

# Historique et prospective des technologies de stockage et de conservation des grains et graines

par J.L. MULTON \* et F. SIGAUT \*\*

**Le problème de la conservation des aliments s'est posé dès la préhistoire, lorsque les hommes, devenus plus nombreux, commencèrent à vouloir étaler dans le temps l'utilisation des ressources temporaires, et surtout saisonnières, de leur environnement. Parmi ces ressources, les grains et graines, d'une valeur nutritive élevée, concentrée sous un faible volume, ne pouvaient que prendre une importance croissante. C'est alors sans doute que les premières communautés de quelque importance purent se sédentariser, inventer de nouvelles structures sociales (hiérarchies) et de nouvelles techniques (agriculture et élevage, poterie, tissage...). Toutes ces innovations se produisirent d'une manière bien plus dispersée, plus indépendante, qu'on ne l'imaginait autrefois lorsqu'on les associait sous le terme de « Révolution néolithique ». La première d'entre elles en date et celle sans doute qui a été la condition nécessaire de toutes les autres, est très vraisemblablement le stockage alimentaire.**

Depuis cette époque reculée, les céréales et d'une manière générale les grains et graines, n'ont cessé d'être la principale ressource alimentaire de l'homme, situation qui ne changera probablement pas d'ici la fin de ce deuxième millénaire.

Seul le mode de consommation de ces denrées a évolué au fil des années : longtemps directe, après une cuisson simple (bouillies, pâtes, galettes), après fermentation et cuisson (pain), ou après fermentation (boisson) l'utilisation alimentaire des grains depuis cinquante ans, dans les pays industrialisés, passe de plus en plus par la transformation en protéines animales (élevage), avec, il faut le souligner, un très mauvais rendement.

Très récemment un mouvement inverse s'est timidement amorcé avec le développement de la culture des graines protéagineuses dont on extrait et traite les protéines dans les filières industrielles alimentaires ad hoc, pour les utiliser en tant que telle. Cette tendance, dont on ne sait encore ce qu'il adviendra, reste pour l'instant marginale par rapport à la filière alimentaire animale.

Mais quelle que soit cette évolution et quel que puisse être son devenir, il y a une étape qui est, et demeurera obligatoire, c'est celle du stockage et de la conservation des grains et graines, entre la récolte et l'utilisation.

A cet égard, il faut savoir que les pertes annuelles mondiales sont

considérables : elles représentent au moins 10 % de la production mondiale et peuvent atteindre 40 % dans les zones chaudes et humides (F.A.O., 1982), les évaluations étant très difficiles à faire dans ce domaine.

Soulignons que le stockage ou la conservation ne peuvent être discutés stricto sensu. En effet, les technologies de stockage sont étroitement liées et dépendantes de l'amont (agronomie, sélection variétale, pratique culturale) et de l'aval (industries utilisatrices) ; elles nécessitent par ailleurs la connaissance et la mise en œuvre de disciplines extrêmement variées : biologie, microbiologie, entomologie, thermodynamique, mécanique, manutention, résistance des matériaux, génie civil, etc. De ce fait, l'étude du stockage est une activité essentiellement pluri-disciplinaire qui exige la collaboration étroite de spécialistes très différents. C'est cet ensemble de technologies, qualifié parfois de « systèmes post-récolte », qui nous intéresse ici.

Le stockage, dont on perçoit l'importance absolument essentielle pour la survie de millions d'hommes, offre à l'analyse plusieurs fonctions très différentes :

- une fonction technique, qui correspond à l'équipement technologique et aux connaissances scientifiques du moment.
- une fonction sociale et économique, par le marché, les échanges, les tran-

sactions qu'il suppose et les intérêts financiers qu'il met en jeu,

- une fonction politique, car les réserves alimentaires figurent toujours en bonne place dans les préoccupations des gouvernements, à toutes les époques et sous tous les régimes,
- une fonction stratégique, les céréales étant l'élément principal de ce que l'on a appelé l'« arme alimentaire ».

Avant d'aborder l'étude historique et prospective du stockage, il n'est sans doute pas inutile de rappeler en quelques mots les données scientifiques du problème (MULTON, 1982).

Il faut en particulier souligner qu'un stock de grains est un écosystème artificiel, créé par l'homme et constitué d'un ensemble de différentes entités vivantes : d'une part et obligatoirement les grains avec leur germe et les micrororganismes (moisissures, levures, bactéries) ; d'autre part, de façon non obligatoire mais cependant très fréquente, les animaux prédateurs (acariens, insectes, oiseaux).

Cet écosystème est caractérisé par sa nature physique granulaire où l'espace gazeux interstitiel représente 40 % du volume apparent : de ce fait on peut faire « couler » les grains, qui se comportent comme un fluide (d'où une manipulation aisée en vrac), et il est possible d'insuffler de l'air sous légère pression dans la masse même des grains (ventilation).

L'ensemble est un excellent isolant thermique et un mauvais accumulateur de chaleur, ce qui fait que la production de chaleur liée aux phénomènes vitaux engendre localement de rapides élévations de température du système.

Les grains sont enfin caractérisés par leur grande hygroscopicité (aptitude à absorber la vapeur d'eau jusqu'à l'équilibre entre la teneur en eau des grains et l'humidité relative de l'air intergranulaire, mesurée par la courbe de sorption).

Les principales altérations des grains stockés résultent de l'activité métabolique de l'écosystème. En dernière analyse, la conservation et le stockage des grains ne sont pas autre chose que la stabilisation momentanée de

\* Ingénieur ENSIA, Docteur ès-Sciences Directeur du Laboratoire de Stockage et Conservation des Denrées Alimentaires I.N.R.A., rue de la Géraudière, 44072 NANTES Cedex.

\*\* Ingénieur Agronome I.N.A. Docteur en Ethnologie Maître-Assistant à l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales, 54, Bd Raspail, 75270 PARIS Cedex 06.

l'écosystème et de son activité vitale, visant à maintenir l'intégralité de l'énergie chimique accumulée dans les grains (principalement sous forme d'amidon, grâce à la photo-synthèse, de protéines et de lipides) en évitant la dégradation de ce stock énergétique (essentiellement en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, et chaleur) ou sa conversion en biomasse microbienne ou animale. Deux types de métabolismes peuvent prendre place : soit un métabolisme aérobie, les grains, les microorganismes et les animaux respirant grâce à l'oxygène de l'air, soit un métabolisme anaérobie fermentaire (bactéries responsables de fermentation alcoolique, acétique, lactique, butyrique). Le métabolisme aérobie s'auto-entretient et même s'auto-accélère ; le métabolisme fermentaire, beaucoup moins actif, tend à s'auto-ralentir.

Il faut ajouter à ces altérations biologiques, des altérations de nature chimique (réactions enzymatiques, réactions de Maillard, dénaturation des protéines, dégradation des glucides, oxydations) et mécanique.

Les vitesses de ces différents types d'altération dépendent étroitement des facteurs du milieu : température, humidité, oxygénation et durée, qui ont tous un effet d'autant plus pernicieux qu'ils sont à un niveau plus élevé.

Le maintien au plus haut degré de qualité possible des propriétés nutritionnelles, organoleptiques et technologiques des grains, la faible valeur ajoutée de l'opération stockage, limitent considérablement le choix des techniques de conservation, excluant celles qui altéreraient la qualité et celles qui sont trop coûteuses.

A cet égard, on peut de manière très schématique distinguer deux cas :

- **Pour les grains secs ou semi-secs** la conservation est assurée soit par stockage en sac dans des locaux frais et secs, soit par stockage en vrac, sur aire, en grenier ou en cellule ; en vrac l'évacuation des calories et de la vapeur d'eau se fait par manutention des grains (pelletage sur aire, transilage des cellules ou par ventilation forcée). Des moyens de protection chimique peuvent être également utilisés contre les insectes et les moisissures. Plus sophistiqué, le stockage en cellule étanche (sous CO<sub>2</sub>, sous gaz inerte, ou sous vide) protège contre les insectes, les oxydations et les moisissures.

- **Pour les grains humides** on peut procéder à un séchage lent, naturel, à l'air ambiant, des grains maintenus en

épi (en gerbes, sur le champs ou en grenier ; en cribs,...) mais les techniques de séchage rapide à l'air chaud avant stockage, de fermentation anaérobie (ensilage, en alimentation animale) ou de stabilisation microbiologique par des produits chimiques, sont à la fois plus sûres et plus hygiéniques.

## 1. Historique du stockage et de la conservation des céréales

### 11. De la préhistoire à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle

Avant le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, il importe de distinguer : (1) les techniques utilisées dans la pratique, et (2) l'évolution des idées dans le domaine de la recherche scientifique et technologique. C'est au début du XVIII<sup>e</sup> que paraissent les premiers travaux de caractère véritablement scientifique sur la conservation des grains. Mais ce n'est pas avant les années 1950 en France, 1920 en Allemagne et aux Etats-Unis, que les recherches sont effectivement mises à profit dans la pratique de façon courante.



Fig. 1 : Grenier d'ASTURIAS de plan carré, en bois

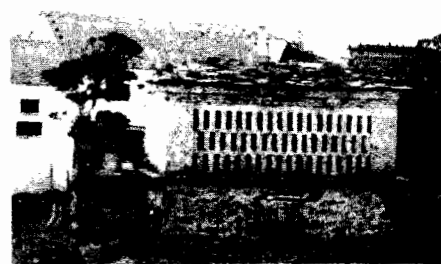


Fig. 2 : Grenier de Gabice de plan rectangulaire, en brique

### 111. Les techniques

La conservation des grains, et des produits céréaliers en général, n'est qu'exceptionnellement une tâche simple. Pour identifier sans ambiguïté les techniques utilisées, autrefois comme aujourd'hui et dans le monde entier, il faut distinguer quatre sortes d'opérations :

- des opérations préalables de **préparation** des produits avant le stockage (séchage, étuvage) ;

- des opérations de **conservation** proprement dites, pendant le stockage, qui consistent à contrôler plus ou moins l'ambiance physico-chimique des produits stockés ;

- des opérations de **préservation**, également pendant le stockage, qui consistent en général à traiter les produits stockés contre un ennemi plus ou moins spécifique (insectes, mais aussi moisissures, etc.) ;

- et enfin des opérations de **logement** des produits, qui sont en quelque sorte la façon dont les solutions précédentes sont appliquées au niveau de la construction et de l'agencement des bâtiments, en accord ou en compromis avec d'autres solutions aux problèmes de manutention, de résistance des matériaux, etc. (stockage vertical, horizontal, etc.).

Nous laisserons largement de côté dans ce qui suit tout ce qui concerne les techniques de **préservation**. Dans les sociétés pré-industrielles, Y. de Luca (1980) a fait un inventaire très détaillé des poudres et ingrédients de toutes sortes utilisés pour éloigner oiseaux, rongeurs et insectes des greniers. Dans les pays industriels, on peut ranger sous la rubrique « préservation » les traitements insecticides, bactéri- et fongistatiques : leur histoire, même pour des périodes très récentes, est remarquablement mal connue.

#### 1111. Les opérations de préparation : étuvage, séchage

L'**étuvage (parboiling)** est une technique fort peu connue du public, et même des industriels, en France. Elle consiste en une sorte de précuisson du grain à l'eau chaude, suivie d'un séchage rapide. L'opération a des avantages nutritionnels (enrichissement de l'amande du grain en vitamines hydrosolubles de l'enveloppe), culinaires (le riz étuvé ne « colle » pas), elle facilite également la séparation de l'amande et de ses enveloppes, et enfin, en stérilisant pratiquement le grain, améliore considérablement la durée de sa conservation.

