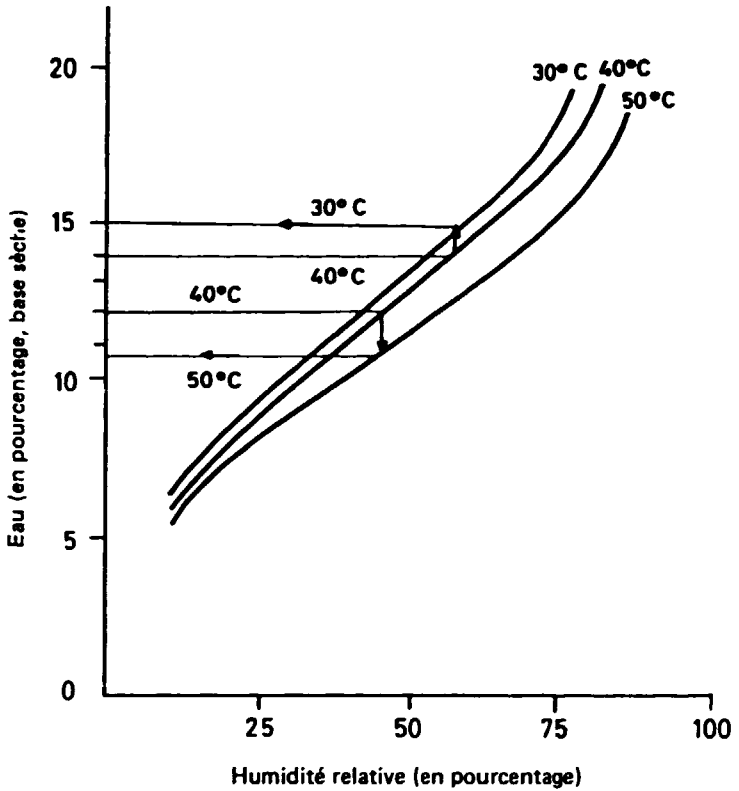
Légende :

- A. Point correspondant à la quantité d'eau fortement liée
- B. Point d'apparition de l'eau solvante
- C. Point correspondant à la quantité totale d'eau non solvante
- E. Eau présente

Source : Guilbot et Lindenberg [2].

Si l'emballage n'est pas étanche à l'humidité, le produit peut perdre ou absorber de l'eau; dans le premier cas, il y aura perte de poids, et dans le second, si a_w dépasse 0,75, il y aura risque de dégradation. D'autre part, si l'emballage est étanche à l'humidité, on évitera la perte de poids, mais, en cas de chute de la température, RHE augmentera et, selon la quantité, pourra entraîner une condensation. Des problèmes similaires peuvent se poser quand les produits sont stockés dans des silos ou des magasins. La condensation sur les parois ou sur le produit lui-même augmente l'activité de l'eau dans la région et, par conséquent, aggrave le risque de dégradation. Lorsque l'air interstitiel se déplace à partir d'une zone chauffée pour gagner une zone plus froide, ce qui fait partie du circuit naturel de convection, il abandonne son humidité au produit. Ces transferts d'humidité occasionnent souvent la moisissure et l'agglutination au sommet du son stocké en vrac.

Figure 4. Isothermes de désorption pour le blé à différentes températures



Source : Multon et Bizot (1).

Température

La température joue pour le stockage du son un rôle aussi important que la teneur en humidité. Elle agit sur tous les modes de réaction chimique. Le taux d'une réaction chimique est proportionnel non pas au nombre total de molécules présentes, mais au nombre de celles qui possèdent l'énergie d'activité requise pour la réaction. Cette énergie dépend de la température. L'équation d'Arrhenius $k = A \exp(-\Delta E/RT)$ met en relation trois facteurs importants : le taux de réaction (par la constante k), l'énergie d'activation E et la température absolue T (R est la constante universelle de gaz). L'équation indique que la relation entre k et T est du type exponentiel, ce qui souligne l'effet de T . La forme logarithmique de l'équation

$$\log k = \frac{-E}{2,303 R} \times \frac{1}{T} + \log A$$

indique que le logarithme de k est inversement proportionnel à T . L'équation d'Arrhenius exige donc que la courbe de $\log k$ par rapport à $1/T$ soit une ligne droite. Les réactions qui ont lieu dans les produits alimentaires répondent généralement à cette exigence sur une gamme intermédiaire de températures, tout en manifestant des déviations aux températures plus extrêmes. Lorsqu'on trace la courbe de k en fonction de $1/T$, la pente de la ligne est égale à $-E/2,303 R$, à partir de quoi on peut facilement calculer l'énergie d'activation E .

Pour exprimer l'effet de la température sur le taux des réactions enzymatiques il est d'usage d'employer le terme Q_{10} , qui se définit comme le rapport entre le taux de réaction à la température $T + 10$ et le taux de réaction à la température T , rapport qui a une valeur proche de 2, ce qui indique que le taux de réaction double à peu près pour chaque augmentation de 10 k de la température, tout au moins dans la gamme des températures intermédiaires, où le temps de réaction n'entraîne pas de dégradation sensible.

Dans de nombreuses régions rizicoles, la température ambiante atteint des niveaux relativement élevés, avec des maxima dépassant 40 °C à l'ombre, dans la gamme des températures intermédiaires. A de tels niveaux, les modifications du taux de réaction provoquées par les fluctuations de température qui peuvent se produire en pratique sont déjà considérables. La température joue donc un rôle décisif dans les transformations chimiques enzymatiques et biologiques du son que nous décrirons plus loin.

Autres facteurs

Bien que l'eau et la température soient les facteurs les plus importants des changements qui se produisent dans le son, ainsi que le temps qu'il faut aux réactions pour se produire, d'autres facteurs, tels que la composition de l'atmosphère interstitielle et la dimension des particules, méritent eux aussi d'être signalés.

La composition de l'atmosphère interstitielle est importante car elle intéresse la quantité d'oxygène présent. L'oxygène participe à certaines réactions enzymatiques; dans l'oxydation purement chimique, il détermine la nature aérobie ou non du métabolisme des micro-organismes et exerce une influence sensible sur la survie des insectes. La concentration d' O_2 , combinée avec la proportion de CO_2 ou de N_2 dans l'atmosphère, fournit un moyen de combattre les insectes.

On n'a pas étudié le rôle de la dimension des particules dans les réactions qui caractérisent les modifications du son de riz. Ce rôle est cependant important. L'usinage brise les barrières naturelles qui protègent les lipides de la lipase dans le caryopse. La structure cellulaire des couches extérieures du grain est détruite et le frottement des particules met en contact étroit les éléments constitutifs ainsi libérés. La surface du son exposée à l'oxygène de l'atmosphère interstitielle favorise les réactions oxydantes qui ne sont gênées que par des antioxydants naturels, les tocophérols; or ces derniers sont perdus. Dans ce contexte, les variations de la dimension des particules auxquelles on peut s'attendre dans la pratique industrielle paraissent n'affecter que le taux des changements et non leur nature; c'est ce qui explique peut-être les différences

considérables entre les valeurs publiées au sujet de certaines modifications du son.

La conductivité thermique est, elle aussi, un facteur dont il faut tenir compte. Celle du son est très faible et encourage l'accumulation de chaleur (ce qui facilite la formation de foyers thermiques lorsque des modifications se produisent). Cette faible conductivité signifie que les fluctuations de la température extérieure ne risquent guère d'atteindre l'intérieur du son stocké en vrac; le son est d'ailleurs beaucoup moins stocké en vrac que le riz.

Causes des modifications du son

Les modifications du son peuvent avoir une origine chimique, enzymatique ou biologique; dans ce dernier cas, elles sont surtout dues aux micro-organismes, aux insectes et aux rongeurs.

Réactions chimiques

Dans des conditions de stockage normal, les réactions chimiques ne présentent qu'une importance limitée lorsqu'il s'agit de son brut. Elles peuvent être plus marquées dans le son provenant de riz étuvé, notamment en ce qui concerne les modifications oxydantes des lipides en milieu très sec, car la présence de l'eau confère une certaine protection. Les réactions de Maillard exigent généralement une température élevée et une longue durée du stockage. Dans ce dernier cas, elles peuvent se produire aux températures supérieures à 20 °C, a_w étant entre 0,5 et 0,75, mais elles sont moins probables aux valeurs supérieures de a_w [1].

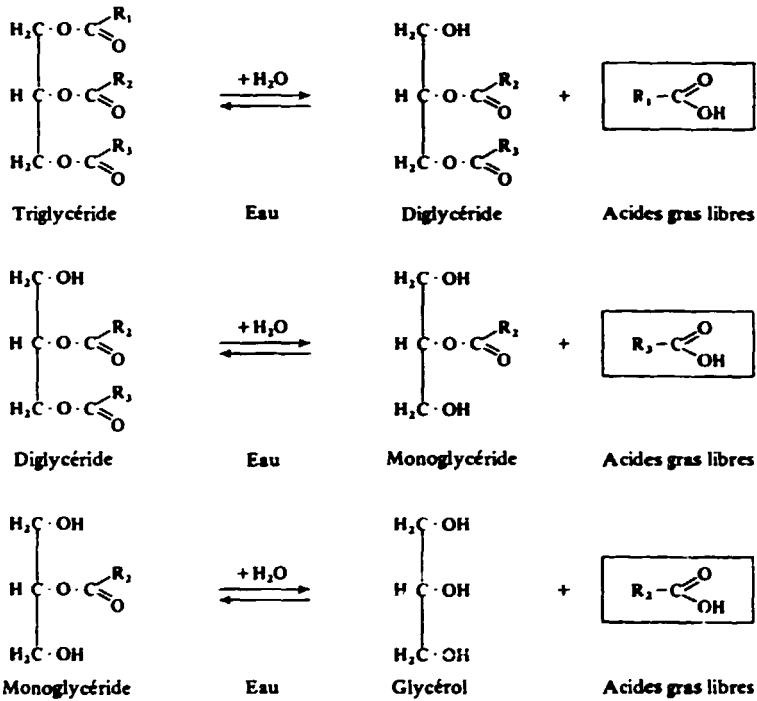
Réactions enzymatiques

Comme on l'a déjà vu, le son contient un grand nombre d'enzymes actifs, les lipases étant les plus importantes en ce qui concerne le stockage. Les enzymes qui viennent ensuite, par ordre d'importance, encore qu'ils ne jouent qu'un rôle secondaire, sont les oxyréductases — lipoxygénase et peroxydase. Les réactions catalysées par les lipases sont de nature hydrolytique (voir figure 5).

L'action des enzymes libère les acides gras. La lipolyse n'a lieu qu'à l'interface entre eau et huile.

L'eau n'agit pas seulement comme substrat mais aussi comme solvant pour la diffusion des enzymes, des réactifs et des produits de réactions. Il n'est donc pas surprenant que la plupart des réactions d'enzymes se produisent seulement au-delà du seuil auquel l'eau solvante apparaît, et en fonction de la quantité disponible de cette eau. D'une façon générale, la plupart des activités enzymatiques commencent donc à se manifester à $a_w = 0,75-0,88$. La lipase agit toutefois à des niveaux très inférieurs ($a_w \approx 0,20$) (voir figure 6). Ceci s'explique

Figure 5. Hydrolyse des glycérides catalysées par la lipase



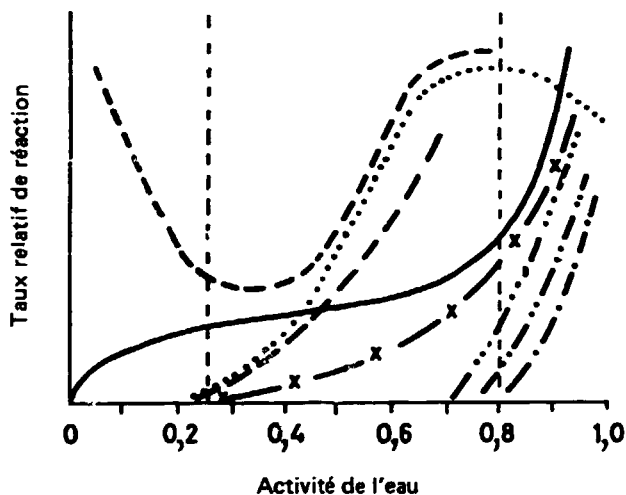
par le fait que le substrat (l'huile), étant un liquide, facilite la reprise du contact entre enzymes et substrat. Il faut signaler que toute augmentation de la surface de la graisse entraînera une augmentation du taux de lipolyse.

L'action de la chaleur sur la lipolyse, comme sur les autres réactions enzymatiques, est double: au nouveau cinétique elle accélère la réaction, alors qu'à celui de la structure protéique elle désactive l'enzyme. Au-dessous de la température optimale des lipases du riz² toute élévation de la température accélère la réaction. Au dessus de la température optimale, c'est l'effet dénaturant qui prédomine et l'élévation ultérieure de la température entraîne une baisse de la vitesse de réaction.

