

MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME
GROUPE "ECOLOGIE ET SCIENCES HUMAINES"

LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES GRAINS
ET LEURS FONCTIONS SOCIALES

Recherche de technologie culturelle

Rapport de fin de recherche réalisée en exécution de la Convention
n° 42/75 (41/76) entre la MSH et le CORDES

par

F. Sigaut

avec la collaboration de

M.-C. Aubin

1979

COMITE D'ORGANISATION DES RECHERCHES APPLIQUEES
SUR LE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL

MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME
GROUPE "ECOLOGIE ET SCIENCES HUMAINES"

LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES GRAINS
ET LEURS FONCTIONS SOCIALES

Recherche de technologie culturelle

Rapport de fin de recherche réalisée en exécution de la Convention
n° 42/75 (41/76) entre la MSH et le CORDES

par

F. Sigaut

avec la collaboration de

M.-C. Aubin

COMITE D'ORGANISATION DES RECHERCHES APPLIQUEES
SUR LE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL

SOMMAIRE

AVERTISSEMENT	1
INTRODUCTION	3
LE DEROULEMENT DE LA RECHERCHE. LA COLLECTE DES DONNEES	7
LES TECHNIQUES: IDENTIFICATION, LOCALISATION	11
Remarques de méthode	11
Les produits stockés	12
Préparation et conditionnement des produits en vue de leur stockage	15
L'étuvage	15
Le séchage	16
Les modes de stockage destinés à conserver les produits dans un état aussi proche que possible de leur état initial	22
Les modes de stockage comportant une modification du produit	30
Les techniques de préservation associées au stockage	31
LES TECHNIQUES: DEVELOPPEMENTS DEPUIS LE XVIIIe SIECLE	34
Périodisation	34
Avant 1708. Le stockage préindustriel	36
1708-1818. Premières recherches	37
1819-1880. Premières expérimentations; premières réalisations de stockage industriel	38
1880-1930. Le creux de la vague	40
1930-1950. Le démarrage	44
1950-1975. L'expansion	52
Depuis 1975. Stabilisation?	61
LES CONNAISSANCES	65
L'état et la qualité du grain	67
Les facteurs isolables de détérioration	72
Le comportement du grain stocké en fonction des conditions physiques	78
Les techniques: mise en oeuvre, fonctionnement, résultats	86
Atmosphère confinée ou contrôlée	87
Ventilation	93
LES RELATIONS FONCTIONNELLES	97
CONCLUSION	107
BIBLIOGRAPHIE	111
LISTE DES ABREVIATIONS	131
LISTE DES PERSONNES RENCONTREES	132
COMPTES-RENDUS DE REUNIONS	133
Séminaire de Sénanque (mars 1977)	133
Séminaire d'Arudy (juin 1978)	137
Réunion de travail du 1er février 1979	140
SOMMAIRE DES ACTES DES SEMINAIRES DE SENANQUE ET D'ARUDY	147
LA REDECOUVERTE DES SILOS A GRAINS EN EUROPE OCCIDENTALE, 1708- 1880 (résumé)	149

A V E R T I S S E M E N T

Ce rapport ne décrit pas une recherche terminée. Les dimensions du sujet imposeront de la poursuivre longtemps encore. Simplement, la perspective principale s'est déplacée. Les réponses trouvées aux questions initiales, qui se posaient surtout sur le plan technologique, laissent maintenant tout leur relief aux questions d'ordre socio-économique qui restent à résoudre. Cette recherche à venir, comme celle qui donne lieu à ce rapport, sera une entreprise collective. Il s'est en effet avéré beaucoup plus fructueux de susciter l'intérêt, donc la collaboration, de spécialistes de régions, d'époques et de disciplines différentes, en leur proposant une problématique d'ensemble, plutôt que de s'aventurer soi-même dans trop de domaines différents. L'inconvénient majeur de cette méthode est qu'elle impose de longs délais. Néanmoins, les Actes de la réunion scientifique de Sènanque (5-6 mars 1977) sont sous presse, et ceux de la réunion d'Arudy (1-3 juin 1978) sont en préparation. D'autres rencontres semblables, et d'autres publications, sont prévues pour les prochaines années.