L'étuvage est de tradition ancienne en Inde pour le riz (Gariboldi 1974), mais aussi au Proche-Orient pour le blé consommé sous forme de gruau (**bulgur**). Il n'était pas inconnu en Europe : le gruau d'avoine en Suisse et en Autriche (**Haberkern, Habertaiggen**) était étuvé et conservé sous cette forme. Le procédé a été adopté par les industriels américains qui en ont fait un puissant argument de vente pour le riz.

Le **séchage** au contraire de l'étuvage, s'est toujours pratiqué un peu partout. Mais ce n'est que dans certaines régions qu'il avait une importance suffisante pour donner lieu à des installations spéciales. Le séchage artificiel était traditionnel en Europe du Nord, sous deux formes différentes :

- dans les Pays Baltes et en Russie du Nord, on séchait le grain en gerbes, à température modérée, dans des séchoirs spéciaux au bois appelés en russe **riga** (cf. la ville de ce nom en Lettonie) ; le grain y conservait sa capacité germinative ;

voie sèche. Son développement se poursuit en Grande-Bretagne et en Allemagne, où les récoltes ont d'ordinaire une humidité supérieure de plusieurs points à celle qui s'observe en France. Il faut attendre la montée du maïs au Nord de la Loire après la dernière guerre, et surtout sa récolte à la moissonneuse-batteuse, pour que le séchage artificiel des grains fasse sa réapparition en France.

### 1112. La conservation du grain en épis

En épis, le grain se conserve beau-



Fig. 3 : Etuve de séchage avec écoulement du grain par gravité. (DUHAMEL DU MONCEAU, 1740).

- dans les Pays scandinaves au contraire, et dans le Nord des Iles britanniques, on séchait le grain en vrac, dans des sortes de fours, à température relativement élevée ; le grain n'y conservait pas sa capacité germinative.

En Europe occidentale toutefois, le séchage artificiel des grains, peut-être pratiqué à l'Age du Fer et jusqu'au début du Moyen Age, avait complètement disparu lorsque les premières « étuves » à sécher les grains firent leur apparition en Italie dans les années 1730. De nombreux chercheurs, parmi lesquels Duhamel du Monceau, s'y intéressent dès les années 1740. Mais quelques municipalités suisses (Genève, Berne...) furent apparemment les seules à les adopter pour leurs greniers de réserve.

Le séchage des grains ne se développe vraiment qu'à partir des années 1820 et 1830, après que l'usage de laver les blés eut commencé à se répandre en meunerie. En 1847, Rollet recense déjà 16 modèles de séchoirs à grains, dont l'un, à tambours rotatifs, est utilisé aux entrepôts de La Villette. Par la suite toutefois, le séchage disparaît à nouveau de la pratique en France, avec l'abandon du lavage des blés au profit de leur nettoyage par

coups plus facilement qu'en vrac, sans exiger autant de volume qu'en gerbes. C'est pourquoi la conservation en épis a eu dans le passé une très grande importance, surtout dans les agricultures les plus primitives. Les noms du grenier en allemand (**Speicher**) et en Portugais (**espigueiro**) viennent du bas-latin **spicarium**, « grenier à épis », indice sans doute de cette importance passée du stockage en épis en Europe. En Afrique, le stockage du mil et du sorgho en épis, en général dans des greniers surélevés et aérés, est toujours de pratique courante ; c'est une des méthodes, semble-t-il, qui comportent le moins de pertes.

En Europe, le stockage en épis, disparu au Moyen Age au profit du stockage en gerbes pour les céréales à paille, s'est sans doute maintenu plus longtemps pour les millets. Assez longtemps en tout cas pour qu'à l'arrivée du maïs, au XVI<sup>e</sup> siècle, celui-ci ait trouvé tout naturellement sa place dans les anciens greniers à épis. C'est ainsi que les magnifiques **espigueiros** du Portugal et de la Galice, en pierres ajourées pour laisser passer l'air, sont techniquement des **cribs** ; on trouve des structures semblables, mais plutôt en bois, dans les pays danubiens et balkaniques. En France toutefois, le maïs n'était

conservé qu'en guirlandes sous l'auvent des maisons, ou encore en couches sur le plancher du grenier : c'est seulement après la dernière guerre que les **cribs** furent introduits chez nous, à l'imitation de l'Amérique d'où nous venaient au même moment les premiers hybrides

### 1113. La conservation du grain en gerbes

En gerbes mieux encore qu'en épis, le grain est protégé contre l'échauffement et les insectes (au moins les charançons). Mais les gerbes exigent davantage de travail à la récolte et au transport, plus des volumes de stockage considérables (granges) : ce n'est qu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, avec l'amélioration de la sécurité dans les campagnes, qu'il devint possible d'entasser les gerbes en plein champ, formant ces meules spectaculaires qui ont animé nos paysages jusque dans les années 1950. Tout cela explique que la conservation des grains en gerbes soit une méthode assez tardive dans l'histoire, et assez rare dans le monde, puisqu'elle est propre à l'Europe, et même à une partie de l'Europe, depuis le Haut Moyen Age.

Malgré son coût relativement élevé, le stockage en gerbes avait deux avantages. Il permettait de répartir le battage sur tout l'hiver, donnant ainsi du travail aux ouvriers sans terre qui n'en avaient souvent pas d'autre : c'est ainsi que la machine à battre, apparue dès 1786 en Ecosse, put se développer normalement dans les régions industrielles de ce pays et du Nord de l'Angleterre, alors que dans le Sud rural de celle-ci, l'opposition des fermiers, puis une série d'émeutes dans les années 1830, bloquèrent son développement jusque vers 1850. Le second avantage du stockage en gerbes, c'était de permettre une bonne conservation sans séchage artificiel de grains relativement humides. C'est ce qui explique que la moissonneuse-batteuse, techniquement plus simple et inventée avant la lieuse (les dates sont 1836 et 1865 respectivement), ne fut en fait utilisée que bien plus tard : dans les conditions du Midwest, le grain récolté en vrac ne se conservait pas.

C'est ainsi que le système gerbes-grange-battage différé, apparu quelque part en Europe occidentale au début du Moyen Age, resta en pleine vigueur jusque dans les années 1950. La faux, puis la batteuse (utilisables en plusieurs fois), puis les différents types de plus en plus perfectionnés de moissonneuses, y compris la lieuse, ne modifièrent nullement la structure

du système. Elles lui donnèrent au contraire une efficacité multipliée, déterminant une extension géographique considérable.

#### 1114. La conservation du grain en vrac

On a toujours conservé du grain en vrac en petites quantités, pour les besoins du commerce, du transport, du voyage, de la consommation quotidienne, ou des futures semences. C'est en vrac également, mais en assez grandes quantités qu'était conservé le grain des greniers étatiques ou urbains au Proche-Orient, en Egypte, à Rome... Mais nous ne savons pas grand-chose des procédés utilisés alors pour le protéger. Pour de courtes durées, de faibles volumes, ou en conditions très sèches (Egypte, Mésopotamie, Vallée de l'Indus...), la conservation des grains en vrac pose peu de problèmes. Dès que ces conditions sont dépassées, toutefois, il faut avoir recours à des procédés de conservation spécifiques. Ces procédés sont nombreux, surtout si on prend en compte ceux qui n'ont jamais dépassé le stade expérimental (la conservation sous vide par exemple, essayée dès 1861, ou les divers systèmes combinant séchage et réfrigération...). Mais dans la pratique la plus courante, la conservation des grains en vrac n'a jamais mis en œuvre que deux principes, d'ailleurs antagonistes : celui du **confinement**, et celui de l'**aération**.

C'est le **confinement** qui, paradoxalement peut-être, est le plus ancien et fut longtemps le plus utilisé, si on se place à l'échelle, non de la seule Europe, mais du monde. Depuis au moins l'Age du Fer, et sans doute bien avant, c'est en **silos souterrains**, et donc en atmosphère confi-

née, que l'on conserve les grains dans la plupart des régions qui vont de l'Espagne et du Maroc à l'Inde et à la Chine.

Ceci pour l'Eurasie, car les silos souterrains sont également utilisés à Madagascar, en Afrique orientale jusqu'au Lac Tchad à l'Ouest, et en Amérique du Nord. Cette aire immense était d'ailleurs plus vaste encore dans le passé : on a trouvé de très nombreux silos souterrains de l'Age du Fer dans le Nord de la France et en Angleterre. En France, leur emploi a subsisté jusqu'au Moyen Age dans certaines régions, et même jusqu'au XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles dans le Sud-Ouest (Tarn-et-Garonne, Haute-Garonne, Gers, où on les appelait **crocs**). En Italie (Toscane, Pouilles), en Hongrie, en Moravie, etc., leur usage a survécu jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, voire parfois jusqu'à la seconde guerre mondiale.

On a souvent évoqué l'insécurité pour expliquer l'usage des silos souterrains. C'est une explication très insuffisante. La véritable « explication » de cette pratique, si tant est qu'il en faille une, tient en une combinaison de facteurs techniques, écologiques et sociaux, qu'on peut résumer ainsi. Avant les insecticides modernes, il n'y avait pas d'autre moyen que l'atmosphère confinée pour garantir contre les insectes, dans les pays à hivers doux, des réserves importantes de grain en vrac (5 à 10 q et plus) pour des durées de l'ordre de l'année ou davantage. Or dans toutes les régions « à silos », au moins en Eurasie, la pratique usuelle était de « dépiquer » le grain immédiatement après la moisson, ce qui donnait tout de suite une masse importante de grains en vrac qu'il fallait bien conserver sous cette forme. Le stockage en silos souterrains, toutefois, implique de longues durées. Il convenait fort bien pour les réserves des grandes familles paysannes, et aussi

pour celles du grand commerce méditerranéen qui, jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, avait un caractère très spéculatif (le grain restait des années dans les immenses silos creusés dans le rocher en Sicile, à Malte, en Crète ou à Chypre, jusqu'à ce qu'arrive quelque part la cherté qui déterminait à le vendre...). Dès lors cependant que les communautés paysannes perdaient de plus en plus leur autonomie alimentaire, dès lors aussi que le commerce du blé en Méditerranée devenait plus régulier, les silos souterrains perdaient peu à peu leurs raisons d'être. C'est ce qui explique leur régression progressive, allant jusqu'à leur disparition, aux XIX<sup>e</sup> siècle.

Mais le stockage, sinon en silos souterrains comme autrefois, du moins en atmosphère confinée, reste une méthode remarquablement efficace et peu coûteuse lorsqu'il s'agit de volumes très élevés et de longues durées. C'est ce qui explique qu'on y ait eu recours en Argentine pendant la dernière guerre mondiale, et depuis quelques années en Australie. Sous des modalités éventuellement perfectionnées (atmosphère enrichie en gaz carbonique, en azote...), c'est une méthode qui n'est pas sans avenir. C'est entre autres avantages une méthode de désinsectisation qui ne laisse aucun résidu.