La lipolyse est catalysée dans le son de riz par des lipases de deux origines distinctes : végétale et microbienne. Le grain de riz possède sa propre activité lipolytique, mais peut cependant contenir aussi des lipases produites par des micro-organismes, qui sont nombreux et contaminent souvent le riz. Quelques-uns d'entre eux produisent des lipases intracellulaires, mais il s'agit le plus souvent de lipases extracellulaires. Les moisissures, qui sont les sources les plus importantes, comprennent le *Penicillium*, l'*Aspergillus*, le *Rhizopus* et le *Mucor*. Les *Xanthomonas* sont au nombre des bactéries productrices de lipases les plus

²Aizono et autres [4] ont constaté que la température optimale pour la lipase du riz, à pH 7,5, est 37 °C. Par la suite [5], ils ont isolé une lipase II dont la température optimale est 27 °C pour un même pH.

Figure 6. Taux de réaction en fonction de l'activité de l'eau dans les produits alimentaires



Légende :

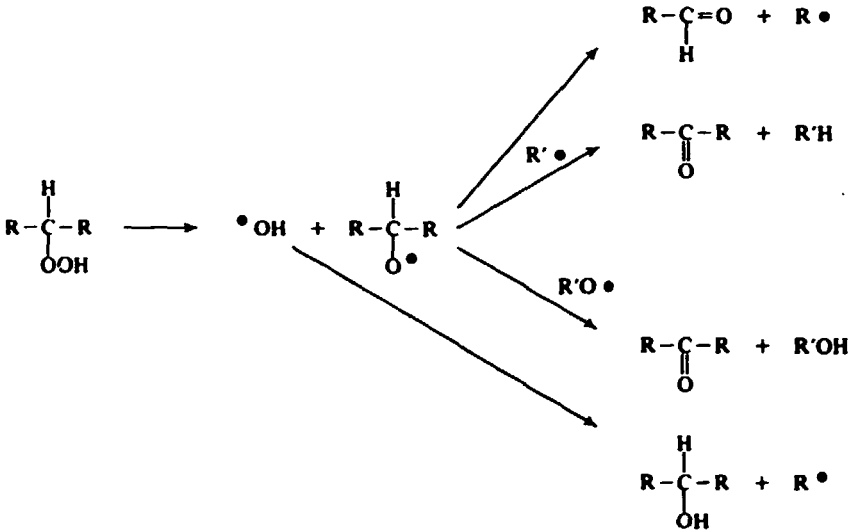
- Oxydation des lipides
- Isotherme de la teneur en humidité
- Brunissage non enzymatique
- · - · - Réactions hydrolytiques
- x - x - Activité enzymatique
- Multiplication des moisissures
- Croissance de la levure
- Croissance bactérienne

Source : O. R. Fennema [3].

remarquables. Les lipases microbiennes sont de vraies lipases, puisqu'elles ne sont pas inhibées par le fluorophosphate de di-isopropyle. Tout comme les lipases naturelles, les lipases d'origine microbienne hydrolysent plusieurs huiles et graisses naturelles, et cette caractéristique sert à les analyser. Les substrats ne sont pas tous hydrolysés à la même vitesse et dans la même mesure, et les lipases n'exercent pas toutes le même effet. La lipase du *Rhizopus oligosporus* et celle du *Mucor sufu* catalysent l'hydrolyse du lien d'ester dans les positions 1 et 3 alors que celle de *Aspergillus flavus* le catalyse aussi en position 2.

La lipoxygénase (lipoxydase) catalyse l'oxydation, par oxygène moléculaire, des acides gras non polysaturés qui contiennent un groupe *cis*, *cis*-1-4 pentadiène. Les acides de ce type qu'on trouve dans le son sont l'acide linoléique (acide octadécadiénoïque 9,12), l'acide linoléique (octadécatriénoïque 9,12,15) et arachidique (eicotétraénoïque 5,8,11,14). Les substrats de catalyse des lipases sont sous forme d'acides gras libres ou de glycérides, la réaction étant plus rapide avec les premiers. Elle aboutit à la formation d'un peroxyde organique; l'un des doubles liens saute à une position de conjugaison et la composition prend la forme d'un isomère *cis-trans*. Les principaux produits de la réaction initiale avec l'oxygène sont les hydroperoxydes. Ils se

Figure 7. Décomposition des hydroperoxydes résultant de l'oxydation des lipides



Source : O. R. Fennema [3].

décomposent rapidement pour former des radicaux qui contribuent à la réaction en chaîne d'oxydation ou forment d'autres produits tels que aldéhydes, alcools, cétones et acides (voir figure 7).

La peroxydase catalyse la réaction $\text{ROOH} + \text{AH}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{ROH} + \text{A}$. Elle catalyse la dégradation peroxydante des acides gras non saturés, et entraîne la formation de composés volatils de carbonyle qui ont leur propre odeur et contribuent à celle du produit oxydé. Avec certains donneurs tels que l'acide dihydroxyfumérique et l'oxygène moléculaire, la peroxydase peut hydroxyler les acides aminés tyrosine et phénylalanine.

Lipoxygénase et peroxydase ont toutes deux un effet destructif sur divers composants alimentaires, probablement exercé par l'intermédiaire des radicaux engendrés par la décomposition des hydroperoxydes.

L'état d'oxydation de l'huile n'est pas facile à mesurer. L'indice de peroxyde donne une indication à condition qu'il n'y ait pas de décomposition de l'hydroperoxyde. On peut aussi avoir recours au contenu en composés du carbonyle, toujours à condition qu'il n'y ait eu ni réactions secondaires ni vaporisation. L'indice de l'acide tiobarbiturique (TBA) n'est pas un bon indicateur dans les systèmes peu humides tels que le riz [6, 7].

Changements biologiques

Les micro-organismes, les insectes et les rongeurs sont au nombre des sources les plus importantes de changements biologiques.

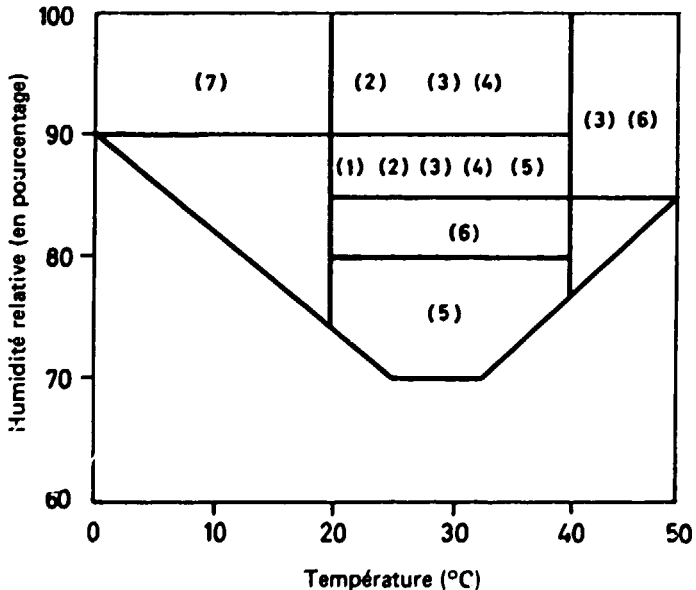
Micro-organismes

Le son, vu ses origines et la méthode par laquelle il est produit, possède une population microbienne abondante et variée. Seules les moisissures, toutefois, constituent un véritable risque de détérioration quand le son est stocké et manipulé de la façon habituelle. Au-dessus de $a_w = 0,70-0,75$ les moisissures se multiplient rapidement, notamment quand la température monte (entre 20 et 40 °C). Certains spores peuvent proliférer à $a_w \approx 0,62$ [1]. La figure 8 montre les limites habituelles d'humidité relative et de température à l'intérieur desquelles se multiplient certaines des principales espèces de moisissures du son [9]. La figure 9 donne les limites physiques de la croissance de certaines espèces biologiques. Quand on connaît les conditions qui régissent la croissance des moisissures, on peut prévoir les niveaux d'humidité auxquels le risque de détérioration disparaît à la température régnante.

Les bactéries mésophiliques ont besoin pour se multiplier d'une valeur de a_w d'au moins 0,90-0,95, les levures 0,88, les bactéries et les levures osmophiles 0,70-0,75 et 0,62-0,65 respectivement [1].

La composition de la microflore subit pendant le stockage des changements dont le mode dépend des conditions ambiantes. Les niveaux moyens d'activité de l'eau encouragent la multiplication des moisissures du stockage

Figure 8. Effet de la température et de l'humidité relative sur certaines moisissures

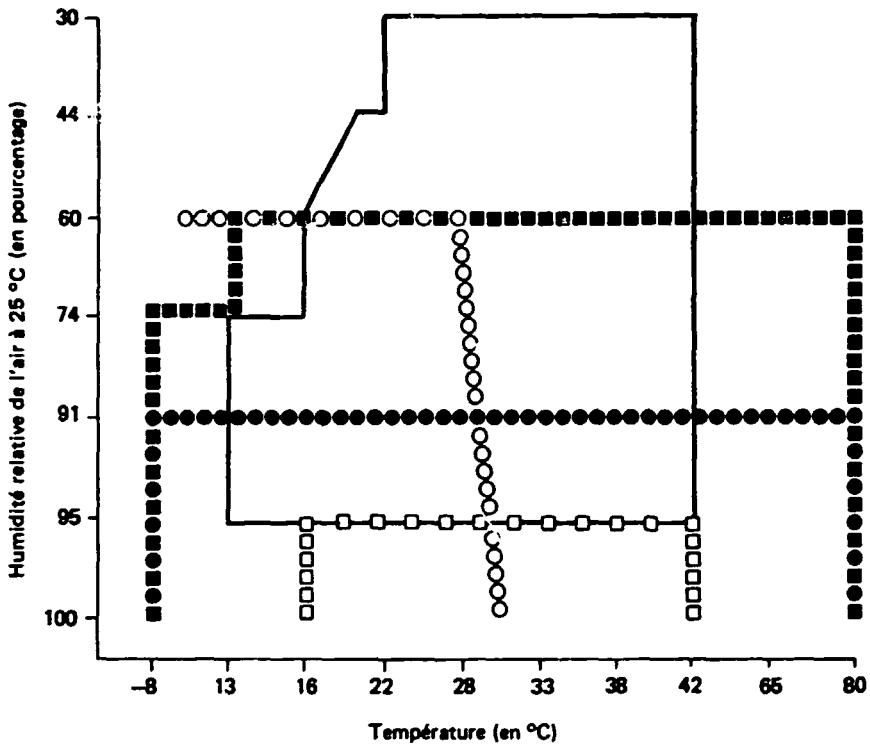


Légende :

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1. <i>Aspergillus candidus</i> | 5. <i>A. glaucus</i> (groupe) |
| 2. <i>A. Flavus</i> | 6. <i>A. terreus</i> |
| 3. <i>A. fumigatus</i> | 7. Certains <i>Cladosporium</i> sp. |
| 4. <i>A. niger</i> | |

Source : Hall [8].

Figure 9. Limites générales de température et d'humidité relative de la multiplication des espèces biologiques



Légende :

- Mites
- Moisissures
- Insectes
- Bactérie
- Germination

Source : Hall [8].

(*Penicillium* et *Aspergillus*) qui persistent aux faibles valeurs de a_w sous températures intermédiaires. Dans des atmosphères modifiées (vide, CO_2) les choses se passent autrement et il y a moins de moisissures. Il y a aussi moins de bactéries, mais certaines peuvent se multiplier lorsque l'humidité est élevée [1].

La production des enzymes est une des conséquences importantes de la prolifération des micro-organismes dans le son (ou dans le riz à un stade antérieur). Il en a été question plus haut.

Certaines flores caractéristiques peuvent produire des substances toxiques pour l'homme et les animaux domestiques (voir tableau 1). Dans des conditions optimales, certains micro-organismes tels que l'*Aspergillus flavus* peuvent produire des toxines en 24 heures. Il faut signaler que la seule présence dans le son d'une espèce productrice de métabolites toxiques ne signifie pas que le son lui-même sera toxique. Premièrement, les variétés n'ont pas toutes la même

TABLEAU I. MOISSURES CAPABLES DE PRODUIRE DES MÉTABOLITES TOXIQUES DANS LE SON

Espèce	Balle de riz ^a	Riz des rizeries espagnoles ^b
<i>Aspergillus chevalieri</i>	+	
<i>A. candidus</i> ^c	+++	+
<i>A. nidulans</i> ^c	+	
<i>A. flavus-orizae</i> ^c	+++	+++
<i>A. fumigatus</i> ^c	+	
<i>A. niger</i>	+++	+++
<i>A. ochraceus</i>	+	+
<i>A. glaucus</i>	+	+
<i>A. wentii</i>	+	+
<i>A. terreus</i> ^c	+	+
<i>Penicillium citreo-viride</i> ^c	+	
<i>P. notatum</i> ^c	+	
<i>P. islandicum</i> ^c	+	
<i>P. urticae</i> ^c	+	
<i>P. expansum</i>		+
<i>P. italicum</i>	+++	+++
<i>P. digitatum</i>		+
<i>Rhizopus nigricans</i>	+	+++
<i>Rhizopus niger</i>		+
<i>Fusarium sp.</i> ^c	+	+
<i>Alternaria sp.</i> ^c	+	+++
<i>Mucor sp.</i>	+	+
<i>Absidia sp.</i>	+	+
<i>Streptomyces sp.</i>	+	+
<i>Sacharomyces sp.</i>		+
<i>Cladosporium sp.</i>	+	+
<i>Trichotecium roseum</i>		+

Légende : +++ Fréquent

+ Moins fréquent

^aBoller et Schroeder [10], Iizuka [11] et Kurata et autres [12].