Au contraire du confinement, les techniques de conservation basées sur l'**aération** des grains en vrac supposent une saison assez froide après la récolte. En Inde par exemple, où le blé se récolte en avril-mai, ventiler pendant la moisson, c'est-à-dire avec de l'air chaud et humide, ne conduirait qu'à des catastrophes ! Mais même avec de l'air froid, la ventilation n'est pas sans difficultés. En fait, c'est seulement dans les années 1960 que la physique du phénomène a commencé à être bien comprise. Auparavant, il était impossible de ventiler sans danger des épaisseurs de grain en vrac

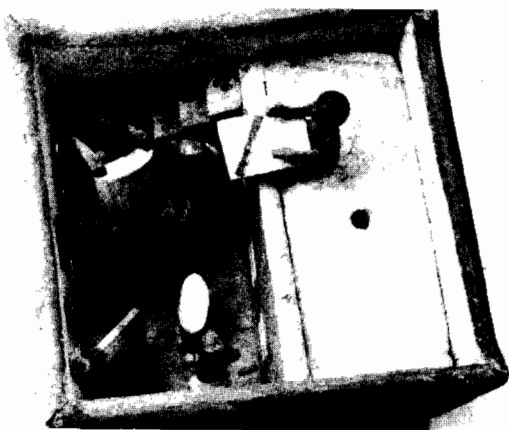


Fig. 4 : Grenier égyptien (reproduction aimablement autorisée par le Musée du Louvre)

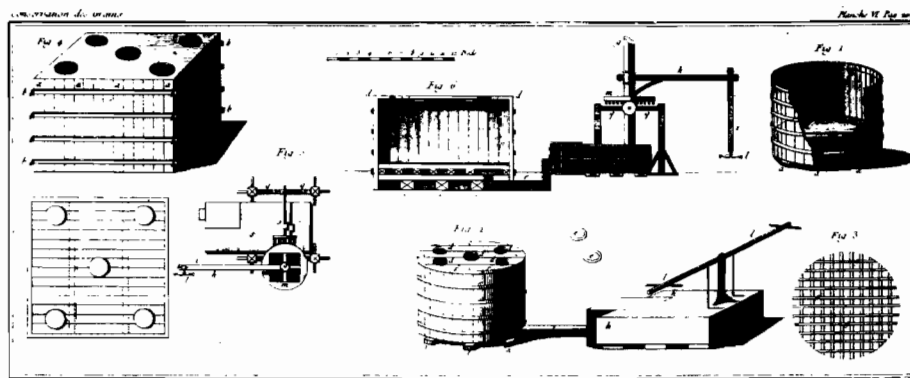


Fig. 5 : Modèle de grenier avec système de ventilation à soufflets mu par un âne (DÜHAMEL DU MONCEAU, 1740).

de plus de deux ou trois mètres. ce qui obligeait à des équipements compliqués et coûteux. C'est pourquoi du reste la ventilation proprement dite (insuffler de **l'air dans les grains**) n'entra vraiment dans la pratique courante que dans les années 1960. Et cela malgré de multiples tentatives, dont les plus anciennes, pour la France, remontent aux années 1740 (Duhamel du Monceau). La seule méthode vraiment sûre était celle de l'aération proprement dite, qui consistait à remuer **les grains dans l'air**. Remuage à la main d'abord, puis de plus en plus mécanisé à mesure qu'apparaissent de nouveaux appareils de nettoyage et de manutention, et que la taille des installations s'accroît.

La conservation des grains en couches peu épaisses avec pelletages réguliers est la plus ancienne des techniques de cette catégorie. Elle n'est cependant pas très ancienne. Inconnue de l'Antiquité semble-t-il, elle n'apparaît que dans les derniers siècles du Moyen Age, dans les greniers publics de réserve des grandes villes commerçantes d'Europe centrale (Strasbourg par exemple). Au XVI<sup>e</sup> siècle, c'est encore une pratique relativement nouvelle. Il est probable qu'elle n'atteint pas les campagnes avant le XVIII<sup>e</sup>, voire le XIX<sup>e</sup> siècle, en raison de son coût élevé, non seulement en main d'œuvre, mais surtout en bâtiments. Il faut en effet, en raison de la faible épaisseur des couches (2 à 3 pieds au plus, soit 70 cm à 1 m environ), des surfaces de planchers considérables. C'est ce qui finira par condamner la méthode.

L'apparition du **tarare**, au début du XVIII<sup>e</sup> siècle, offre une première possibilité de mécaniser les pelletages. Les appareils de nettoyage vont se perfectionner et se multiplier au XIX<sup>e</sup> siècle, et leur rôle dans une meilleure conservation des grains ne doit pas être sous-estimé. On tente aussi de « mécaniser » les greniers eux-mêmes, en y installant des dispositifs permettant d'y faire circuler les grains du haut en bas par gravité (trémies superposées en chicane, greniers « à ruissellement », etc.). Mais il est difficile de savoir quelle importance réelle ont eue toutes ces innovations dans la pratique. L'étape décisive dans la mécanisation du pelletage fut le **stockage vertical**, qui impliquait nécessairement une mécanisation poussée des procédés de manutention du grain.

Le premier **elevator** est construit à Buffalo (Etat de New York) en 1842. Mais c'est à Chicago surtout que le

nouveau système se développe, avec l'afflux des grains du Midwest destiné à l'Europe. Le trafic y passe de 6 millions de boisseaux en 1850 à 150 millions en 1890, soit une multiplication par 25 en 40 ans ! Jusque dans les années 1880, une grande partie de ce grain doit séjourner plusieurs mois à Chicago, en attendant de pouvoir en sortir par les Grands Lacs après la fonte des glaces : la capacité de stockage est de 4 Mb en 1858, de 30 Mb en 1888 (Lee, 1937). De tels chiffres sont astronomiques par rapport aux capacités existant en Europe à la même époque. Mais on conçoit que la rigueur même des hivers du Midwest ait singulièrement facilité la tâche aux responsables de la bonne conservation des grains dans le nouveau système. En France, une des toutes premières réalisations de stockage vertical est celle des silos Huart de la Manutention Militaire à Paris : douze cellules de plan carré, en tôle, de 12 m de haut, et d'une capacité totale d'environ 35.000 q, construits en 1856. Mais leur exemple, semble-t-il, n'est guère concluant. Hormis quelques silos portuaires, peu nombreux, et où d'ailleurs le grain ne séjourne pas, le stockage vertical ne se répand pas en France. Les silos métalliques de la Compagnie des Omnibus à Paris (21.000 m<sup>3</sup> en 1880) sont à atmosphère confinée. En 1912, E. Schribaux critique très sévèrement les silos Huart et conclut qu'il s'agit d'une méthode « coûteuse et irratio nnelle ». Lorsqu'en 1892, les magasins des Moulins de Corbeil sont détruits par un incendie, on les remplace par des silos (40 cellules en maçonnerie et charpente en fer, capacité totale de 10.000 t), sur le modèle des installations les plus récentes d'Angleterre et de Roumanie. Mais en 1896, les Moulins de Montrouge font construire des greniers de huit niveaux pour le stockage en sacs...

Dans tous les cas, d'ailleurs, il s'agit de stockage portuaire ou industriel, c'est-à-dire à court terme. Le stockage proprement dit, à long terme, est presque entièrement à la charge des agriculteurs, qui l'assurent soit en gerbes (granges ou meules), soit, pour une plus faible partie, en vrac, sur plancher avec pelletages et tararages. Le commerce des grains n'est alors en général qu'un courtage, qui n'assure qu'une partie infime du stockage et du transport. Il faut attendre le développement des coopératives céréalières dans les années 1930, et surtout à partir de 1936, avec la création de l'ONIB, pour voir apparaître un véritable stockage de collecte. Les chiffres,

malgré toute l'incertitude qui les entache, sont révélateurs :

1920	0,5
1930	8
1936	427
1937	2.800
1945	3.170

Une grande partie de ces capacités est en aires et planchers plus ou moins sommaires, en magasins, etc., où le grain est souvent stocké en sacs. Mais c'est indubitablement à cette époque que les silos verticaux (les « silos-cathédrales » comme on dit aujourd'hui) font leur apparition dans nos paysages, près d'un siècle plus tard qu'en Amérique. Le grain y est conservé par transilage, avec passage en cas de besoin dans les appareils de nettoyage. La proportion de capacités ventilées est infime, car sauf dispositifs coûteux, il n'est encore possible de ventiler avec sécurité qu'en stockage à plat. Lequel pose des problèmes de manutention... On ne sortira vraiment de ce dilemme qu'après 1965, lorsqu'on aura appris à ventiler sans risques dans des cellules de grande hauteur. Il est à noter que ce résultat est la première contribution importante de la recherche scientifique à la pratique du stockage des grains ! Presque toutes les innovations antérieures étaient de caractère empirique. Ce qui montre bien que si l'empirisme a ses limites, il a aussi son utilité...

## 112. Les recherches

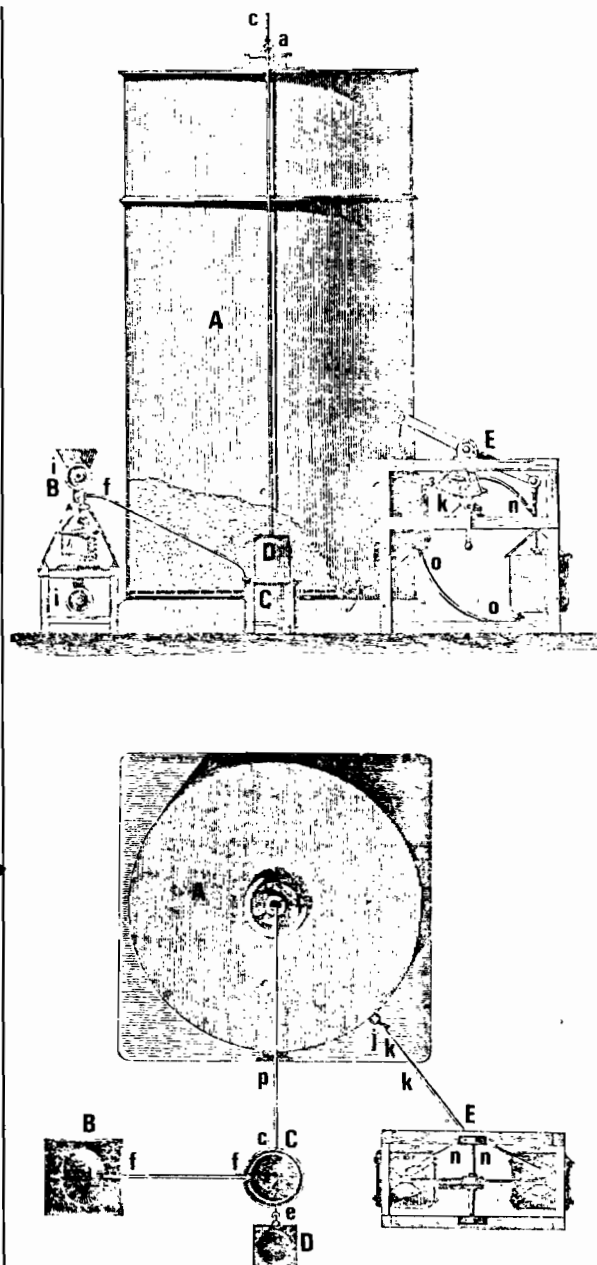
Les agronomes de l'Antiquité et du Moyen Age, ceux de la Renaissance, en Italie et en France surtout, ont tous consacré un chapitre, ou au moins quelques lignes, à la conservation des grains. Mais il s'agit pour eux, essentiellement, de mettre par écrit, de codifier un savoir empirique. Le premier texte de caractère vraiment scientifique est le **Mémoire** de Reneaume « Sur la manière de conserver les grains », publié en 1708 par l'Académie des Sciences. C'est essentiellement une analyse critique des différents procédés alors en usage, mais où l'auteur tente d'identifier et d'établir de façon raisonnée l'action de facteurs comme la température, l'humidité, l'air, etc.

Peu après, c'est l'apparition de l'alu-cite dans la région de La Rochelle qui donne lieu à de nouvelles recherches.

Celles, purement entomologiques de Réaumur dans les années 1730, puis surtout celles de Duhamel de Monceau et Tillet dans les années 1740 à 1760. Duhamel publie son **Traité de la conservation des grains** en 1753, suivi d'un **Supplément** en 1765, qui resteront les seuls ouvrages d'ensemble sur le sujet jusqu'à la publication du petit manuel de P. Diffloth sur **La conservation des récoltes...** en 1917 !

Après une éclipse de cinquante ans, les recherches reprennent en 1818, à l'initiative du Vicomte de Lasteyrie et d'un industriel du textile, le baron Ternaux. Les vicissitudes des années 1790-1815 les avaient forcés à parcourir l'Europe, comme beaucoup de leurs concitoyens. Avec d'autres, ils avaient redécouvert les silos souterrains d'Espagne, d'Italie, de Hongrie. Enthousiasmés par cette méthode si nouvelle pour eux, ils entreprennent de l'adapter aux conditions françaises. Entre 1819 et 1822, huit séries d'expériences de conservation en atmosphère confinée sont lancées. On essaye des « fosses à grains » sur le modèle traditionnel, mais aussi des récipients de plomb, des tonneaux enduits de bitume, etc. Les plus célèbres de ces expériences sont celles de Ternaux. Elles sont annoncées dans la presse (y compris **Le Moniteur**). On vient en foule à Saint-Ouen, dans la « campagne » de Ternaux, assister au remplissage ou à l'ouverture des fosses ; parmi ces visiteurs, il y a Jean-Baptiste Say, le duc Decazes, et même un jour, en 1824, « Mgr. le Duc d'Orléans (le futur Louis-Philippe) et les Prince ses enfants ». Ternaux est presque certainement le premier à avoir fait usage du terme **silos**, d'origine espagnole, dans un texte technique, en 1820. C'est de là en tous cas que ce terme s'est répandu dans le vocabulaire technique français, puis international. Jamais sans doute des expériences de conservation des grains n'auront eu autant de retentissement qu'à cette époque.

Pourtant, les résultats obtenus par Ternaux et ses émules ne satisfont pas les experts. Dès 1830, on se désintéresse de la question. Il faut une nouvelle poussée de l'alcute dans les années 1850, dans le Centre cette fois, pour qu'on y revienne ce sont les recherches de Doyère, interrompues par sa mort prématurée en 1862. Comme ses prédécesseurs, Doyère ne tarde pas à se tourner vers l'ensilage hermétique, comme le procédé le plus prometteur. Pour sa réalisation, il préconise des silos de tôle, mais enterrés. Et il identifie le principal pro-



LÉGENDES

- A Réservoir à Céréales
- B Générateur d'Azote
- C Réfrigérant d'Azote
- D Réservoir d'eau pour le réfrigérant
- E Aspirateur d'air
- a Trou d'homme
- b Robinet de prise d'Azote
- c Tuyau de prise d'Azote
- d Serpentin du réfrigérant
- e Tuyau et robinet d'arrivée d'eau
- f Conduite d'Azote chaud
- g Cornue
- h Foyeure
- i Robinets de charge et de vidange de la Cornue
- j Robinet d'aspiration d'air
- k Tuyau d'aspiration d'air
- l Robinet d'interception et de communication
- m Vases aspirateurs
- n Tuyaux d'air
- o Tuyau de communication pour l'eau
- p Trou d'homme pour la vidange des Céréales
- q Double fond garni de toile métallique
- r Fers à T soutenant le double fond

Fig. 6 : Silo sous azote (HAUSSMANN père, 1855)

blème, celui du taux d'humidité limite, qu'il fixe à 16 %. C'est assurément trop élevé, mais il reste à Doyère d'avoir été sans doute le premier à étudier systématiquement, et quantitativement, l'humidité des grains.

Après Doyère, on préconise des silos à atmosphère désoxygénée, à vide, à azote même (Hausman père, Louvel), mais ces tentatives n'aboutissent pas. Pourtant, il se construit quelques silos métalliques étanches à Paris, à la fin des années 1870. Notamment pour la Compagnie des Omnibus, qui exploite des tramways hippomobiles, et dont la cavalerie s'accroît alors de façon explosive (1.500 têtes en 1854, près de 19.000 en 1880 !). Dans l'ensemble, les nouvelles installations

donnent satisfaction. Mais il y a tout de même quelques difficultés, et on fait appel à Müntz, professeur à l'Institut National Agronomique nouvellement créé. Müntz effectue alors une série de recherches en laboratoire sur le comportement des grains stockés dans des conditions contrôlées de température, d'humidité et de composition atmosphérique, qui sont tout à fait remarquables pour l'époque.

D'autant plus remarquables qu'après Müntz, plus rien de comparable ne sera entrepris en France jusqu'à la seconde guerre mondiale ! Il y a bien les travaux d'E. Schribaux en 1912, puis, avec la fondation de l'Ecole Française de Meunerie en 1924, ceux de H. Nuret et de quelques-uns de ses col-

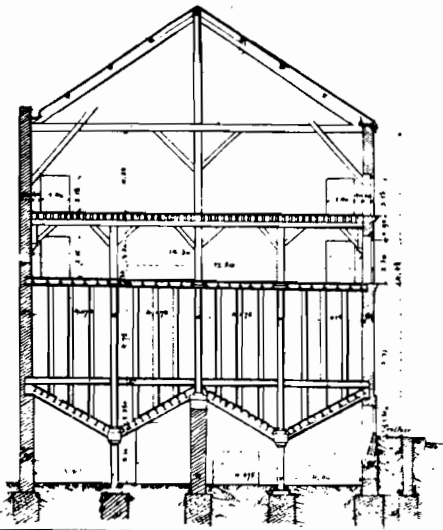


Fig. 7 : Coupe d'un grenier avec silo (MÜNTZ, 1878)

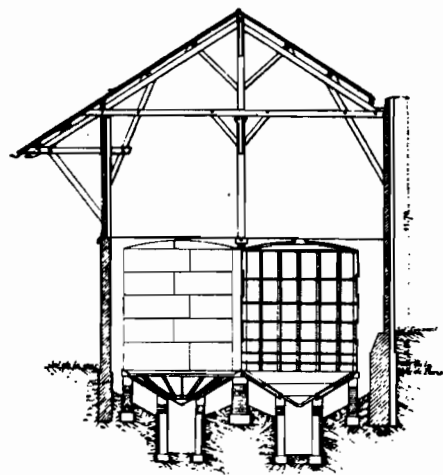


Figure 7 bis : Coupe d'un grenier avec silo de la rue Monge (MÜNTZ, 1878)

laborateurs ou élèves, ceux aussi de R. Legendre, et enfin les expériences d'A. Blanc en 1938-1939, qui reprend à peu de choses près la problématique de Doyère, avec du reste des résultats tout à fait semblables. Mais rien qui se situe dans la ligne de la tradition inaugurée par Müntz. Cette tradition se poursuit, mais ailleurs qu'en France : en Allemagne d'abord semble-t-il, puis aux Etats-Unis et au Japon. Dans un article-bilan publié en 1952, récapitulant l'acquis du demi-siècle écoulé en matière d'écologie (comme on ne disait pas encore) du grain stocké, J. Buré ne peut citer que deux ou trois auteurs français (dont E. Schribaux) parmi plusieurs dizaines d'auteurs anglo-saxons ou allemands. A titre d'exemple, les premières courbes de sorption sont établies aux Etats-Unis dans les années 1920 ; en Europe, elles apparaissent dans l'ouvrage fondamental d'Hoffmann et Mohs (*Das Getreide-korn*) en 1931 ; en France, il n'en est pas fait mention, semble-t-il, avant les premiers travaux de A. Guilbot à la fin des années

1940. Le seul document d'origine « scientifique » dont disposent les professionnels est le diagramme de Nuret, publié en 1935, et qui est tiré du livre d'Hoffmann et Mohs ; mais ce diagramme approximatif, ne prend pas en compte un facteur important, celui de la durée du stockage.

C'est en France, donc, que sont entreprises les premières recherches de caractère vraiment scientifique sur la conservation des grains, avec plus de 150 ans d'avance sur les autres pays. Mais ces recherches sont menées par vagues, par à-coups, à l'occasion de crises d'approvisionnement ou à l'initiative d'individualités hors du commun. La profession, atomisée en une multitude de petits intermédiaires inorganisés, ne montre pratiquement aucun intérêt pour des suggestions qui dépassent ses moyens et dérangent ses habitudes. Un lien recherche-profession s'établit au moment des travaux de Müntz, en 1878-1879. Mais la fin des tramways à chevaux va très vite le rompre. C'est en Allemagne dans les années 1900, puis aux Etats-Unis dans les années 1920, que le lien recherche-profession va commencer à se nouer. Il n'en sera ainsi en France qu'à partir de 1936, et surtout de 1945, près de trois générations après Müntz.

## 1.2. Le passé récent (fin 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècle)

### 1.2.1. Evolution des structures de recherche et des connaissances

S'il était facile de distinguer dans le passé lointain, comme nous l'avons fait, entre l'évolution technique et l'évolution des idées, cela ne l'est plus dans le passé récent.

En effet, plusieurs événements sont venus marquer très fortement le secteur économique de la conservation des grains.

Le 15 août 1936, le stockage passe pour partie sous la tutelle de l'Etat avec la création par le Gouvernement de « Front populaire » de l'ONIB (Office National Interprofessionnel du Blé) qui institue le monopole de la collecte en faveur des organismes stockeurs agréés (coopératives et négociants) ; en 1940, l'ONIB, en devenant l'ONIC (Office National Interprofessionnel des Céréales) étend ses compétences à l'ensemble des céréales. L'ONIC a ainsi joué un rôle considérable dans l'élaboration de la politique céréalière, en France, et ultérieurement, dans le cadre élargi du Marché Commun (HESNARD, 1982). Toutefois, une très

importante activité de stockage a persisté au niveau de la ferme.

Dans l'immédiat après-guerre, la recherche en matière de stockage a été prise en charge par le jeune Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), et en particulier dans la Station de Biochimie et Physicochimie des Céréales (Massy) animée par GUILBOT. Les travaux considérables réalisés à cette époque avec des moyens modestes ont démarré avec les contrats aidés financièrement par l'A.G.P.B. (Association Générale des Producteurs de Blé) puis par la D.G.R.S.T. (Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique) : recherches à caractère fondamental sur la biochimie, la biologie et la microbiologie des grains, en fonction de l'activité de l'eau.

C'est ainsi que GUILBOT et M<sup>me</sup> POISSON (1963) publient un diagramme de conservation beaucoup plus élaboré que celui de NURET et donnant les durées maximales de conservation en fonction de l'humidité et de la température du grain, en vue d'une utilisation technologique donnée. Les auteurs introduisent ainsi la notion de *critère d'altération* (pouvoir germinatif, nombre de germes fongiques) et de *seuil critique* à ne pas dépasser. Bien entendu, comme pour l'ensemble de la recherche après-guerre on observe une évolution très similaire dans les autres pays développés et principalement en Angleterre (Pest Infestation Laboratory), aux U.S.A. (USDA, University of Kansas and of Minnesota), en Hollande (TNO Wageningen, avec notamment KREYGER, 1972).