^bHernández et autres [13, 14].

^cPrincipales espèces productrices de métabolites.

aptitude à produire des substances toxiques, et, deuxièmement, la toxicité dépend de la mesure dans laquelle le micro-organisme s'est développé dans le produit. On connaît de nombreuses mycotoxines qui produisent des effets pathologiques différents (voir tableau 2). La sensibilité des animaux aux mycotoxines varie sensiblement selon les espèces : la truite et le canard, par exemple, y sont très sensibles. Les essais effectués avec des doses de 0,5 à 4 g d'aflatoxine B-1 ont permis de classer la sensibilité des sujets dans l'ordre décroissant suivant : canard, dinde, oie, faisan, poulet [9]. Le climat des régions rizicoles se prête à l'apparition de moisissures et il faut prévoir la présence de mycotoxines dans le son. On possède aujourd'hui des techniques d'analyse très précises qui permettent de détecter la présence de mycotoxines de l'ordre d'une partie par milliard. Vu l'impossibilité d'éviter entièrement la contamination par les mycotoxines, on a établi des limites de tolérance pour certaines de ces substances dans les aliments de l'homme et des animaux.

TABLEAU 2. QUELQUES MYCOTOXINES PRODUITES PAR LES MOISSURES ET LEURS EFFETS PATHOLOGIQUES

Toxine	Micro-organismes	Effets pathologiques choisis
Aflatoxines	<i>Aspergillus flavus</i>	Peut causer le carcinome du foie et du rein, la prolifération des cellules hépatiques, l'infiltration de graisse hépatique chez l'animal
Acide aspergillique	<i>A. flavus</i>	Antimicrobien et toxique pour la souris
Acide cojique	<i>A. flavus</i>	Antimicrobien et toxique pour les mammifères
Acide bêtanitropropanique	<i>A. flavus</i>	Toxique pour l'homme et l'animal
Ochratoxine	<i>A. ochraceus</i>	Peut causer des maladies du foie et du rein chez le rat
Luteoskyrine	<i>Penicillium islandicum</i>	Toxique pour le foie, hématome
Peptide chloridofère	<i>P. islandicum</i>	Hépatotoxine pouvant causer l'hépatome chez l'animal
Islandotoxine	<i>P. islandicum</i>	
Citréo-viridine	<i>P. citreo-viride</i>	Paralyse chez les mammifères
Patuline	<i>P. Expansum</i>	Antimicrobien, phytotoxique, carcinogène chez le rat
Fusarénone	<i>Fusarium nivale</i>	Inhibition de la synthèse des protéines chez la souris
Nivalenol et desoxinivalenol	<i>F. nivale</i>	Inhibition de la synthèse de l'ADN

Source : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [15].

La protection du son contre la contamination par les moisissures et les mycotoxines doit commencer par le riz lui-même. Les moyens les plus efficaces de prévenir la contamination sont : a) de récolter le riz quand il est complètement mûr; b) d'éviter la détérioration du riz par les machines lors de la récolte; c) de sécher le riz immédiatement après la récolte; d) de faire en sorte que le riz ne soit pas de nouveau mouillé; e) d'éviter l'infestation par les insectes qui déposent et transmettent les moisissures et leurs spores et forment des poches très humides où les moisissures se développent inévitablement [15]. Le séchage au soleil du riz étuvé, s'il est fait dans de mauvaises conditions, peut entraîner une grave infestation. Ce sont essentiellement les mêmes méthodes qu'on emploie pour empêcher le son de moisir; en d'autres termes, le produit doit être stocké à l'état stable, dans des conditions de température et d'humidité propres à réduire au minimum le risque de contamination par les insectes animaux nuisibles, et il faut l'examiner souvent pour s'assurer qu'il reste en bon état et aussi en cas de besoin, recourir à des moyens chimiques pour combattre les nuisibles.

Il n'est pas toujours possible, en pratique, de protéger tous les lots, en sorte que certains peuvent être contaminés par des aflatoxines ou d'autres mycotoxines. Bien qu'on ait fait de grands efforts pour mettre au point des méthodes de décontamination du grain et de ses produits, il n'existe pas de procédé efficace et fiable qui puisse être appliqué au son. C'est sur les aflatoxines, la forme de moisissure la plus fréquente, qu'a surtout porté l'effort, et l'on a constaté qu'elles ne peuvent être que partiellement désactivées par la

chaleur (ébullition à la pression atmosphérique ou torréfaction). On peut aussi mélanger le produit moisi et contaminé à d'autres ingrédients pour ramener la concentration des toxines à des niveaux tolérables, mais cette méthode n'est pas sans risques.

Insectes

La plupart des insectes qu'on trouve dans le riz et dans le son ont un cycle de croissance en quatre étapes : œuf, larve, chrysalide et adulte. Chaque espèce a ses propres périodes caractéristiques de développement. Mais les conditions ambiantes (essentiellement l'humidité et la température) déterminent dans une large mesure le temps qu'il faut pour passer d'une étape à la suivante, à condition qu'il y ait de la nourriture. Le charançon (*Sitophilus oryzae* L.) peut accomplir le cycle entier de sa croissance en quatre semaines si les conditions sont favorables. Il faut autant de temps au *Tribolium confusum* J. du Val à 32 °C, mais à 22 °C le cycle se ralentit et met trois mois environ [16]. Aux températures inférieures à 15 °C, la ponte, l'incubation et le développement des larves sont lents et difficiles. La vitesse de développement et de reproduction augmente avec la température, mais les températures supérieures à 35 °C sont défavorables. Les insectes se reproduisent davantage quand l'humidité augmente mais seulement jusqu'au point où interviennent les micro-organismes. Les besoins d'humidité varient naturellement selon les espèces. Le charançon ne se reproduit pas quand l'humidité est inférieure à 9 %. La consistance pulvérulente du son, qui rend ses éléments nutritifs facilement consommables, fait que les insectes peuvent y vivre à des niveaux inférieurs à ceux qu'ils trouvent dans le grain entier.

Il faut mentionner la blatte (*Blattella germanica* L., *Blatta orientalis* L. et *Periplaneta americana* L.) car l'expérience a montré que la *Blattella germanica*, tout au moins, est attirée par le son de riz. On a constaté des invasions de cet insecte dans des installations de stabilisation du son. Les blattes transportent des micro-organismes dangereux et en transportent d'autres, y compris des variétés de *Salmonella*, dans leurs matières fécales [8].

Modifications de la composition et des propriétés du son pendant le stockage

Les modifications qui se produisent dans le son pendant le stockage sont un des aspects les plus étudiés et pourtant aujourd'hui les moins connus de la science et de la technique de ce sous-produit. Le son sert surtout à fabriquer de l'huile comestible mais il présente un inconvénient essentiel, à savoir le développement rapide des acides gras libres qui commence dès le moment où le son est produit dans la rizerie. C'est pourquoi une bonne partie des nombreux travaux consacrés aux effets du stockage s'est bornée à étudier l'évolution des acides gras. Ce n'est malheureusement pas le seul inconvénient. Pratiquement aucune des études de cas n'a tenu compte des facteurs et des causes qui régissent la formation des AGL. De nombreuses données sont difficiles à interpréter, sans parler de les comparer. L'information dont on dispose donne donc un aspect général de la situation, mais sa valeur est limitée.

Couleur, goût et odeur

Aucune étude méthodique ne paraît avoir été faite des effets du stockage sur la couleur, le goût et l'odeur du son. Les résultats d'une expérience de stockage de son brut logé en sacs de toile de 5 kg dans des conditions d'humidité et de température très modérées (voir tableau 3) ne révèlent pas de changement de couleur au bout de quatre mois. On constate une odeur et un goût de moisi au bout de deux mois. Les changements les plus marqués consistent toutefois en l'apparition de substances amères et d'un goût plutôt désagréable qui restent dans la gorge; ces changements se produisent très rapidement, et peuvent survenir au bout de quelques jours quand la température est élevée. La formation de substances amères paraît être directement ou indirectement liée aux enzymes. L'ébouillantage empêche l'apparition d'un goût amer dans le germe de riz [17] et la stabilisation par la chaleur humide a le même effet sur le son [19]. La formation de composants amers dans l'avoine est accélérée par la présence d'acides gras libres, qui sont plus sensibles à l'oxydation que les triglycérides; les peroxydes paraissent jouer le rôle de précurseurs des substances amères [20]. A cet égard, les oxydases jouent peut-être un rôle important, mais, comme le suggèrent plusieurs auteurs, il faut tenir compte d'autres agents enzymatiques, tels que les protéases, pour étudier les raisons de la présence de substances amères dans le son et le germe

TABLEAU 3. EFFETS DU STOCKAGE SUR LES PROPRIÉTÉS SENSORIELLES DU SON DE RIZ BRUT

Caractéristiques	Changements pendant le stockage		
	0 mois	2 mois	4 mois
Couleur			
Composants trichromiques (valeurs de Hunter)			
L	63,8	63,7	64,5
a	0,2	0,3	1,0
b	14,3	13,8	13,9
Estimation visuelle			
Blancheur	3,6	3,2	3,8
Odeur			
Rassis	8,6	7,3	7,3
Moisi	9,0	9,0	9,0
Goût			
Rassis	9,0	7,0	6,7
Amer	8,4	4,0	2,7
Reste dans la gorge	8,5	5,3	4,7
Humidité (en pourcentage)	13,8	10,8	11,1

Source : Tortosa et Benedito de Barber [18].

Note. Le son était du son du commerce dégermé en usine; degré d'usinage d'environ 9%. Il a été stocké en sacs de toile de 5 kg à température ambiante (variations de 15 à 25°C et sous humidité relative de 40 à 90%). Echelle d'estimation visuelle de la couleur: 9 = blanc; 7 = blanc crème; 5 = crème; 3 = brun clair; 1 = brun foncé. Echelle d'estimation de l'odeur et du goût: 9 = néant; 7 = tout juste perceptible; 5 = nettement perceptible; 3 = modérément fort; 1 = fort.

dégradé. Les saponines, qu'on trouve aussi dans le son de riz, ne paraissent pas jouer un rôle important; bien qu'elles soient solubles dans l'eau, leur extraction ne chasse pas le goût amer [21].

Les effets du stockage sur les éléments constitutifs volatils de l'arôme du son de riz ont été étudiés sur des échantillons stockés¹ à deux températures différentes : -20°C et $+25^{\circ}\text{C}$ [22].

Le profil des éléments en question a été déterminé par chromatographie directe en phase gazeuse² sans enrichissement préalable, au moyen de techniques qui exigent un échantillon pesant au moins un gramme. On a constaté dans chaque échantillon la présence de huit éléments : méthanol, acétaldéhyde, éthanol, acétone, *n*-hexanal, 1-hexanol, *n*-dodécane, dont acétone, *n*-hexanal et *n*-dodécane en grandes quantités (voir figure 10). Il est intéressant de noter que le stockage du son à -20°C pendant 50 jours entraîne des modifications de certains des éléments constitutifs tels qu'éthano¹, acétone et 1-hexanol ainsi que d'autres d'un poids moléculaire plus élevé. Le stockage à $+25^{\circ}\text{C}$ fait sensiblement augmenter le contenu volatil, notamment l'hexanal et l'hexanol et de nombreux autres d'un poids moléculaire plus élevé dont l'étude n'avait pas constaté la présence.