Par ailleurs, on assiste pendant cette période à la mise au point de nombreuses méthodes analytiques (notamment : mesure de la teneur en eau, dénombrement des microorganismes) et à leur normalisation internationale, grâce en particulier à l'action de l'Association Internationale de Chimie Céréalière (ICC, Groupe de Travail « Aptitude au Stockage », n° 27 et dosage de l'eau, n° 2), de l'ISO (International Standardization Organization, T.C. 34/SC 4, groupe de travail « Stockage »), et de l'AFNOR (Association Française de Normalisation, commission « Céréales et Légumineuses »). Ceci devait grandement faciliter l'appréciation des caractéristiques et de l'état de conservation d'un lot, et de ce fait, faciliter les échanges scientifiques entre chimistes céréalières, et les échanges commerciaux internationaux.

Enfin, divers organismes étudient le développement des technologies de conservation à l'échelle pilote :

- c'est tout d'abord le CNEEMA (Centre National d'Etudes et d'Expérimentation du Machinisme Agricole) service du Génie Rural, qui étudie dès les années 50 les problèmes de conservation, et en particulier le séchage, la ventilation, le dégagement de CO<sub>2</sub>, le stockage confiné ;

- puis, à partir de 1959, la création de l'ITCF (Institut Technique des Céréales et Fourrages) a permis des études de développement (séchage, ventilation, silothermo-métrie, dryération), tout d'abord en collaboration étroite et dans les locaux du CNEEMA, puis dans le centre expérimental de Boigneville, propre à l'ITCF ;

- dans le domaine des oléagineux (colza, tournesol), c'est avec le CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains), que l'INRA développe des études ;

— enfin avec l'IRAT (Institut de recherche agronomique tropicale), et l'IFCC (Institut Français du Café et du Cacao), c'est le problème du stockage tropical qui est abordé.

Cette réactivation de la recherche française en matière de stockage a été notamment marquée par l'organisation à Paris en 1963 par l'ITCF de « Journées d'Etudes sur la Conservation des Grains » et en 1973 par l'INRA d'un « Congrès International sur la Conservation des Grains Humides », qui a permis de faire le point des problèmes posés par la collecte de grains de plus en plus humides.

Renouveau confirmé plus récemment encore par plusieurs événements importants, significatifs et convergents, bien que de natures très différentes :

- la prise en considération des problèmes de stockage par la Commission « Céréales et Amylacés » chargée au sein de l'INRA de définir les axes de recherches à développer (1975-1977) ;

- la prise en charge d'une grande partie de ces problèmes par le Laboratoire de Biophysique des Aliments créé par l'INRA, en 1976, à Nantes ; puis la transformation de ce laboratoire, en janvier 1982 en « Laboratoire de Stockage et Conservation des Denrées Alimentaires », ayant pour mission de conduire d'une part des recherches à caractère fondamental en microbiologie et étude de l'état de l'eau, études qui continuent celles développées à Massy par GUILBOT, d'autre part des recherches à caractère technologique en atelier-pilote ;

- l'accentuation de l'effort de recher-

che sur les insectes des céréales stockées, par la Station de Zoologie de l'INRA-Bordeaux ;

- la création en 1982 du G.L.C.G. (Groupe de Liaison sur la Conservation des Grains et Graines, Association Loi de 1901) qui veut réunir les chercheurs, les industriels, les stockeurs et les administratifs concernés par le problème ;

- la publication très récente d'un ouvrage aux Editions LAVOISIER-APRIA (« Conservation et stockage des grains et graines ») réunissant l'ensemble des travaux et connaissances développés en France (MULTON, 1982) ;

- la parution récente d'une nouvelle revue professionnelle bi-mensuelle : « Silo-Agriculture », dont la vocation est de diffuser et de rendre accessible aux techniciens des silos les résultats de la recherche.

### 1.2.2. Evolution économique récente

L'action de l'ONIC d'une part, les efforts de recherches aussi bien fondamentales que de développement d'autre part, ont permis de faire face dans les trente dernières années à une évolution économique considérable du secteur du stockage.

Celle-ci a tout d'abord été caractérisée dans la plupart des pays développés,

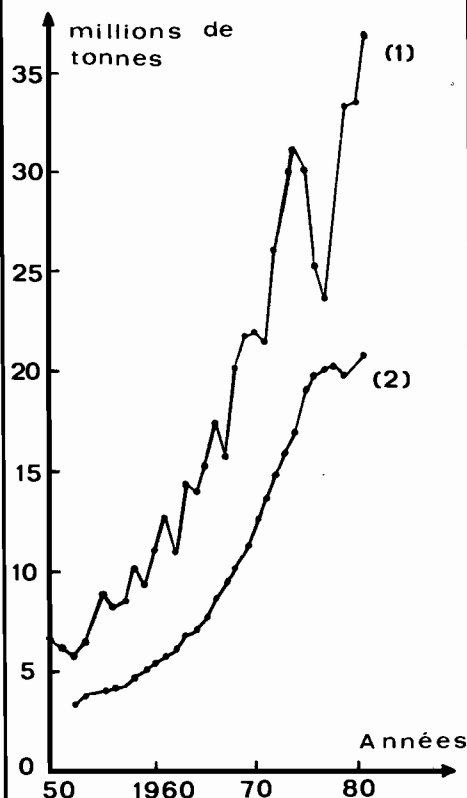


Fig. 8 : Evolution comparée de la collecte et des capacités de stockage.  
(1) - Collecte toutes céréales  
(2) - Capacités de stockage  
(Selon CASAGRANDE, 1982)

et notamment en France par l'augmentation considérable du volume de la collecte, due à l'accroissement des rendements à l'hectare (obtenu grâce à la sélection variétale, aux engrais, aux techniques culturales).

Les capacités de stockage ont suivi une croissance parallèle à celle de la collecte (CASAGRANDE, 1982) en partie grâce à la concentration des entreprises de stockage (diminution du nombre des entreprises et augmentation corrélative de la capacité moyenne des magasins).

Enfin, la mécanisation a conduit à récolter et à battre **simultanément** (moissonneuse-batteuse) et **rapidement** les grains, donc à les entreposer en vrac, plus ou moins mûrs, généralement plus humides et par conséquent plus difficiles à conserver qu'auparavant. Le phénomène a été accentué par l'extension géographique de certaines cultures méridionales, comme le maïs, vers des zones climatiques peu favorables telles que le nord de la France. Aussi l'équipement des entreprises a-t-il dû parallèlement être amélioré en quantité et en qualité.

On peut donc parler de l'apparition et de la généralisation d'une « chaîne du vrac », système véritablement nouveau par rapport à l'ancien système « gerbée-grange », la période transitoire étant caractérisée par l'importance croissante du transport et du stockage en sac.

Par ailleurs des événements économiques et politiques considérables ont marqué les 30 dernières années : la France est devenue progressivement et pour la 1<sup>ère</sup> fois de son histoire exportatrice de blé, et s'est haussée au 3<sup>e</sup> rang mondial ; les pays de l'Est, en particulier l'URSS, autrefois, exportateurs sont devenus déficitaires et importateurs ; la « révolution verte » dans les pays sous-développés, après avoir suscité de grands espoirs à beaucoup déçu ; le Marché Commun agricole, malgré de nombreuses crises, s'est mis en place et a profondément modifié le commerce international des grains.

A l'heure actuelle, en France et dans les pays développés, l'entrepôt des grains, assez diversifié, est mis en œuvre à différents niveaux :

- le stockage à la ferme, souvent difficile à maîtriser en raison d'un équipement insuffisant (aires et planchers, cribs, petites cellules ventilées) est utilisé soit pour l'auto-consommation, soit en attente momentanée de place dans les silos des organismes sto-



ckeurs (O.S.); toutefois certaines fermes importantes ont des moyens de stockage très modernes ;

- le stockage en organisme stockeur (stockage de collecte), de durée courte ou moyenne (inférieure à 1 an) est réalisé avec des moyens de séchage, de manutention et de contrôle trop souvent médiocres, sauf dans les plus grandes unités ;
- le stockage de longue durée tend à se développer (stockages secondaires, de report) ;
- le stockage de transit (pour l'exportation), en général de courte durée est essentiellement pratiqué dans les ports ;
- le stockage chez l'utilisateur (moulin par exemple) est pondéralement peu important ;
- enfin, un stockage qu'on pourrait qualifier de fortune, à haut risque, est utilisé les années de récolte pléthorique où les capacités d'entreposage sont insuffisantes : vieux hangars, aire bétonnée sous bâche, etc.

### 1.2.3. Evolution technologique récente

A défaut d'évolution technologique spectaculaire, il y a eu dans les 30 dernières années des changements importants et progressifs. L'amélioration du génie civil et des moyens de manutention et de ventilation (puissance des ventilateurs) a permis la construction de cellules de très grand volume. Par ailleurs on a appris à conduire la ventilation en fonction de l'état des grains et de l'air. De ce fait, la technique de transilage est de moins en moins utilisée dans les grandes unités.

Les matériaux utilisés ont peu changé : le béton reste dominant mais avec des techniques de construction plus rapides (coffrage glissant) et plus sûres (béton vibré) ; le métal, surtout pour les cellules de petites ou moyennes dimensions est également très utilisé, malgré sa grande conductibilité thermique ; le plastique a fait de timides apparitions, cependant que le bois conserve ses partisans, au moins pour les petites unités fermières.

La silothermométrie (mesure de la température en place dans le silo) s'est développée, mais manque beaucoup d'efficacité en raison de la détection trop tardive des échauffements. C'est peut-être dans le domaine du séchage que l'évolution technique a été la plus marquée ces dernières années, mais, dans ce cas les indé-

niables progrès thermodynamiques ne sont pas nécessairement allés de pair avec des progrès dans la qualité des grains, bien au contraire.

Parmi les tentatives d'innovations originales on peut citer, il y a quelques décades, l'essai de système dit « à point froid » qui fût un échec ; plus récemment des essais japonais (MIT-SUDA et al. 1973) de stockage confiné dans de grands réservoirs en plastique immergés (avantage d'une grande régularité thermique et de non occupation de surface au sol) ; l'utilisation de groupes frigorifiques pour faire de la ventilation à basse température ; l'usage de la « ventilation-aspiration », alternée ou non ; les études italiennes (Assoreni) de développement d'une technologie de pointe en matière de silo plastique étanche (SHEJBAL, 1980) ; la mise en œuvre par EDF de pompes à chaleur pour refroidir et sécher les grains ; et plus récemment les études de séchoirs utilisant l'énergie solaire. Mais, le développement et la percée commerciale de ces innovations ne sont pas toujours évidents.

En ce qui concerne les transports, rien ou presque rien n'a été fait. On peut dire que l'on transporte à l'heure actuelle les grains pratiquement dans les mêmes conditions que sous les romains.

On peut également constater que le problème des insectes a été négligé, et que pratiquement aucune étude sérieuse de conservation sous atmosphère inerte n'a été entreprise. C'est peut être la raison pour laquelle les installations de silos hermétiques sont en France pratiquement inexistantes. Depuis quelques années toutefois l'étude de ces questions a été réellement entreprise, laissant espérer de prochains développements.

### 1.2.4. Evénements récents qui vont marquer profondément l'évolution future du stockage

Les dernières années ont été marquées par la prise de conscience de plusieurs phénomènes considérables qui ont déjà eu et auront plus encore des répercussions d'une extrême importance dans le domaine du stockage et du commerce des grains qui leur sont liés :

#### 1.2.4.1. Crise énergétique

Les différents chocs pétroliers et le coût croissant de l'énergie et du séchage ont relancé dans le cas du maïs l'usage du crib avec tous les risques hygiéniques que cela

comporte (développement de moisissures éventuellement toxogènes) et ont conduit par ailleurs à des études d'économie d'énergie en matière de séchage : apparition de la « dryeration » (ou « séchage lent différé ») il y a environ 10 ans ; développement de séchoirs à plusieurs étages avec récupération des gaz chauds ; augmentation des températures de séchage (pratique plus économique mais qui altère la qualité des grains) ; suppression des échangeurs de chaleur dans les séchoirs (avec risque de pollution par des résidus de combustion dans le cas très général des séchoirs fonctionnant au fuel) ; recherches dans le domaine du séchage solaire, et sur l'utilisation de la biomasse disponible (raffles, pailles) comme source d'énergie en remplacement du fuel ; étude de la conduite rationnelle de la ventilation des silos, enfin.

**Les deux conséquences les plus préoccupantes** de cette évolution sont sans doute l'utilisation de température excessive de séchage produisant des maïs altérés (amidon partiellement gélatinisé, protéines dénaturées, structure plus cornée, fragilité mécanique accrue), dont les qualités technologiques (amidonnerie : floconnage et infranisation en alimentation animale) sont compromises, et l'abus du crib (cribs mal construits, régions trop humides) qui peut conduire à des produits toxiques.

#### 1.2.4.2. Pays en voie de développement (PVD)

La période de la décolonisation étant très largement achevée, on a vu progressivement émerger le problème crucial des « Pays en Voie de Développement », où les difficultés de stockage, face à des besoins alimentaires et à des importations croissantes, et en raison d'un sous-développement technique notoire, se posent avec une acuité sans doute jamais connue à aucune autre époque, et en aucun autre lieu.

Divers phénomènes dont les pays développés sont largement responsables ont concourru à créer, puis à aggraver ces difficultés :

- La démographie galopante a entraîné la nécessité d'importer, pour faire face à la pénurie alimentaire ;
- Certaines cultures vivrières traditionnelles locales ont progressivement disparu au bénéfice de cultures destinées à l'exportation (arachide, cacao,...) ;
- La désertification de certaines zones due à de fâcheuses pratiques

agronomiques a encore aggravé la situation ;

• Au plan du stockage, la substitution trop rapide, sans transition suffisante, de techniques modernes peu compatibles avec les conditions locales, aux techniques traditionnelles a plus souvent accru ces dramatiques gaspillages qu'elle n'a contribué à les réduire. De ce fait, une bonne partie des grains fournis gratuitement à ces pays au titre de l'« aide alimentaire » est perdue.

Par ailleurs, il en résulte des altérations graves des produits des cultures destinées à l'exportation. C'est en particulier le cas des arachides qui offrent un terrain très favorable aux moisissures toxigènes et dont les tourteaux utilisés en France en alimentation animale sont souvent très contaminés en aflatoxines.

### 1.2.4.3. Qualités hygiéniques

La meilleure connaissance des problèmes toxicologiques (toxines fongiques

découvertes en 1959-1960) et dont la liste — aflatoxine, zéaralénone, trichotecène, stérigmatocistine — s'allonge chaque jour ; résidus de pesticides et de fongicides ; résidus de combustion), la sensibilisation accrue et les craintes souvent justifiées des consommateurs, conduisent et conduiront de plus en plus, à réduire, voire à éliminer certaines techniques par ailleurs efficaces et à imposer des normes de qualité de plus en plus sévères en particulier en ce qui concerne la siccité. Ce souci ira de pair avec un classement de plus en plus élaboré des grains en fonction de leurs qualités hygiéniques et technologiques.

Ces trois grands phénomènes — crise énergétique, P.V.D. et norme de qualité — joints au développement explosif de l'informatique (gestion des stocks) et des microprocesseurs (automatisation des installations) vont profondément déterminer l'évolution prévisible du secteur stockage d'ici au début du 3<sup>e</sup> millénaire.

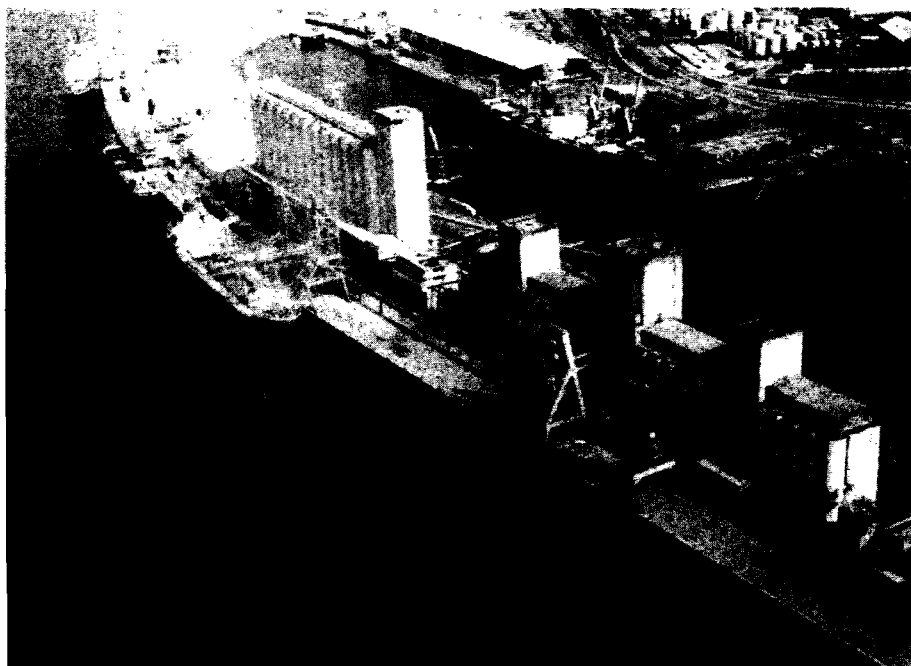


Fig. 9 : Vue aérienne du silo portuaire de Rouen (Cliché Air Promotion, reproduit avec l'aimable autorisation de M. GOMOND directeur du silo)

## 2. Les orientations possibles des vingt prochaines années

La prospective est un exercice périlleux où il est en particulier difficile de faire la part entre le souhaitable et le possible. De plus, certaines orientations politiques ou sociologiques peuvent considérablement infléchir l'évolution technique.

Quelles seraient par exemple les

conséquences économiques et politiques si par hypothèse l'URSS, grâce aux efforts colossaux entrepris pour détourner différents fleuves en vue d'irriguer les grandes plaines du sud du pays, parvenait un jour à l'autosuffisance ?, voire même au stade de pays exportateur ? Situation peu probable certes, mais pas à exclure complètement.

Quelle va être l'évolution réelle de la démographie mondiale et de la demande de nombreux pays en voie de

développement et dont les besoins sont immenses, comme la Chine ?

Quelle va être l'évolution de la collecte mondiale, assurément croissante grâce à l'adaptation des variétés à des climats peu favorables a priori, grâce à la mise en culture de terres encore en friche, ou de terres incultivables jusqu'ici (reconquêtes sur les zones désertifiées), grâce enfin à la création de souches de blé assimilant directement l'azote atmosphérique (d'où une économie énergétique considérable) même si cette perspective est plus lointaine qu'on ne le pensait ?

Autant de questions, autant d'inconnues dans le scénario du futur, dont il serait bien présomptueux de vouloir prédire le déroulement. Toutefois, sans aller aussi loin, et en postulant une évolution progressive sans aucun des grands bouleversements évoqués ci-dessus, on peut raisonnablement imaginer certaines tendances très probables.

## 2.1. grandes évolutions techniques

L'évolution technique devrait être très marquée dans plusieurs directions : la répartition des espèces emblavées, la lutte contre les insectes sans laisser de résidus, le séchage économique et respectant la qualité, la technologie des silos et leur environnement technique.

### 2.1.1. Les proportions respectives des différentes espèces et variétés cultivées pourraient en effet connaître d'importantes modifications :

- le maïs, trop coûteux en énergie (séchage) pourrait continuer à décroître en importance et de ce fait l'acuité du principal problème de stockage en France (cf. supra : séchage, cribs...), devrait s'atténuer ; toutefois, les économies d'énergie, le développement de nouvelles technologies adaptées (ensilage, cribs, séchage) rend cette diminution incertaine (Conférence Générale du Maïs, 1981) ;
- certaines céréales secondaires — seigle, avoine — pourraient retrouver un certain intérêt, si les améliorations génétiques le permettaient ;
- le sorgho, dans certaines régions du Midi de la France, pourrait se développer, peut être aux dépens du maïs ;
- la culture des blés, et en particulier celle des blés fourragers, remplaçant le maïs avec un rendement équivalent, devrait encore s'accroître, d'autant plus que le blé ne pose qu'except-

tionnellement (les années pluvieuses) un problème de séchage ; la valorisation industrielle des blés non panifiables qui fait l'objet de recherches actives, pourrait, si elle aboutit, favoriser le développement de cette céréale, à la condition toutefois que les maniocs importés en CEE ne les concurrencent pas exagérément.

- la production de graines protéagineuses (entre autres : pois, fève, fève-rose, voire lupin), sources de protéines moins coûteuses que celles de la viande, pourrait beaucoup augmenter ; or on sait qu'elles ne posent que peu de problèmes de conservation (les moisissures en particulier se développent relativement mal sur ces produits) ; mais cela supposerait que l'on sache éliminer les facteurs anti-nutritionnels (par voie génétique ou technologique) ; — certaines graines oléagineuses — colza, tournesol, dont la production tend également à croître posent par contre des problèmes de conservation plus spécifiques l'auto-oxydation, le rancissement, le développement d'acidité libre sont à craindre.

Au-delà de cette évolution agronomique déjà amorcée, on peut essayer de distinguer ce que seront les évolutions techniques et socio-économiques qui marqueront le stockage des années à venir.

**2.1.2. La nécessaire lutte contre les insectes**, et la tendance à vouloir réduire les pollutions liées à des résidus de pesticides (on sait par exemple que le Conseil Supérieur d'Hygiène remet en question en ce moment même les pesticides homologués en raison des excipients toxiques non contrôlés qui les accompagnent), vont contribuer très certainement au développement des techniques physiques non polluantes de désinsectisation des stocks. Les études les plus récentes dans ce domaine laissent présager la possibilité de chocs thermiques brefs sur les produits pulvérulents (semoule, farine), l'utilisation des micro-ondes (champ hyper-fréquence) ou l'utilisation du stockage en anaérobiose (cf. infra) pour détruire les insectes (FLEURAT-LESSARD TRENTESAUX 1977). L'irradiation n'a que peu de chances de se développer dans ce domaine, car la destruction des insectes ne met pas à l'abri des recontaminations ultérieures.

**2.1.3. Le séchage des grains humides** (il y aura toujours du maïs et d'autres grains humides, au moins les années pluvieuses) par les séchoirs

traditionnels à fuel ou à gaz sera de plus en plus coûteux, même si l'on parvient à d'appréciables économies (séchoirs bi-étagés, dryeration...) ; quant à l'utilisation des pailles et rafles comme combustible, énergiquement fort intéressante, elle trouvera ses limites dans les autres utilisations de cette biomasse (chauffage des bâtiments, engrais, etc.).