Composition chimique moyenne

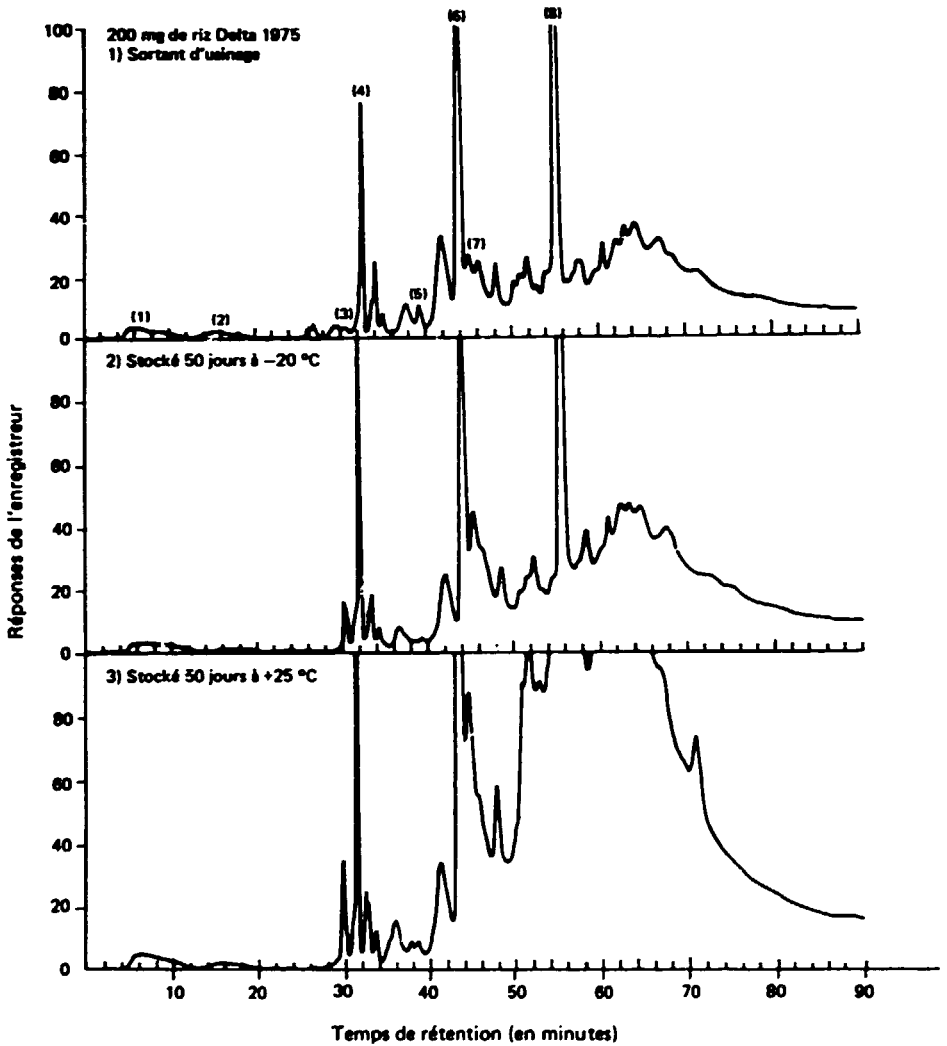
La composition chimique moyenne du son ne subit aucune modification importante lorsqu'il est stocké pendant de brèves périodes dans des conditions normales, à condition qu'il n'ait pas été infesté par des micro-organismes et des insectes. Dans des échantillons de son conservés à $27-28^{\circ}\text{C}$ pendant un mois dans des flacons en verre brun à couvercle à vis bien serré, on n'a constaté aucun changement de la teneur totale en azote, en graisse, en cendre et en fibre brute [23]. Les résultats ont été les mêmes avec des échantillons de son de riz brut et éuvé conservés à la température ambiante (non précisée) pendant plusieurs mois; au bout de 10 mois, on a toutefois constaté une légère diminution du pourcentage d'huile pouvant être extrait par l'hexane [24]. Il faut cependant signaler des changements importants constatés dans la quantité d'huile pouvant être extraite par l'hexane (voir figure 11), par l'éther de pétrole (25) ou par pression [26] (voir tableau 4) lors de stockage en sacs dans des conditions de température vraiment rudes, correspondant néanmoins à celles de la pratique.

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer cette réduction de l'extraction d'huile [24]. L'une d'elles l'attribue à la formation de composés polaires contenant de l'oxygène et des polymères qui réduisent la solubilité des glycérides dans le solvant non polaire (hexane) employé pour l'extraction. D'autres l'associent à l'apparition de forces qui combinent les glucérides et le son, probablement en relation avec l'aptitude des acides gras à former des complexes avec l'amylose. Bien qu'on ne possède pas de renseignements concernant le son, ceux qu'on a obtenus sur le riz traité indiquent que la teneur en graisse par hydrolyse reste constante pendant toute la durée du stockage [27].

¹L'étude ne donne aucun autre renseignement sur les conditions de stockage ni les caractéristiques initiales des échantillons.

²Quelques éléments ont été identifiés en combinant la chromatographie en phase gazeuse et la spectroscopie aux infrarouges.

Figure 10. Profil des composés volatils du son de riz peu après la production et stocké pendant 50 jours à -20 et +25 °C

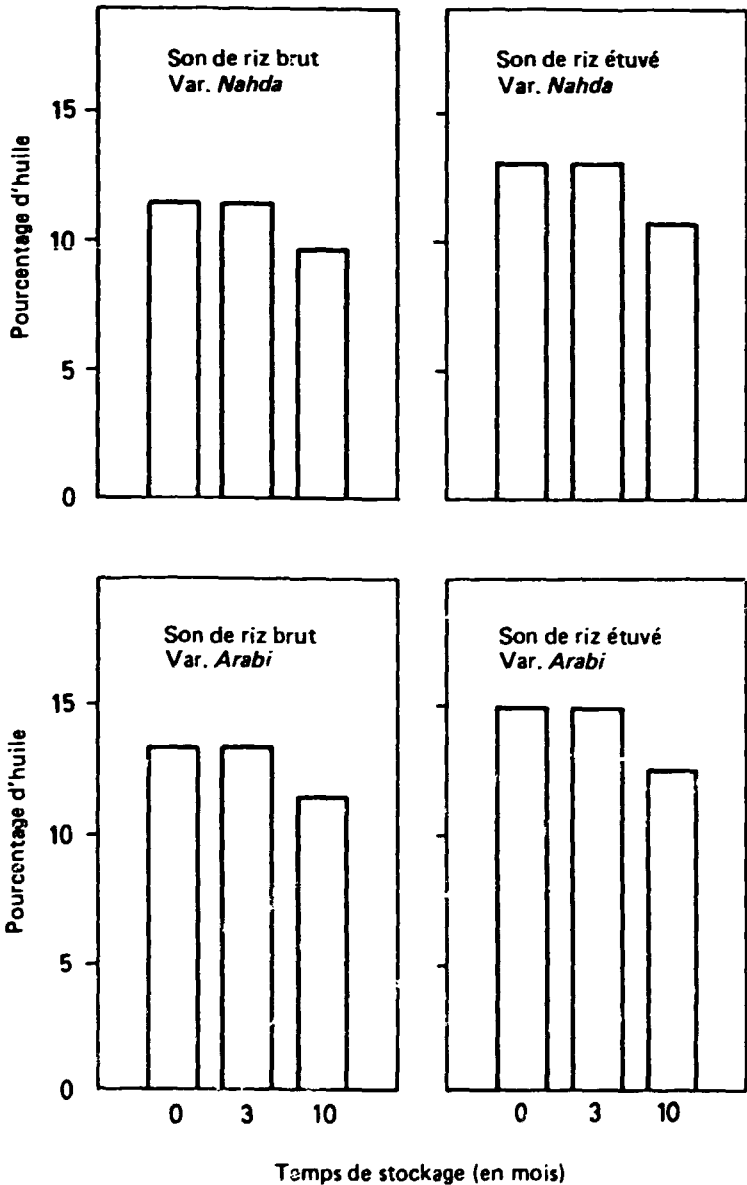


Légende :

- | | |
|------------------|------------------------|
| (1) Méthanol | (5) <i>n</i> -Pentanal |
| (2) Acétaldéhyde | (6) <i>n</i> -Hexanal |
| (3) Ethanol | (7) 1-Hexanol |
| (4) Acétone | (8) <i>n</i> -Dodécane |

Source : Legendre et autres [22].

Figure 11. Effets du stockage sur la teneur en huile du son de riz brut et étuvé



Source : Shaheen, El-Dash et El-Shirboeny [24].

Note : La teneur en huile du son a été déterminée de la façon suivante : on a mélangé 20 g de son à 500 ml d'hexane à une température de 40-50 °C et agité pendant 3 heures, séparé l'hexane, réajouté de l'hexane et répété l'opération. La quantité d'huile récupérée sur les deux extraits a été déterminée après avoir éliminé les dernières traces d'hexane en échantillonnant l'huile à 70 °C sous vide.

TABLEAU 4. EFFETS DU STOCKAGE^a SUR LE RENDEMENT ET LA COULEUR DE L'HUILE EXTRAITE DU SON PAR PRESSION

Temps de stockage (jours)	Conditions de stockage		Teneur en humidité (pourcentage)	Rendement en huile ^c (pourcentage)	Couleur de l'huile
	Temp.érature moyenne ^b (°C)	Humidité relative ^b (pourcentage)			
0	28,7	74	11,86	11,43	Jaune
7	28,2	85	9,62	10,40	Jaune
21	36,3	63	10,32	9,63	Jaune foncé
42	36,3	63	9,23	8,97	Jaune foncé

Source : K. Yokochi [26].

^aSon logé en sacs de 33,75 kg.

^bMesurée à 11 heures du matin.

^cExtraction à la presse en deux temps, sous pression de 70 bars pendant 15 minutes et 260 bars pendant 5 minutes.

Composition et caractéristiques des éléments constitutifs chimiques du son

Hydrates de carbone

D'après les rares renseignements qu'on possède sur la teneur en sucre du son, le pourcentage de sucres réducteurs peut, dans certaines variétés, augmenter et celui des sucres non réducteurs diminuer (voir tableau 5). Des changements similaires se produisent dans le riz pendant le stockage [28].

Lipides

Pendant le stockage, les lipides du son subissent des changements hydrolytiques et oxydants [29]. Le changement hydrolytique a lieu dans le son

TABLEAU 5. TENEUR EN SUCRE ET EN HUMIDITÉ DU SON DE RIZ AVANT ET APRÈS STOCKAGE

(En pourcentage)

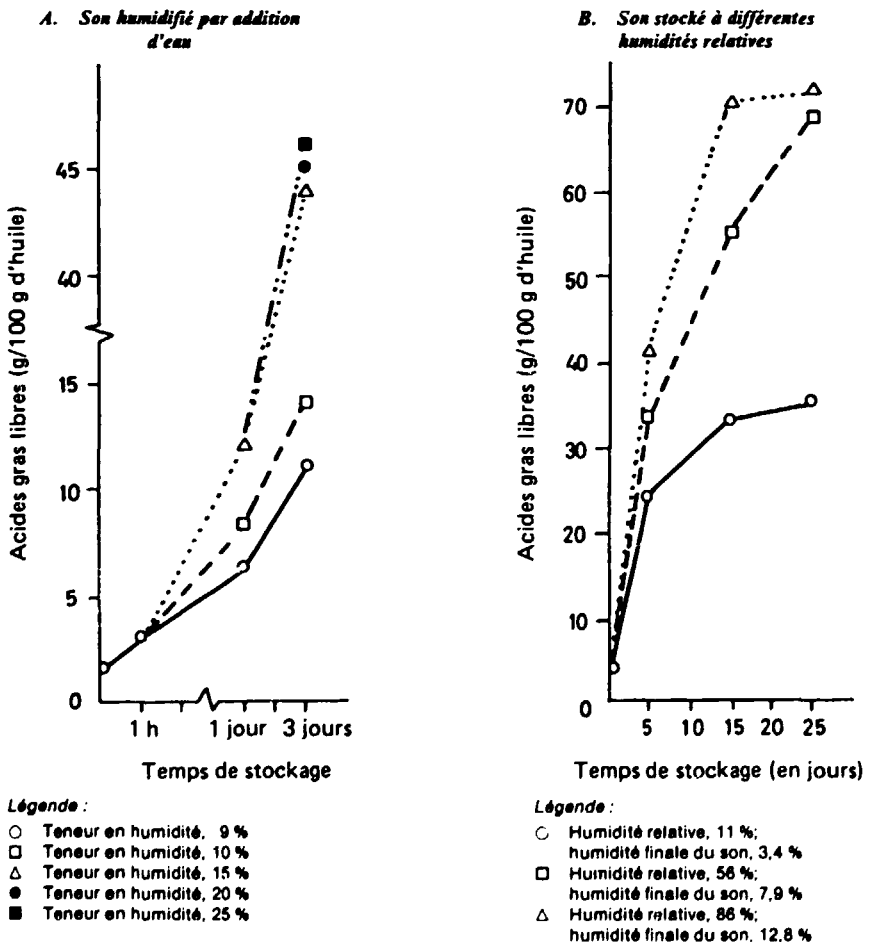
Variété de riz	Sucres non réducteurs		Sucres réducteurs		Humidité	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Diaja	50,54	47,99	1,07	1,30	10,85	10,90
Inapon	55,79	56,89	0,82	0,94	13,41	13,89
Intan	51,28	52,01	0,84	0,79	13,68	14,17
Makapifa	50,02	51,90	0,54	0,63	11,13	13,13
Malgkit	46,35	47,61	1,07	1,30	13,16	14,15
Margate	60,10	60,40	0,96	1,18	10,26	11,21
Milagrosa	53,24	54,70	0,94	1,16	12,72	13,43

Source : Cea et Sutaria [23].

Note. Echantillons logés en flacons de verre brun vissés, serrés et conservés à 27-28 °C pendant un mois.

produit et stocké dans des conditions normales. La teneur en acides gras libres du son augmente avec le temps, et cette augmentation peut déjà être constatée au bout d'une ou deux heures. La vitesse de formation des acides gras dépend entre autres de l'humidité, de la température et de la présence de microflore et d'insectes. La rapidité est en raison directe de la teneur en humidité (voir figure 12A). La teneur en humidité joue un rôle important et un ou deux points de pourcentage peuvent déterminer des augmentations très variables de la teneur en acide gras au bout de quelques heures seulement de stockage (voir tableau 6). L'humidité relative de l'environnement dans lequel le son est stocké contribue lui aussi à déterminer le niveau d'activité de l'eau. Les AGL augmentent en raison directe de l'humidité relative (voir figure 12B). Les effets

Figure 12. Effets de l'humidité sur la formation des acides gras libres pendant le stockage du son de riz à 30 °C



Source : Panduranga Rao, Ahmed et Rao [30].

TABLEAU 6. EFFET DE L'HUMIDITÉ SUR LA VITESSE DE FORMATION DES ACIDES GRAS LIBRES PENDANT LE STOCKAGE DU SON A 35 °C

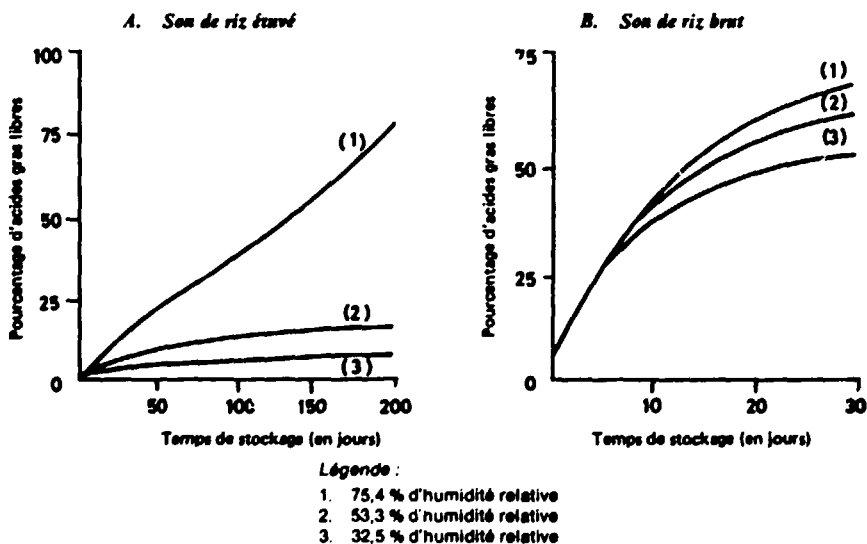
Echantillon	Pourcentage d'humidité	Acides gras libres quatre heures après réception du son ^a (g par 100 g d'huile)
1	5,9	4,5
2	6,3	8,4
3	8,2	11,8

Source : Meinke, Holland et Harris [31].

^aHeure H = quatre heures environ après usinage.

dépendent de la vitesse avec laquelle le son prend de l'eau à l'atmosphère environnante ou lui en abandonne. Il faut également souligner que, à l'échelle industrielle, un lot de son peut offrir des zones d'échange rapide (à la surface, en contact avec l'air) et des zones d'échange très lent (à l'intérieur), ce qui donne une masse hétérogène où les foyers sont plus ou moins favorables à l'action hydrolytique. L'effet de l'humidité relative varie aussi selon le type de son en cause (voir figure 13), non seulement en raison de la rapidité de l'échange d'humidité mais aussi à cause du degré de l'activité lipolytique. La formation d'acides gras libres dans le son dépend en grande partie de la température. Plus elle est élevée, plus les acides gras libres augmentent (voir figure 14). La formation d'acides gras libres peut se produire à des

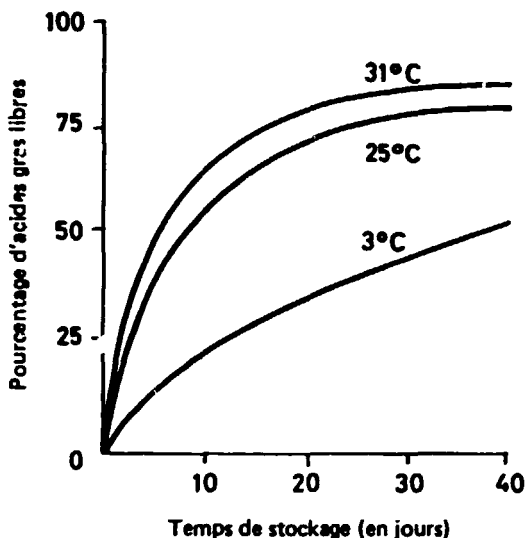
Figure 13. Effets du stockage à 25 °C et à divers degrés d'humidité relative sur la formation d'acides gras libres dans le son



Source : Loeb, Morris et Dollear [32].

Note : L'humidité a atteint l'équilibre au bout de cinq jours environ.

Figure 14. Effets du stockage à différentes températures sur la formation d'acides gras libres dans le son de riz



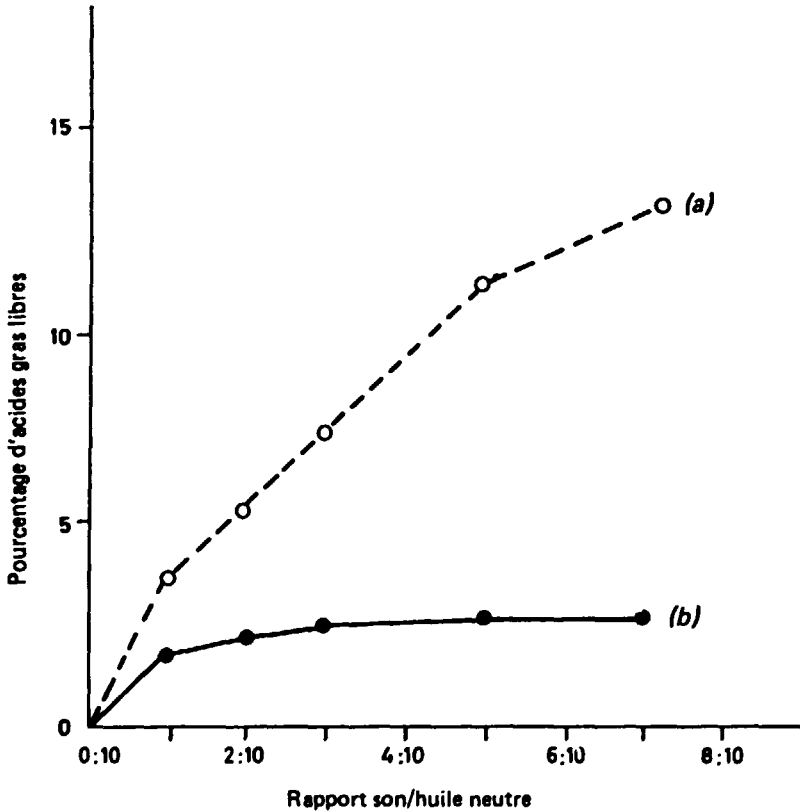
Source : Loeb, Morris et Dollear [32].

températures de 3 à 5 °C [32, 33]. Dans ces conditions, d'après des résultats obtenus en laboratoire sur de petits échantillons, l'augmentation des acides gras pendant les premiers jours varie de 0,2 à 1,5 % par jour [31, 33]. On a aussi constaté des augmentations de la teneur AGL à des températures inférieures à 0 °C [34]. Cette teneur a passé, dans un son contenant 15,9 % d'huile et 11,7 % d'humidité, de 2,4 à 8,4 et 10,5 grammes par 100 grammes d'huile, respectivement, en 10 et 20 jours à -3,3 °C.

Il paraît également démontré que la dimension des particules de son influe sur le taux de formation des acides gras, car c'est quand les particules sont les plus petites qu'ils augmentent le plus [30, 33]. La petitesse des particules évoque une plus forte désintégration des cellules, donc une possibilité accrue de contact entre enzyme et substrat. Ce sujet n'a toutefois pas fait l'objet d'une étude méthodique donnant des résultats indépendants d'autres facteurs tels que la composition (en liaison avec la dimension des particules) ou l'humidité.

El Hinnawy [35] a étudié la formation d'acides gras libres dans l'huile neutre de son de riz en la provoquant au moyen d'additions à l'huile de diverses quantités de son; il a constaté que la rapidité d'augmentation des acides gras est en raison directe de la proportion de son (voir figure 15). L'effet de cette action lipolytique s'accroît à mesure qu'augmente la quantité d'enzyme qui agit sur le substrat. Dans un lot de son industriel, la quantité dépend de la possibilité effective de contact entre enzyme et substrat. Elle dépend aussi de la concentration d'enzymes dans le son et de son activité spécifique. Bien que l'une et l'autre puissent varier d'un lot à l'autre selon la variété de son, le degré de traitement qu'il a subi, la présence de microflore, etc., la formation d'acides gras libres en fonction de l'activité initiale de lots différents de son n'a pas encore été évaluée.

Figure 15. Formation d'acides gras libres dans l'huile neutre de son de riz après addition de son



Légende :

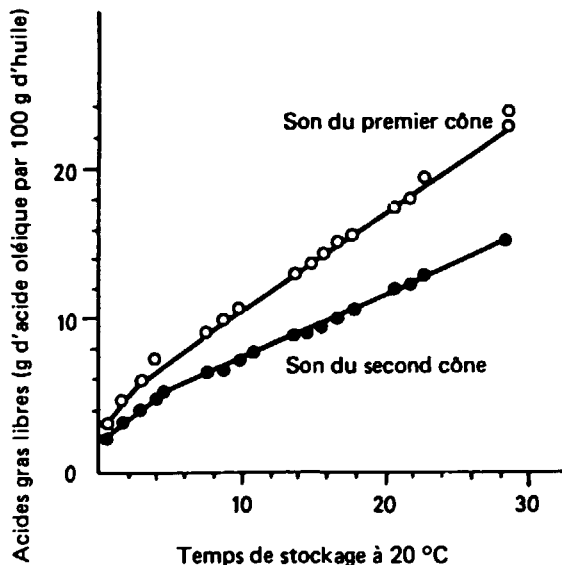
- a) Réaction après deux heures à 35-36 °C
- b) Réaction après quatre heures à 35-36 °C

Source : El Hinnawy [35].

Certains résultats donnent toutefois à penser que l'augmentation des AGL (exprimée en grammes d'acide oléique par 100 g d'huile) est plus forte dans le son du premier cône que dans celui du second (voir figure 16). On a fait observer que la réactivité des couches de son les plus proches de l'extérieur était plus forte, non seulement par rapport au changement intervenu dans les lipides, mais aussi par rapport aux autres éléments constitutifs [36].

Loeb et Mayne [37] ont étudié l'influence de la teneur en humidité sur la prolifération des micro-organismes et la formation d'acides gras pendant le stockage et montré que la population microbienne du son contribue à l'accroissement des AGL. Dans une de leurs expériences, ils ont traité du son à 121 °C dans un autoclave pendant deux heures, l'ont séché pendant une heure à 60 °C, laissé refroidir pendant la nuit jusqu'à la température ambiante et préparé au moyen d'eau stérilisée plusieurs échantillons présentant diverses teneurs en humidité, qu'ils ont mis dans divers séchoirs. Les échantillons à

Figure 16. Variation des acides gras libres pendant le stockage de son provenant du premier et du second cône²



10,7 et 13,7 % d'humidité n'ont accusé aucune croissance de micro-organismes et leur teneur en acides gras libres n'a pas changé. L'échantillon à 14,6 % d'humidité n'a accusé ni prolifération de micro-organismes ni augmentation des AGL pendant les 13 premiers jours, mais ensuite des colonies d'*Aspergillus glaucus* sont apparues en même temps que les AGL augmentaient; aucune croissance bactérienne n'a été constatée. Dans un échantillon à 26,4 % d'humidité, des moisissures (*Rhizopus* sp.) sont apparues le sixième jour, coïncidant avec un accroissement des acides gras (voir tableau 7). L'hypothèse d'un rapport entre micro-organismes et production d'AGL s'est confirmée lors d'une deuxième expérience dans laquelle le son a été traité à 121 °C pendant trois heures, puis séché pendant trois heures à 85 °C et enfin laissé refroidir. On a ensuite préparé, avec de l'eau stérilisée, plusieurs échantillons de teneur en humidité différente, et une série d'entre eux a reçu une inoculation de 53×10^3 spores par gramme d'une variété Thom et Churuch d'*Aspergillus chevalieri* (Mangin) antérieurement prélevée sur du son de la variété Bluebonnet³.

Les échantillons ont été conservés dans des séchoirs et les modifications de quantité des acides gras et des moisissures ont été étudiées pendant 20 jours. Il n'y a pas eu de croissance des micro-organismes ni d'augmentation des AGL dans les échantillons non inoculés, alors que des changements notables portant en même temps sur les micro-organismes et sur les acides gras ont été constatés dans les échantillons inoculés (voir tableau 8).

³Bien que la température optimale de croissance ait été 30 °C, les spores se sont bien développés à 21,2 °C.