Le crib sera progressivement limité aux zones climatiques où les risques hygiéniques (toxines) sont limités : toutefois ces risques n'étant jamais supprimés (années humides, maïs récoltés en mauvais état, etc.) et difficilement mesurables, il est également possible, et sans doute souhaitable, que le crib disparaisse.

Dans ces conditions, on peut penser que l'on s'orientera de nouveau vers des techniques de séchage utilisant l'électricité comme source d'énergie (l'électricité devenant grâce à la production nucléaire peu coûteuse en heures creuses d'été), et de plus en plus vers des procédés de conservation humide par fermentation (ensilage) ou vers une technologie mixte consistant en un séchage partiel suivi d'un stockage de grains semi-humides en atmosphère inerte.

**2.1.4. La conservation à l'abri de l'oxygène** (sous  $N_2$ ,  $CO_2$ , sous-vide partiel) présente des avantages considérables, que ce soit sur grains semi-humides (pour lutter contre les moisissures) ou sur grains secs (pour détruire les insectes) ; toutefois, le maintien d'une anaérobiose stricte ( $O_2$  inférieur à 0,5 %) dans des silos de grande dimension pendant l'entreposage, et lors des opérations de remplissage et de vidange partiels, pose un problème technologique difficile et encore mal résolu, si ce n'est à un prix prohibitif. Les solutions de fortune (utilisation de cellules anciennes étanchéifiées plus ou moins bien) sont dans ce cas particulièrement risquées. Le développement de cette technique séduisante est donc lié à la parfaite maîtrise technologique des cellules étanches, pour un coût acceptable. Il est très probable que l'on y parvienne rapidement.

**2.1.5. A l'heure actuelle, les variations de température** (alternance jour-nuit, ou ombre-soleil) que subissent les silos, provoquent des migrations d'eau, qui conduisent à des accidents de stockage, particulièrement graves dans les pays tropicaux, mais non négligeables en France même (petits silos fermiers en particuliers). Ceci devrait conduire à développer

l'isolation thermique des parois de cellules, mais là encore le prix de revient sera déterminant sur le choix des matériaux traditionnels ou nouveaux constituant les silos (métal, plastique, béton, bois, fibre de verre) et leurs isolations. Une solution intéressante consiste à enterrer le silo quand la nature du sol le permet.

**2.1.6. L'équipement technique du silo** et de son environnement devrait s'améliorer considérablement dans différents domaines avec le développement, l'extension et la généralisation de techniques qui le plus souvent, existent déjà à l'heure actuelle à un stade expérimental, et notamment en ce qui concerne ;

- **La sécurité** : les risques d'explosions des poussières et d'incendie dont la fréquence s'accroît de façon alarmante, seront réduits par l'élimination des poussières (éventuellement valorisables en alimentation animale, à la condition de ne pas véhiculer des spores de moisissures, des toxines et autres produits indésirables) ; de plus il faudrait revoir la réglementation sur les freintes) et par des dispositifs de détection (capteurs) et de prévention appropriés.

- **Les moyens d'échantillonnage** représentatif et automatique, dans les bennes, à la livraison, devraient s'imposer progressivement, dans l'intérêt des deux parties, acheteurs et vendeurs.

- **Les dispositifs de contrôle de l'état du grain** dans le silo ou dans le bateau l'actuelle « silo-thermométrie » s'améliorera (capteurs plus nombreux) et devrait évoluer vers une « silo-thermohygro-métrie », intégrant des capteurs de température et d'humidité, et permettant de déceler en temps utile les transferts d'humidité dans la masse des grains ; peut-être ira-t-on vers l'utilisation de la thermographie infra-rouge pour la détection et la localisation des points chauds.

La détection des substances volatiles résultant du métabolisme des moisissures est une technique extrêmement séduisante actuellement étudiée par chromatographie phase gaz, au stade du laboratoire ; elle permettrait en effet une détection extrêmement précoce des premiers stades du développement des moisissures, et autoriserait par conséquent une intervention immédiate beaucoup plus efficace. Pour cela des capteurs opérant directement dans la masse du grain, ou analysant l'air des circuits de ventilation, devront être mis au point. De même, la détection précoce des insectes

tes par des capteurs acoustiques en place dans le silo (à l'heure actuelle on ne connaît que des appareils de laboratoire fonctionnant sur échantillon) permettra une prévention beaucoup plus efficace.

Dans les installations confinées, il y aura en plus des mesures précédentes, un contrôle du taux d'O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ou N<sub>2</sub>.

• **L'automatisation de la ventilation** dont le déclenchement et la durée pourraient être asservis aux contrôles de l'état du grain par les mesures évoquées ci-dessus, ainsi qu'à la mesure des caractéristiques de l'état de l'air extérieur (température, humidité). En cas de nécessité, l'air de ventilation pourra être conditionné (refroidi et déséché) par un traitement approprié avant d'être injecté dans le silo.

Dans le cas de conservation en anaérobie, les taux d'oxygène et de gaz inerte devront être contrôlés et maintenus à leur valeur optimale par des injections ou des pompages appropriés.

Dans ces conditions les installations mettant en œuvre le « transilage », génératrice de grains cassés et de poussières et qui immobilisent en permanence une cellule vide, devraient tendre à disparaître.

• **Laboratoire de contrôle** : partie intégrante de l'organisme stockeur, il sera de mieux en mieux équipé pour le suivi de la qualité des grains stockés, en vue d'une utilisation technologique précise, et servi par un personnel de plus en plus qualifié. Le laboratoire de contrôle d'une entreprise de stockage importante pratiquera sans doute couramment, à l'aide de méthodes rapides et automatisées (par exemple : chromatographie, réflectance infra-rouge) des dosages aujourd'hui réservés à quelques laboratoires spécialisés : analyses microbiologiques, toxines fongiques, résidus de pesticides et insecticides, tests d'aptitude technologique, recherche des variétés... ; on peut imaginer qu'un contrôle statistique de la qualité soit de pratique courante, grâce à des méthodes d'échantillonnage performantes et à des méthodes d'analyse automatique.

## 2.2. Evolution socio-économique

C'est sans doute le domaine dans lequel les prévisions sont les plus délicates à formuler ; il faudrait mettre en place divers scénarios possibles et en simuler l'évolution, ce qui représenterait toute une étude en soi. On peut

toutefois essayer d'imaginer quelques évolutions souhaitables, sinon probables.

On peut ainsi s'attendre ;

- que la France conforte sa position d'exportateur de grains, par une augmentation des surfaces emblavées (sur les terres en friches), un accroissement des rendements (amélioration génétique, génie biologique), un accroissement de la productivité des entreprises agricoles ; toutefois cette culture intensive trouvera sa limite dans le coût croissant des engrais et des produits de traitement.

- que la demande des pays actuellement déficitaires en céréales ne diminue pas ou peu (pays de l'Est notamment) ;

- que la demande des pays en voie de développement augmente considérablement en quantité, mais aussi en qualité, avec une nécessaire réduction des pertes considérables que l'on connaît à l'heure actuelle, et avec le poids politique et financier (qui paiera ?) que cela représente.

Ceci conduit à penser que plusieurs nécessités se feront de plus en plus évidentes, et en particulier celles :

- de stocker à long terme (rôle de régulation des marchés, rôle stratégique pour maîtriser l'« arme alimentaire ») ;

- de classer réellement et efficacement les grains par qualité et type d'utilisation ultérieure ;

- de payer les grains en fonction de la qualité, cette dernière incluant, outre les paramètres actuels, ceux relatifs à l'innocuité, à la propreté, au degré de siccité, à la valeur alimentaire, etc... ; mais ceci est un problème essentiellement politique ;

- de pallier le sous-équipement des PVD pour le stockage et transport des grains qu'ils achètent ou reçoivent au titre de l'aide alimentaire.

Cette évolution socio-économique s'inscrira dans le double cadre de la politique agricole de la CEE, avec les vastes et complexes problèmes qu'elle rencontre, et de la politique agricole des USA, d'où résulte pour une large part les prix mondiaux.

**2.2.1. L'entreposage à long terme** implique soit un stockage ventilé de grains très secs, avec des moyens de lutte appropriés contre les insectes, soit peut-être le stockage en anaérobie. Ce type de stockage, très coûteux par les équipements et par le capital immobilisé et dont la fonction est

surtout politique, ne peut être le fait que des états ; l'Etat français, par l'intermédiaire de l'ONIC, ou d'un autre organisme le voudra et le pourra-t-il, au-delà de l'actuel stock de sécurité représentant de un à trois mois de consommation ?

**2.2.2. Le classement des grains** par qualité et aptitudes technologiques est déjà une réalité. On voit s'élaborer des normes de qualité (Codex alimentarius, ISO) de plus en plus précises et exigeantes, en particulier au plan hygiénique, dont l'usage deviendra la règle dans le commerce international. La tendance actuelle consistant à abaisser la teneur maximale en eau devrait s'accroître, la limite de 12 ou 13 % pouvant devenir la règle. Si, comme cela est réclamé par beaucoup, le paiement des grains à l'agriculteur devient réellement fonction de la qualité, le classement va assurément se développer de façon considérable, impliquant que les organismes stockeurs investissent beaucoup en moyens de contrôle et de laboratoire, et en cellules diversifiées pour recevoir et séparer les lots de qualités différentes : cette évolution, beaucoup plus aisée dans les grandes unités, entraînera sans doute une concentration accrue des organismes stockeurs dont les capacités moyennes devraient encore augmenter. Simultanément des pratiques regrettables et grandement préjudiciables à la qualité, comme celles consistant à réhumidifier les grains lorsque leur teneur en eau est au-dessous du seuil légal, ou à réincorporer à la sortie les poussières retirées au nettoyage, devraient s'éteindre elles-mêmes, parce qu'elles ne seront plus rentables, ou parce que l'efficacité du contrôle sur les produits finis deviendra dissuasif.

**2.2.3. L'exportation** vers les pays en voie de développement implique que le stockage pendant le transport et le bateau soit ré-étudié ; là encore le stockage confiné (anaérobie) peut être une solution élégante, mise en œuvre soit dans le corps même du bateau soit dans des containers de plus petite dimension.

Les ports de réception devront être équipés de moyens modernes : mais plus encore les moyens d'acheminement à l'intérieur des terres, et les équipements de stockage à destination, devront être revus. L'utilisation de containers étanches, réutilisables ou non, mis sous vide ou sous CO<sub>2</sub>, pouvant passer directement du bateau au quai ou aux camions, et permettant le stockage à l'arrivée dans les villages

est devenue une réalité technique qui paraît au point ; son développement pourrait contribuer à éviter les scandaleuses pertes de grains déversés en vrac sur des quais où ils nourrissent les rongeurs, et la dégradation de ce qui reste pendant le transport. Une étroite collaboration entre les pays exportateurs et les pays importateurs sera assurément nécessaire pour mener à bien ces opérations. Il faudrait toutefois venir à bout de certains intérêts personnels puissants qui peuvent trouver avantage à la situation actuelle.

### 2.3. Principales orientations de recherches

Les axes de recherches fondamentales concernant les problèmes de conservation (physiologie des grains et graines, physiologie des microorganismes, des insectes, etc...) sont d'une grande pérennité. Ils ne devraient pas être sensiblement modifiés.