TABLEAU 7. MODIFICATION DE LA TENEUR EN MOISSISURES, MICROBES ET ACIDES GRAS LIBRES PENDANT LE STOCKAGE DU SON TRAITÉ PENDANT DEUX HEURES EN AUTOCLAVE A 121 °C ET SÉCHÉ PENDANT UNE HEURE A 60 °C

Temps de stockage (jours)	Humidité 13,7 % ^a		Humidité 14,6 % ^b		Humidité 26,4 % ^c		Bactéries (10 ⁶ /g)
	Acides gras libres (pourcentage)	Moississures ^d et levures (10 ⁷ /g)	Acides gras libres (pourcentage)	Moississures ^d et levures (10 ⁷ /g)	Acides gras libres (pourcentage)	Moississures ^d et levures (10 ⁷ /g)	
0	2,3		2,3		2,3		
6	2,3	0 ^e	2,2	0 ^e	12,6	0,15	0 ^e
13	2,6	0 ^e	2,8	0 ^e	18,5	1	0,02
20	2,6	0 ^e	3,1	0,1	25,3	10	0,5
27	2,6	0 ^e	18,1	155	79,4	100	
34	2,7	0 ^e	38,2	1 10 ⁷			

Source : Loeb et Mayne [37].

^aHumidité relative, 75,5 %.

^bHumidité relative, 80,3 %.

^cHumidité relative, 93 %.

^dNon infecté par les bactéries.

^eDilution minimale 1:20.

Il faut signaler que dans le son ordinaire non traité, où l'activité lipolytique normale du grain coexiste avec celle de la microflore, la teneur en AGL peut augmenter même sans développement des micro-organismes. D'autre part, la plus grande prolifération des micro-organismes peut ne pas correspondre à la plus grande augmentation des AGL. On sait, par exemple, que la formation d'acides gras libres est plus forte avec le *Rhizopus* et l'*Aspergillus* qu'avec le *Penicillium* ou le *Bacillus* [39]. Il y a même des différences de capacité de production d'acides gras entre différentes variétés d'*Aspergillus* (voir tableau 9).

Pillaiyar [40] a publié des résultats qui suggèrent un parallélisme entre prolifération des insectes et augmentation des acides gras libres du son en cours de stockage (voir figure 17). Il ne semble pas toutefois qu'on ait systématiquement étudié la contribution des insectes à la formation des AGL. On ne voit pas encore nettement si les raisons d'un parallélisme entre AGL et présence des insectes sont : a) que les conditions qui favorisent une plus forte activité des lipases favorisent aussi la prolifération des insectes; b) que la croissance des insectes, qui entraîne une élévation de l'humidité et de la température, favorise directement l'activité des lipases ou le développement de la microflore; c) que les insectes ont la capacité de produire des métabolites acides ou des enzymes lipolytiques.

Du fait de la spécificité catégorielle et stéréochimique de la lipase et de la part des acides gras dans la composition des glycérides, les divers acides gras ne sont pas libérés dans les mêmes proportions par la lipolyse. Canale, Serra et Caramello [42] ont signalé des différences sensibles pour les acides myristique, palmitique, stéarique, oléique, linoléique et linoléinique (14:0, 16:0, 18:0, 18:1, 18:2 et 18:3, respectivement) pendant le stockage du riz provenant du premier et du deuxième cône de blanchiment dans l'obscurité à 22 ± 22 °C (voir figure 18). La vitesse de formation a diminué dans l'ordre suivant : 18:2, 18:1, 16:0, 18:3, 14:0 et 18:0. Le mode de changement a été le même dans les deux sons, malgré certaines différences quantitatives. La proportion relative des différents

TABLEAU 8. MODIFICATIONS DU COMPTE DES MOISSURES ET DE LA TENEUR EN ACIDES GRAS LIBRES DANS DES SONS NON INOCULÉS STÉRILISÉS ET DANS DES SONS INOCULÉS PAR *ASPERGILLUS CHEVALIERI*, PENDANT LE STOCKAGE A DIVERS DEGRÉS DE TENEUR EN HUMIDITÉ

Temps de stockage (jours)	Son traité, humidité 11,5 % ^a				Son traité, humidité 14,5 % ^b				Son traité, humidité 33,5 % ^c			
	Non inoculé		Inoculé par <i>A. chevalieri</i>		Non inoculé		Inoculé par <i>A. chevalieri</i>		Non inoculé		Inoculé par <i>A. chevalieri</i>	
	Acides gras libres (pourcentage)	Moissures et levures (10 ³ /g)	Acides gras libres (pourcentage)	Moissures et levures (10 ³ /g)	Acides gras libres (pourcentage)	Moissures et levures (10 ³ /g)	Acides gras libres (pourcentage)	Moissures et levures (10 ³ /g)	Acides gras libres (pourcentage)	Moissures et levures (10 ³ /g)	Acides gras libres (pourcentage)	Moissures et levures (10 ³ /g)
0	2,3	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	2,6	0	2,9	1	2,9	0	2,9	12	2,6	0	3,2	4
2	—	0	2,7	62	—	—	2,5	8	—	—	2,9	2
3	2,4	0	2,9	8	2,8	0	3,4	1 285	2,8	0	3,3	5 200
6	2,7	0	3,4	8	2,4	0	15,2	4 250	2,7	0	7,0	5 900
13	2,7	0	4,9	295	2,8	0	40,3	560	2,8	0	32,6	3 900
20	2,4	0	25,8	4 600	—	—	59,3	3 800	—	—	—	—

Source : Loeb et Mayne [37].

Note. Dilution minimale : 1:20.

^aHumidité relative, 68 %.

^bHumidité relative, 80,3 %.

^cHumidité relative, 100 %.

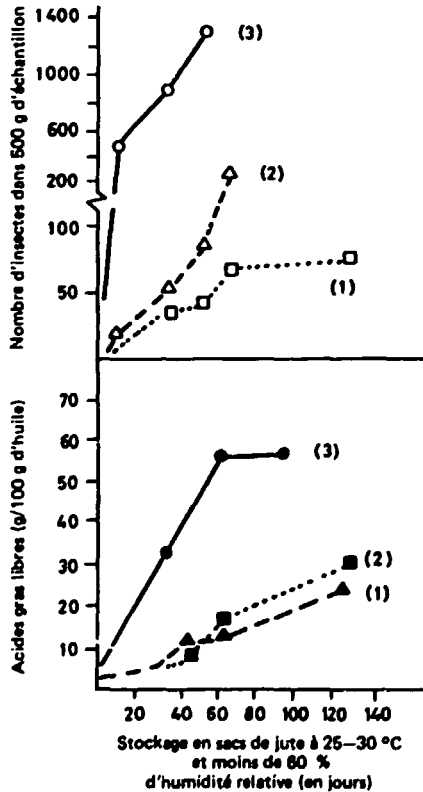
TABLEAU 9. CAPACITÉ DE PRODUCTION D'ACIDES GRAS LIBRES DE DIVERSES VARIÉTÉS D'ASPERGILLUS PRÉLEVÉS SUR SON DE RIZ

(En milligrammes d'acide oléique par 100 g de milieu de culture)

Variété d'Aspergillus	Acides gras après incubation à 28 °C pendant		
	4 jours	5 jours	6 jours
Sp ₃	2,17	3,10	23,25
Sp ₉	3,10	4,34	23,71
Sp ₁₁	3,87	5,42	29,45
Sp ₁₀	14,10	17,51	23,25

Source : Chattopadhyay et Srimani [41].

Figure 17. Modification de la teneur en acides gras libres et infestation par les insectes pendant le stockage du son

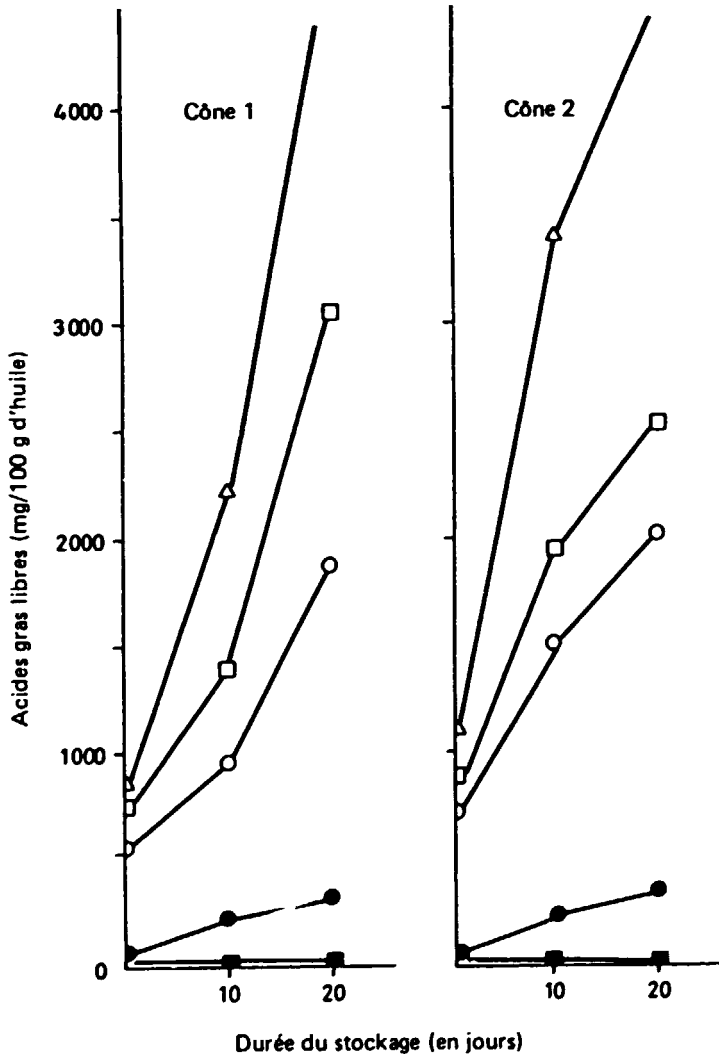


Légende :

1. Son de riz étuvé provenant d'une rizerie à "huller" (7 % d'huile)
2. Son de riz étuvé provenant d'un décortiqueur à rouleaux et de blanchiment par "huller" (17,2 % d'huile)
3. Son de riz brut (19 % d'huile)

Source : Pillaiyar [40].

Figure 18. Evolution des acides gras libres en cours de stockage de son provenant du premier et du second cône de blanchiment



Légende :

- 16 : 0
- 18 : 0
- 18 : 1
- △ 18 : 2
- 18 : 3

Source : Canale, Sarra et Caramello [42].

acides a varié, avec une augmentation sensible des rapports 18:2, 18:1 et 16:0 (voir tableau 10). Pendant le stockage de riz usiné, les changements les plus importants de la fraction d'AGL se produisent aussi pour 18:2, 18:1 et 16:0 [27] exactement en proportion des pertes correspondantes de la fraction des acides neutres.

TABLEAU 10. MODIFICATION DES PROPORTIONS RELATIVES D'ACIDES GRAS LIBRES DANS LE SON EN COURS DE STOCKAGE

Source du son	Durée du stockage (en jours)						
		14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Premier cône	0	1	50	1	70	75	5
	20	1	75	1	120	185	12
Deuxième cône	0	1	45	1	50	65	5
	20	1	80	1	100	175	15

Source : Canale, Sarra et Caramello [42].

Les lipides du germe de riz sont hydrolysés pendant le stockage, comme le sont ceux du son. La vitesse d'hydrolyse est toutefois beaucoup plus faible chez les premiers que chez les seconds⁴ (figure 19).

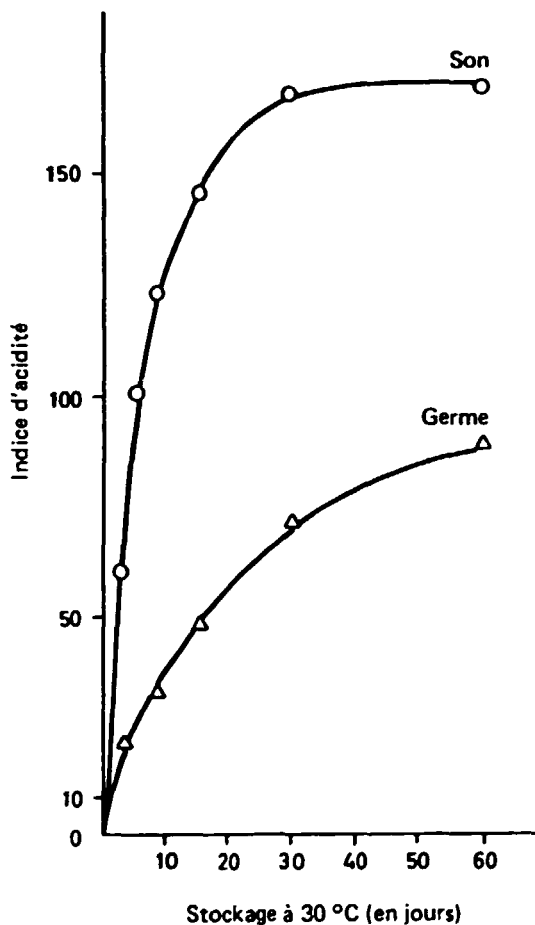
La plus grande stabilité du germe est connue et appréciée dans le commerce, notamment dans les pays où la séparation et la vente du son à l'échelle industrielle sont entrées dans la pratique courante. Bien qu'aucune étude détaillée n'ait été faite à ce sujet, il est démontré que la stabilité du germe dépend dans une large mesure de la détérioration cellulaire pendant le traitement. Le germe intact se conserve beaucoup mieux que le germe endommagé. On a attribué la meilleure stabilité au fait que la lipase est encore encapsulée dans le cytoplasme cellulaire et ne peut agir librement sur les graisses présentes [46]. En conséquence, il faut s'attendre à des différences de stabilité entre les germes provenant de variétés différentes et traités par des blanchisseurs différents dans des conditions différentes.

De Rege [46] a dit n'avoir jamais trouvé de niveaux d'acides gras dépassant 90 %, même dans des échantillons de son hydrolysés expérimentalement en laboratoire. D'une façon générale, il suggère que la limite de l'hydrolyse se situe vers 85 % pour le son et 65 % pour le germe non broyé. Le pH du milieu est probablement trop bas pour permettre à la réaction enzymatique de se produire. Cela est intéressant pour l'étude théorique de la lipolyse [46, 47, 48]. Quelques auteurs ont constaté une baisse de la teneur en acides gras des lipides du son à un état avancé de changement hydrolytique.

Il ne semble pas qu'on ait obtenu dans l'industrie ni en laboratoire du son ou du riz donnant une huile exempte d'acides gras libres. Yokochi [26] a indiqué que la teneur en AGL du son immédiatement après sa production est normalement de 2 à 4 g par 100 g d'huile lorsqu'il est produit à partir du riz de la récolte de l'année, et d'environ 10 g/100 g d'huile lorsque le son provient d'une récolte âgée de deux ans. Ces valeurs ne sont bien entendu qu'indicatives

⁴D'autres chercheurs ont donné des renseignements sur l'augmentation des acides gras pendant le stockage du germe, qui est beaucoup plus faible que celle qu'on constate normalement dans le son [43, 44].

Figure 19. Evolution de l'acidité dans le son et le germe de riz pendant le stockage à 30 °C



Source : Gómez Fabra et Primo Yufero [45].

et peuvent être sensiblement affectées par les événements qui se produisent d'ordinaire pendant le stockage du riz décortiqué : échauffement, apparition de microflore, etc. S'agissant du germe (de riz brut) d'origine industrielle, des valeurs de 1 à 2 g par 100 g d'acide oléique sont normales [49]⁷.

D'autre part, Sarda [50] a signalé qu'en Inde (Bengale occidentale) on a pu, en employant des procédés modernes d'étuvage du riz, obtenir à l'échelle industrielle du son à 2 à 4 % d'acides gras libres qui se conserve une quinzaine en hiver sans subir de changements notables.

⁷La valeur la plus basse constatée pour la campagne de 1970, lors de laquelle on a étudié de novembre 1970 à juin 1971 les livraisons de plusieurs rizeries, a été de 0,73 g par 100 g d'huile.

La détérioration oxydante du son a été peu étudiée bien qu'elle entraîne des odeurs et des goûts (de rassis) indésirables et la formation d'oxyacides qu'il faut séparer lors du raffinage et qui contribuent ainsi à la baisse générale du rendement en huile comestible. Le stockage du son cause une hausse de l'indice de peroxyde de l'huile qui atteint un maximum pour redescendre ensuite. La teneur en composants du carbonyle commence par augmenter puis baisse ensuite si les changements continuent. L'indice d'iode baisse dès le début. Des changements similaires paraissent se produire dans le riz [36]. Le son de riz brut et celui de riz étuvé présentent, en principe, deux situations entièrement différentes en ce qui concerne les modifications oxydantes. Le son de riz brut est caractérisé par la présence de lipoxydases qui catalysent l'oxydation mais s'accompagnent de plusieurs antioxydants naturels (tocophérols) et d'un substrat d'huile en grande partie globulaire. Le son de riz étuvé perd son activité de lipoxydase pendant le traitement thermique du riz, mais en même temps il perd aussi la capacité antioxydante dans une mesure correspondant à la rudesse du traitement, par suite de la dégradation thermique des tocophérols; la graisse du son de riz étuvé perd plus ou moins sa forme globulaire et on la trouve dispersée, c'est-à-dire offrant une plus grande surface à l'oxydation.

Dans les études de stockage faites sur du son de riz brut et étuvé¹ logé en sacs de polythène, non hermétiquement clos, sous éclairage diffus à température ambiante, on a constaté que l'indice de peroxyde du son brut augmente plus vite et atteint des valeurs plus élevées que dans le son étuvé. Les calculs ont été faits à intervalles de 12 heures pendant une période de 120 heures [51]. Ces résultats vont à l'encontre du fait bien connu que le riz étuvé est plus sensible aux changements oxydants que le riz brut.

Dans un récent article, Sowbhagya et Bhattacharya [52] ont confirmé que le riz brut change moins et plus lentement (valeurs plus basses des indices de peroxyde et de carbonyle) que le riz étuvé quand l'un et l'autre sont stockés dans des conditions comparables, à la lumière ou dans l'obscurité. Il faut toutefois signaler que lorsque les deux types de riz sont moulus jusqu'à une granulométrie inférieure au tamis 80 et ensuite stockés dans l'obscurité à 60 °C en récipients ouverts, la vitesse d'auto-oxydation augmente très sensiblement dans le riz brut, alors qu'elle augmente à peine dans un échantillon de riz étuvé. En conséquence, les deux farines manifestent des comportements très similaires qualitativement et quantitativement.

On ne paraît pas avoir déterminé la relation entre l'indice de carbonyle et la découverte d'une odeur de rassis dans le son. Dans le riz étuvé, l'odeur de rassis est constatée avec 100 à 200 M environ par gramme de graisse alors que dans le riz brut on la remarque déjà avec 30 M par gramme de graisse.

Un phénomène heureusement sporadique qui se produit pendant le stockage du son est l'allumage et la combustion spontanée. Il se produit aussi dans d'autres substances oléagineuses et paraît associé à la formation de produits d'oxydation d'acides gras non saturés. Les températures élevées, l'atmosphère humide, la pulvérulence du son et l'élimination incomplète du solvant de son dégraissé sont considérées comme favorisant l'inflammation. Bien que le problème ne se pose pas souvent, il ne faut pas sous-estimer le danger qu'il entraîne pendant le transport et le stockage et les conséquences peuvent

¹Le riz brun, après trempage dans l'eau pendant la nuit, est cuit à l'eau pendant une heure et séché au soleil.

être graves. En dépit du danger, on ne connaît pas ce phénomène dans le détail et l'on ne paraît pas avoir déterminé ses véritables causes. On ne peut donc proposer comme mesures de prévention que celles qui consistent à éviter les conditions mentionnées plus haut.

Mycotoxines

Des recherches considérables ont été faites sur la présence de mycotoxines dans le riz mais il y en a relativement peu sur leur présence dans le son, soit au moment de la production en usine, soit pendant un stockage prolongé, bien que, comme l'ont montré Schroeder, Boller et Hein [53], de 60 à 80 % (en poids) des toxines du riz usiné passent dans le son et le polissage pendant le traitement. Ces fractions peuvent contenir certaines toxines en concentrations dix fois plus fortes que dans le riz usiné. Les chances d'incorporation délibérée de balle au son aggravent encore la situation.

Un petit échantillon provenant de rizeries espagnoles, en 1971, a donné des résultats négatifs dans tous les cas (Barber et autres [54]). Leur teneur en humidité variait de 7 à 16 % en acides gras libres de pratiquement zéro à 23 % (voir tableau II). Les preuves répétées de la présence de mycotoxines dans de nombreux pays et le fait que, dans tout envoi, les mycotoxines peuvent se multiplier rapidement et en grandes quantités quand les conditions sont favorables à la croissance de micro-organismes, justifieraient qu'on entreprenne dans certaines zones des études qui permettraient d'évaluer les risques.

TABLEAU II. RÉSULTATS D'ÉCHANTILLONNAGES EFFECTUÉS DANS LES RIZERIES ESPAGNOLES POUR DÉCELER LA PRÉSENCE ÉVENTUELLE D'AFATOXINES DANS LE SON ET LA BALLE

Echantillon	Humidité (pourcentage)	Acides gras libres ^a (pourcentage d'acide oléique)	Aflatoxine B ₁
Son			
1	11,3	15,1	négatif
2	11,8	14,0	négatif
3	9,2	3,5	négatif
4	12,7	12,5	négatif
5	14,6	1,6	négatif
6	10,7	12,0	négatif
7	9,5	11,3	négatif
8	10,4	11,5	négatif
9	9,1	9,2	négatif
10	8,7	10,0	négatif
11	10,0	7,7	négatif
12	10,2	8,3	négatif
13	15,9	23,4	négatif
Balle			
1	10,7	0,1	négatif
2	6,7	0,7	négatif

Source : Barber et autres [54].

^aIndications supplémentaires fournies par J. Botey.

Références

1. J. L. Multon et H. Bizot, "Les interactions physico-chimiques entre l'eau et les aliments : leurs conséquences technologiques dans le cas de la conservation des céréales et du rassissement du pain", J. Buré, *Le Pain* (Paris, Centre national de la recherche scientifique, 1979), p. 43 à 79.
2. A. Guilbot et A. Lindenberg, "Eau non solvante et eau de sorption de la cellule de levure", *Biochimica et Biophysica Acta*, n° 39, 1960, p. 389 à 397.
3. O. R. Fennera, "Water and ice", *Principles of Food Science*, pt. I: Food Chemistry, O. R. Fennera, ed. (New York, Marcel Dekker, 1976).
4. Y. Aizono et autres, "Biochemical studies on rice bran lipase: III. Enzymic properties of rice bran lipase", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokyo), vol. 37, n° 9 (1973), p. 2031 à 2036.
5. Y. Aizono et autres, "Biochemical studies on rice bran lipase: IV. Purification and characterization of rice bran lipase II", *Agricultural and Biological Chemistry Journal* (Tokyo), vol. 40, n° 2 (1976), p. 317-324.
6. S. Barber, *Basic Studies and Ageing of Milled Rice and Application to Discriminating Quality Factors*; Rapport final, projet n° E-25-AMS-(9) (Washington, D.C., Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1969).
7. B. M. Kennedy, *Investigations on the Overmilling Process for Producing High Protein Flour from White Rice*, premier rapport annuel 1968; deuxième rapport annuel 1969; troisième rapport annuel 1968 (Berkeley, Californie, 1969).
8. D. W. Hall, *Manutention et emmagasinage des graines alimentaires dans les régions tropicales et subtropicales*. FAO, Progrès et mise en valeur, *Agriculture*, n° 90, Rome 1971.
9. R. D. Muller et autres, "The response of chicks, ducklings, goslings, pheasants and poults to graded levels of aflatoxins", *Poultry Science*, n° 49, 1970, p. 1 346 à 1 350.
10. R. A. Boller et H. W. Schroeder, "Aflatoxin-producing potential of *Aspergillus flavus-oryzae* isolates from rice", *Cereal Science Today*, n° 11, 1966, p. 432.
11. H. Iizuka, "Facing microbiological problems during postharvest handling, conditioning and storage of rice", communications au cinquième Congrès mondial des céréales et du pain, Dresde (République démocratique allemande), 24-29 mai 1970.
12. H. Kurata et autres "A mycological examination for the presence of mycotoxin-producers on the 1954-1967's stored rice grains", *Bulletin of the National Institute of Hygienic Sciences*, n° 86, 1968, p. 183 à 188.
13. E. Hernandez, R. Vila et J. Garcia, "Microflora del arroz elaborado: I. Flora de molinos industriales", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 8, n° 2 (1968) p. 240 à 248.
14. E. Hernandez, R. Vila et M. Hervas, "Microflora del arroz elaborado: II. Evolución durante el almacenamiento", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 8, n° 4 (1968), p. 510 à 516.
15. "Prévention des micotoxines", *Alimentation et nutrition*, n° 10 (Rome, FAO, 1979).
16. R. N. Chapman et L. Baird, "The biotic constants of *Tribolium confusum* Duval", *Journal of Experimental Zoology*, n° 68, 1974, p. 293 à 304.
17. C. S. Viraktamath, R. Rao et H. S. R. Desikachar, Rapport du projet n° 298 (Mysore, Central Food Technological Research Institute, 1972).