En terme de recherche appliquée et de développement, la problématique du stockage devrait se poser en termes assez précis. Selon ce que nous venons de discuter, il apparaît que les orientations de recherche appliquée les plus importantes à venir et par conséquent les innovations les plus notables pourraient donc être :

- la mise au point de capteurs en place pour la mesure automatique du développement de moisissures entre autre par détermination de la concentration en métabolites volatils, de l'activité de l'eau, ainsi que pour la détection acoustique des insectes ;
- le développement de cellules étanches, nouvelles quant au matériau et à la technologie de manutention notamment pour le stockage semi-humide ;
- l'automatisation totale de la gestion des silos et la mise au point des automates et des logiciels correspondants ;
- la mise au point de stabilisants chimiques nouveaux offrant toute garantie au plan de la sécurité du consommateur (retombées possibles des progrès de la chimie) ;
- enfin dans un domaine assez différent, celui de la recherche socio-économique, il reste beaucoup à faire pour mieux connaître les structures du stockage, leur rôle, leur devenir.

### En guise de conclusion

Quelle pourrait être la physionomie du

stockage à l'horizon 2000, à la lumière des possibilités techniques et économiques concevables à l'heure actuelle ? Rien ne laisse entrevoir de révolution spectaculaire : il faut plutôt s'attendre à une évolution technologique dans la suite logique de ce que l'on connaît déjà. On peut imaginer que les cultivateurs placeront les grains venant d'être récoltés, plus ou moins humides et sales, dans des containers étanches de petites ou moyennes dimensions, disposés à proximité des points de récolte : la mise en anaérobiose et ou des conservateurs chimiques y assureront une conservation correcte de quelques jours. Ces containers, regroupés, seront transportés par camion gros porteurs à l'O.S. régional, dont la grande capacité résulte de la concentration de plusieurs petits organismes stockeurs locaux. Déjà largement amorcée dans certaines usines d'alimentation pour animaux, une évolution devrait être très marquée : à la livraison, après un échantillon représentatif et automatique dans le container, les grains livrés seront immédiatement analysés par des techniques ultra-rapides, et en fonction de leurs caractéristiques seront dirigés vers les centres de traitement (séchage, nettoyage, désinsectisation...), puis vers des cellules de stockage ; l'ordinateur qui gèrera l'ensemble regroupera dans les mêmes cellules des grains de qualité équivalente, et par des mélanges appropriés constituera des stocks de qualité standard dont il déterminera la durée de conservation ; il les surveillera ensuite pour les traiter et les déstocker au moment le plus opportun, en fonction des demandes aval.

L'ensemble, entièrement automatisé, sera surveillé par un minimum de techniciens hautement qualifiés. Comme dans bien d'autres domaines, c'est de l'informatique et de l'électronique (en particulier automates programmables) qu'il faut attendre les évolutions les plus importantes, évolutions auxquelles aucun O.S. ne pourra échapper dans les années à venir.

Certains grains, en fonction des nécessités du marché, et des contraintes politiques, seront dirigés sur des centres de stockage longue-durée (jusqu'à 5 ans). Ainsi, grâce à ce tampon, la qualité et les cours des grains pourraient théoriquement être assez constants, libéré que l'on sera des contraintes du séchage (séchage à l'électricité nucléaire ; stockage semi-confiné) et de l'usage des engrais (céréales assimilant l'azote de l'air). Tou-

tefois, rien ne laisse supposer que les cours soient libérés de l'influence dominante, économique et politique, des U.S.A.

Pour les besoins de la ferme, des enceintes originales constituées dans des matériaux nouveaux, isolants, inattaquables notamment par les rongeurs, permettront sans doute le stockage en anaérobiose, beaucoup plus intéressant et de meilleure qualité que celui actuellement effectué dans les cribs ou dans les silos de fortune.

Dans un avenir sans doute plus lointain des bateaux spécialement aménagés (cellules fixes ou containers mobiles, à atmosphère confinée) permettront l'exportation vers les pays sous-équipés et la distribution dans de bonnes conditions, par camion jusqu'au plus petit village de la brousse.

Peut-être aussi aura-t-on trouvé un stabilisant chimique, efficace contre les insectes et les micro-organismes, non toxique pour l'homme, peu coûteux, facile à mettre en œuvre, et donc susceptible d'assurer une bonne conservation ?

Scénario optimiste et vue de l'esprit, ou réalité dans 20 ans ?

La réponse dépend des progrès techniques qui seront réalisés, de la volonté politique des principaux pays producteurs et exportateurs de céréales, et de la stratégie des importateurs.

Et au-delà ? Si l'on veut faire de la science-fiction et rêver un peu on peut penser que les révolutions viendront du génie génétique : on peut envisager que l'on crée par sélection ou manipulation génétique des variétés destinées à l'alimentation et dont les métabolismes seraient autobloqués (disparition des enzymes respiratoires), et auto-protégés contre les micro-organismes par des systèmes de défense naturelle intrinsèques. On aurait ainsi des grains presque inertes vis-à-vis des conditions ambiantes. La disparition des insectes et animaux prédateurs des grains seraient assurées par des voies biologiques. Il n'y aurait plus alors que des problèmes de manutention analogues à ceux que pourrait poser le stockage des billes de verre. Si la biologie ne peut réaliser cela on peut également envisager que les transports dans l'espace devenant d'un coût abordable on place les stocks de longue durée (réserve de sécurité) dans des satellites de stockage où le séchage, la réfrigération et l'anaérobiose seraient immédiate-

ment assurés par le milieu. Mais peut-être dans ce futur lointain n'y aura-t-il plus de céréales et la nourriture humaine sera-t-elle assurée par d'autres voies, auquel cas il n'y aurait plus de problèmes de stockage ?

## Bibliographie générale

### I. Ouvrages anciens

— DOYERE, L. : Conservation des grains par l'ensilage. Paris, Guillaumin et Cie, 1861.

— DUHAMEL DU MONCEAU : Traité de la Conservation des Grains et en particulier du Froment. Paris, chez H.L. Guérin, 1754.

— LASTEYRIE, C.P. (de) : Des fosses propres à la conservation des grains et de la manière de les construire..., Paris, Imprimerie Royale, 1819.

— MÜNTZ, A. : Etudes sur la conservation des grains par l'ensilage. Annales de l'I.N.A., 3, 4 : 19-73, 1878-1879.

— PONCELET (L'abbé) : Histoire naturelle du froment. 1779.

— RENEAUME : Sur la manière de conserver les grains. Mémoire à l'Académie des Sciences. 1708.

— TERNAUX, L.G. : Mémoire sur les expériences faites à Saint-Ouen près de Paris, pour la conservation des grains dans un silo ou fosse souterraine. Paris, Delaunay, 1820.

### II. Ouvrages modernes

— CHRISTENSEN C.M., KAUFMANN H.M. : Grains storage. The role of fungi in quality loss. University of Minnesota Press (Minneapolis), 1969.

— CHRISTENSEN C.M. : Storage of cereal grains and their products. A.A.C.A., St Paul (Minn.), 1974.

— F.A.O. : La récolte perdue. 1982.

— GAST M. et SIGAUT F. : Les techniques de conservation des grains à long terme. Paris, Editions du CNRS, Vol. 1, 1979 ; Vol. 2, 1981 ; Vol. 3 et 4 (à paraître).

— HALL D.W. : Handling and storage of food grains in tropical and subtropical areas. F.A.O. (Rome), 1970.

— KREYGER J. : Drying and storing grains, seeds and pulses in temperature climate Publikatie 205. Institute for Storage and Processing of Agricultural Produce. Wageningen, 1972.

— MULTON J.L. : Conservation et stockage des grains et graines. 2 vo-

lumes. TEC et DOC/APRIA, Paris, 1982.

— MULTON J.L., GUILBOT A. : La conservation des grains récoltés humides. I.N.R.A., (Paris), 1973.

— SCOTTI G. : Les insectes et les acariens des céréales stockées. AFNOR et ITCF (Paris), 1978.

— SHEJBAL J. : Controlled atmosphere storage of grains. Elsevier Scientific Company, 1980.

— SIGAUT F. : Les réserves de grains à long terme. Paris, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme et de l'Université de Lille III., 1978.

— SIGAUT F. : Les techniques de conservation des grains et leurs fonctions sociales. (Rapport adressé au CORDES, Miméogr.), 1979.

— SINHA R.N. MUIR W.E. : Grains storage, part of systems. The AVI publishing Co., (West port), 1973.

### III. Articles de revues

— BURE J. : « La vie des grains », in : Commission des semences et des progrès techniques de la production des céréales. Compte-rendu de la Journée préparatoire sur le séchage. Paris, le 7 mai 1952, A.G.P.B.

— CASAGRANDE : « Structure du stockage en France », in : MULTON, Conservation et stockage des grains et graines, TEC et DOC/APRIA, Paris, 1982.

— Conférence Générale du Maïs ; groupe de travail n° 2. Rapport de synthèse — Organisation économique et technique de la récolte, du séchage et du stockage. Paris, 18-19 Fév. 1981.

— FLEURAT-LESSARD F., TRENTESAUX E. : Désinsectisation des produits céréaliers par traitement physique. Compte-rendu D.G.R.S.T. (contrat n° 75-7-0345/346/347), 1977.

— GARIBOLDI F. : L'étuvage du riz. F.A.O. (Rome), 1974.

— G.A.S.G.A. : Post-harvest improvements fort the eighties and nineties. Communication 72 of the Dept. of Agricultural Research, Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam, avril 1982.

— GUILBOT A., POISSON J. : Conditions de stockage et durée de conservation des grains. Journée d'étude sur la conservation des grains, I.T.F.C. (Paris) 15-27, 1963.

— HESNARD : Rôle de l'ONIC en matière de stockage. in : MULTON, Conservation et stockage des grains et graines, Tel et DOC/APRIA, Paris, 1982.

— KREYGER J. : Recherches sur la conservation des orges de brasserie. Bull. Anc. Eleves de l'Ec. Fr. de Meunerie, 169. 19, 1959.

— LASSERAN J.C. : La ventilation des grains. Perspectives agricoles, N° hors série, mars 1981.

— LEE A.G. : The historical significance of the Chicago Grain Elevator System. Agricultural History, 11 : 16-32, 1937.

— LUCA Y. (de) : Ingrédients naturels employés dans les silos locaux des pays en voie de développement. in : GAST et SIGAUT (op. cit.), pp. 147-150, 1981.

— MITSUDA H. KAWAI F., KUGA M., YAMAMOTO A. : Underwater storage of cereal grains by CEM skin-packaging technique. In : MULTON et GUILBOT « Conservation des grains récoltés humides », INRA, Paris, 1973.

— MULTON J.L. : Les mécanismes d'altération des grains et graines dans l'éco-système post-récolte : les pertes qui en résultent et les stratégies de défense des stocks. in : MULTON « Conservation et stockage des grains et graines », TEC et DOC/APRIA, (Paris), 1982.

— SCHRIBAUX E. Conservation des grains. Revue du Service de l'Intendance militaire, 25 : 97 - 131 - 1912.

## L'évolution de l'industrie française des eaux minérales

par F. STEININGER

**Les Français sont les plus grands buveurs d'eau minérale embouteillée au monde. La consommation moyenne annuelle atteint une soixantaine de litres, les femmes, les enfants et les personnes âgées étant les plus concernés.**

Industries Alimentaires et Agricoles 1982.