18. E. Tortosa et C. Benedito de Barber, données inédites, 1978.
19. S. Barber, C. Benedito de Barber et J. Martinez, "Proteínas del salvado de arroz: II. Valor potencial de las fracciones de salvado de arroz como ingredientes de alimentos proteicos", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 21, n° 2 (1981), p. 247 à 258.
20. Y. Pomeranz, "Biochemical, functional and nutritive changes during storage", *Storage of Cereal Grains and their Products*, C. M. Christensen, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1974).
21. E. Tortosa, données inédites, 1978.
22. M. G. Legendre et autres, "Instrumental analysis of volatiles from rice and corn products", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 26, n° 5 (1978), p. 1 035 à 1 038.
23. F. M. Cea et P. B. Sutaria, "Analysis of seven varieties of rice bran and hull: 1. Proximate composition and effect of storage", *Natural and Applied Science Bulletin*, vol. 20, n° 4 (1967), p. 373 à 382.
24. A. B. Snaheen, A. A. El-Dash et A. E. El-Shirbeeny, "Effect of parboiling of rice on the rate of lipid hydrolysis and deterioration of rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 52, n° 1 (1975), p. 1 à 8.
25. M. Aslam et G. M. Ali, "Preliminary studies on the storage characteristics of indigenous rice-bran and its oil", *Scientist*, vol. 6, n° 1/2 (1963), p. 25 à 29.
26. K. Yokochi, "Rice bran processing for the production of rice-bran oil and rice-bran protein meal", communication à la Réunion du groupe d'experts chargé d'examiner les problèmes de préinvestissement et les critères techniques et économiques de la production dans l'industrie des graines oléagineuses, Vienne (Autriche), 16-20 octobre 1972 (ID/WG.120/9/Rev.1 and summary).
27. K. Yasumatsu, *Studies on the Effects of Lipid on the Rheological Properties of Starch* (Osaka, Takeda Chemical Industries, 1965).
28. S. Barber, C. Benedito de Barber et J. Guardiola, "Almacenamiento de arroz elaborado: V. Cambios en los azúcares según la localización en el grano", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 8, n° 1, (1968), p. 89.
29. K. Yasumatsu et S. Moritaka, "Fatty acid compositions of rice lipid and their changes during storage", *Agricultural and Biological Chemistry Journal*, vol. 28, n° 5 (1964), p. 257 à 264.
30. B. P. Panduranga Rao, S. A. Ahmed et S. D. T. Rao, "Factors affecting the free fatty acid changes in rice bran", *Indian Oil and Soap Journal*, vol. 32, n° 7 (1967), p. 203 à 210.
31. W. W. Meinke, B. R. Holland et W. D. Harris, "Solvent extraction of rice bran: Production of B-vitamin concentrate and oil by isopropanol extraction", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, octobre 1949, p. 532 à 534.
32. J. R. Loeb, N. J. Morris et F. G. Dollear, "Rice bran oil extraction process", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, n° 25, 1949, p. 738 à 743.
33. E. I. Sidhom, A. M. El-Tabey Shehata et Z. S. Mohasses, "Effect of storage conditions on the formation of fatty acids in rice bran", *Alexandria Journal of Agricultural Research*, vol. 23, n° 1 (1975), p. 101 à 107.
34. J. S. Kumar David et autres, "Quality of bran oil as influenced by the conditions of storage of rice bran", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 2, n° 3/4 (1965), p. 113 et 114.

35. S. I. El Hinnawy, "Specificity and nature of lipolytic enzymes in rice bran", *Oil Soap (Egypte)* vol. 8, n° 1 (1961), p. 23 et 24.
36. S. Barber, "Milled rice and changes during ageing", *Rice: Chemistry and Technology*, D. F. Houston, ed. (St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972), chap. 9, p. 215 à 263.
37. J. R. Loeb et R. Y. Mayne, "Effect of moisture on the microflora and formation of free fatty acids in rice bran", *Cereal Chemistry*, vol. 23, n° 3 (1952), p. 163 à 175.
38. Instituto de Investigaciones Tecnológicas, "Production of oil from rice bran", *Arroz (Colombie)* vol. 9, n° 107 (1961), p. 8 à 13.
39. B. N. Srimani et autres, *Stabilization of Rice Bran in Closed Circuit Fluidized Bed Heat Transfer System*, Rapport final du projet CSIR n° 4 (14) (Jadavpur, Inde), Université de Jadavpur, 1972.
40. P. Pillaiyar, "Post-stabilisation changes in rice bran", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 11, n° 1 (1979), p. 16 à 18.
41. P. Chattopadhyay et B. N. Srimani, "Microbial degradation of rice bran in enhancing the free fatty acids in rice bran oil", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 9, n° 1 (1972), p. 37 et 38.
42. A. Canale, C. Sarra et E. Caramello, "Further contribution on the knowledge of the nutritive value of the rice hull: II. The variations of free fatty acids in the lipidic quote during storage and the rancid process", *Atti della Societa Italiana delle Scienze Veterinarie*, n° 20, 1966, p. 333 à 337.
43. B. Panduranga Rao et autres, "Rice and wheat germ oils", *Journal of the Oil Technologists Association of India*, vol. 4, n° 3 (1972), p. 87 et 88.
44. B. S. Vasan et autres, "Separation, processing and utilization of rice germ", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 16, n° 3 (1979), p. 116 à 118.
45. J. L. Gomez Fabra et E. Primo Yuffera, "Industrial utilization of the by-products: IX. Stabilization of the germ and the bran", *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química, Serie B: Química*, vol. 49, n° 12 (1953), p. 804 à 808.
46. F. de Rege, "Lipase fermentation of rice oils: part I", *Annali (Vercelli)*, n° 1, 1953, p. 101-123.
47. F. de Rege, "Lipase fermentation of rice oils: part II", *Annali (Vercelli)*, n° 2, 1954, p. 181 à 201.
48. F. de Rege, "Lipase fermentation of rice oils: part III", *Annali (Vercelli)*, n° 3, 1954, p. 67 et 68.
49. I. Blanco et S. Barber, "Estudio de la variación del germen de arroz a lo largo de una campaña", mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de technologie alimentaire (Valence, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 1971).
50. P. S. Sarda, "Processing of rice bran oil of edible grade", compte rendu du Séminaire sur l'huile de son de riz comestible, Bombay, 23-26 novembre 1977 (Bombay Solvent Extractors' Association of India), p. 75 à 78.
51. M. Hussain, A. M. Karim et M. O. Gani, "Effect of storage on some chemical characteristics of rice bran oil", *Bangladesh Journal of Biological and Agricultural Sciences*, vol. 2, n° 2 (1973), p. 7 à 10.
52. C. M. Sowbhagya et K. R. Bhattacharya, "Lipid autoxidation in rice", *Journal of Food Science*, vol. 41, n° 5 (1975), p. 1 018 à 1 023.

53. H. W. Schroeder, R. A. Boller et H. Hein, "Reduction in aflatoxin contamination of rice by milling procedures", *Cereal Chemistry*, vol. 45, novembre 1968, p. 574 à 580.
54. S. Barber et autres "Problemas que se plantean en el establecimiento de la tipificación de los subproductos del arroz", *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, vol. 12, n^o 1 (1972), p. 33 à 44.

ABSTRACT

The annual production of rice bran is approximately 40 million tonnes. Out of this 6-8 million tonnes consists of edible oil, a similar quantity consists of high-quality protein, and there is a high proportion of vitamins, trace elements and other nutrients. In spite of this, rice bran is at present an under-utilized by-product.

There is a great deal of information on rice bran, but it is widely scattered and difficult to obtain, in some cases muddled and in others incorrect and generally fragmentary. A publication which assembles, classifies and critically examines the information available will therefore be useful for teachers, researchers and industrialists concerned with the post-harvesting technology of rice and, in particular, with the problems relating to a by-product as valuable as rice bran.

The United Nations Industrial Development Organization is aware of the importance of this subject and of the need for a comprehensive source of information, and has therefore published the present volume, which simultaneously assembles and analyses the existing information on the subject and presents a rational and systematic discussion of the scientific and technical basis of the industrial processing of bran.

The publication covers in its six chapters the production of bran, the basic principles of stabilization, the characteristics of the by-product, control of the process, the technology for stabilization, and the problems of conservation and storage.

The subject of bran production is dealt with from its beginnings, with an analysis of the rice grain and an examination of the manufacturing process, attention always being focused on the by-product, bran, rather than the primary product, rice. An understanding of the grain as the raw material for the production of bran must include a knowledge of its morphology, microscopic structure and chemical composition. The entire process of bran production is discussed: cleaning, husk removal, husk separation, paddy separation, whitening, polishing, collection of fractions of bran and germ separation. Various types of plant are discussed with the aid of numerous diagrams, covering the technologies, ranging from the simplest to the most sophisticated, that are used throughout the rice belt.

Two chapters deal fully and in detail with the problem of stabilization. In chapter II the basic principles of stabilization are set out, with descriptions of the inactivation of enzymes, the destruction of micro-organisms and the control of other harmful constituents. This information is supplemented by a consideration of stabilization methods, the stability of the constituents of bran, and the effects of the different treatments on the composition and properties of the by-product.

A chapter is devoted to the morphology, anatomy, histology and histochemistry of the discrete particles that make up commercial rice bran. Special attention is paid to the rice germ.

In dealing with the control of rice bran production, the work systematically analyses the methods for measuring the degree of milling and their application to process control in the husk-removing, whitening, polishing and grading stages.

Otro capítulo de la publicación está dedicado al almacenamiento del salvado. En él se describen los distintos tipos de deterioro, se analizan las causas y factores que los determinan, y se estudian los cambios que se producen en la composición química y en las propiedades del subproducto.

El capítulo V está dedicado a la tecnología específica de la estabilización. Se revisan los métodos físicos y químicos de estabilización, dedicándose especial atención a los procedimientos térmicos y se describen y examinan críticamente los procesos, en sus múltiples variantes y condiciones, así como la maquinaria correspondiente. Cierra este capítulo el análisis de los criterios de evaluación de los métodos de estabilización.

La publicación incluye gran número de tablas, gráficos, esquemas, fotografías y material fotomicrográfico, que contribuyen a la comprensión de la información presentada. Las referencias bibliográficas, cuidadosamente seleccionadas y muy abundantes, respaldan los conceptos y opiniones expresados en el texto y proporcionan fuentes de información adicional.

EXTRACTO

La producción anual de salvado de arroz se aproxima a los 40 millones de toneladas. De ellas, de 6 a 8 millones corresponden a aceite comestible, y otras tantas a proteínas de buena calidad, así como a una elevada proporción de vitaminas, oligoelementos y otros nutrientes. A pesar de ello, el salvado es, en la actualidad, un subproducto insuficientemente utilizado.

Existe mucha información sobre el salvado de arroz, pero está muy dispersa y es difícil de obtener, en algunos casos, confusa, e: otros, incorrecta y, en general, fragmentaria. Una publicación que recoja, ordene y analice críticamente la información, será, por tanto, útil para los educadores, investigadores e industriales interesados en la tecnología postcosecha del arroz y, en particular, en la problemática de ese valioso subproducto que es el salvado.

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, consciente de la importancia del tema y de la necesidad de contar con una fuente global de información, ha editado el presente volumen, en el que al mismo tiempo se reúne y analiza la información existente sobre el tema y se presentan y discuten, de forma sistemática y razonada, las bases científicas y técnicas de la industrialización del salvado.

La publicación incluye, a lo largo de sus seis capítulos, la producción del salvado, los principios fundamentales de la estabilización, las características del subproducto, el control del proceso, la tecnología de la estabilización, y la problemática de su conservación y almacenamiento.

El tema de la producción de salvado se aborda desde su origen, analizándose el grano de arroz y examinándose el proceso de elaboración, con la atención siempre centrada en la obtención del subproducto, el salvado, antes que en la del producto primario, el arroz. El conocimiento del grano como materia prima para la producción de salvado incluye la morfología, la estructura microscópica y la composición química. Se examina todo el proceso de la producción de salvado: limpia, descascarillado, separación de la cascarilla, separación del palay, blanqueo, pulido, recolección de las fracciones de salvado y separación del germen. Se examinan diversos tipos de plantas con ayuda de numerosos diagramas sobre las tecnologías, desde las más simples a las más complejas, utilizadas en todo el cinturón arrocero.

Dos capítulos tratan, con amplitud y detalle, del problema de la estabilización. En el capítulo II se exponen los principios básicos de la estabilización: describiéndose la inactivación de enzimas, la destrucción de microorganismos y la lucha contra otros componentes perjudiciales. Esta información se complementa con un análisis de los métodos de estabilización, la estabilidad de los componentes del salvado y los efectos de los distintos tratamientos sobre la composición y las propiedades del subproducto.

Un capítulo está dedicado a la morfología, anatomía, histología e histoquímica de las partículas discretas que constituyen el salvado comercial. Se concede especial atención al germen de arroz.

Al tratar del control de la producción del salvado de arroz la obra analiza sistemáticamente los métodos de medida del grado de elaboración y su aplicación al control del proceso en las etapas de descascarillado, blanqueo, pulido y clasificación.

Another chapter of the publication is devoted to the storage of rice bran. It describes the different types of deterioration, analyses the causes and factors that determine them, and discusses the changes that take place in the chemical composition and properties of the by-product.

Chapter V is devoted to the specific technology for stabilization. It reviews physical and chemical methods of stabilization, paying particular attention to processes using heat, and it describes and critically examines the processes, with their many variants and diverse conditions, and the corresponding machinery. The chapter ends with an analysis of the criteria for evaluating stabilization methods.

The publication includes a large number of tables, graphs, diagrams and photographs and some photomicrographic material to contribute to the understanding of the information presented. The wealth of carefully chosen bibliographical references reinforce the facts and opinions in the text and provide sources of additional information.