Ces deux publications (Actes de Sènanque et d'Arudy) s'ajoutent à celle du premier aide-mémoire que nous avons diffusé au début de 1977 pour préparer la réunion de Sènanque, dans une version corrigée et augmentée d'un choix de textes originaux et d'une bibliographie d'environ 450 titres. La parution de cette seconde version est prévue pour la fin de 1978. Comme la première, elle servira à susciter de nouvelles collaborations, notamment dans les milieux des historiens d'une part, des agronomes, techniciens et biologistes de l'autre, que nous n'avons pas encore touchés autant que nous l'aurions voulu. Cette utilisation de documents publiés nécessite elle aussi de longs délais. Mais elle est inséparable de la politique d'ensemble suivie. L'expérience nous a

appris que c'est seulement sur la base de documents déjà élaborés qu'il était possible de susciter des collaborations véritablement actives.

En raison de ces publications, actuelles et futures (et qui seront bien entendu adressées au CORDES au fur et à mesure de leur parution), ce rapport présente un caractère assez hétérogène. Certains aspects sont fortement résumés. Il ne présente pas la totalité des informations recueillies. Ses perspectives ont autant d'importance que ses conclusions.

I N T R O D U C T I O N

Notre point de départ était l'existence dans de nombreuses régions du monde, y compris dans le Sud-ouest de la France au XVIII^e siècle, de fosses souterraines destinées au stockage des grains; ces fosses étaient appelées silos en Espagne. L'existence même de cette technique était ignorée du plus grand nombre d'agronomes, techniciens, historiens et anthropologues européens qui auraient pu ou dû en connaître. Chez ceux qui ne l'ignoraient pas tout à fait, l'attitude dominante était un scepticisme à peu près complet. Restait seulement une très petite minorité d'enthousiastes, comme par exemple Paul Vayssière en France ou Mary B. Hyde en Angleterre, pour la période récente (années 1950-1970).

Les arguments des enthousiastes paraissaient séduisants, d'autant plus qu'ils étaient les seuls à témoigner d'une connaissance approfondie de la technique en cause, qui n'était plus bien sûr l'ensilage souterrain, mais l'ensilage hermétique. En atmosphère confinée, la respiration des insectes, du grain lui-même et des micro-organismes qui lui sont associés, se trouve rapidement arrêtée par la disparition de l'oxygène libre et l'accumulation concomitante de gaz carbonique. Dans de telles conditions, les organismes aérobies meurent ou entrent en vie ralentie. Comme c'est leur activité qui produit des phénomènes redoutés tels que l'échauffement du grain, suivi de sa prise en masse si on n'intervient pas à temps, l'herméticité apparaissait comme l'arme absolue contre les principales causes de détérioration. Ces arguments ne semblaient pas seulement logiques. Ils s'appuyaient sur des résultats expérimentaux assez nombreux, et aussi sur le fait que l'ensilage souterrain devait bien donner des résultats satisfaisants pour avoir pu se maintenir aussi longtemps dans des pays aussi nombreux. A l'opposé, les arguments des sceptiques se ramenaient, pour l'essentiel, à trois objections-clés:

- impossibilité ou coût excessif de la réalisation pratique de

l'étanchéité pour de grandes capacités,

- incompatibilité entre le maintien en atmosphère confinée et la nécessité d'ouvertures plus ou moins fréquentes pour le contrôle ou la manoeuvre des grains stockés,

- risques de fermentation dans le grain ensilé à plus de 15-16 % d'humidité; si cette fermentation se prolonge, le grain perd sa capacité germinative, ses qualités boulangères, et acquiert une odeur et un goût qui peuvent le rendre impropre à la consommation humaine.

Aucune de ces objections, toutefois, ne paraissait irréfutable aux partisans de l'ensilage hermétique. L'emploi de tôles soudées (et non rivetées) dans la construction des cellules devait permettre de résoudre les problèmes pratiques d'étanchéité. Les sujétions du confinement ne devaient pas être exagérées: il n'était nécessaire, ni de remplir complètement les cellules, ni de s'abstenir de les ouvrir pendant de longues périodes, l'épuisement de l'oxygène en cas d'amorce de processus respiratoires accélérés étant rapide (quelques jours). Enfin, si les fermentations étaient assurément un danger, ce danger était moindre que celui des avaries qui n'auraient pas manqué de survenir dans la même masse de grains stockée en atmosphère non confinée.

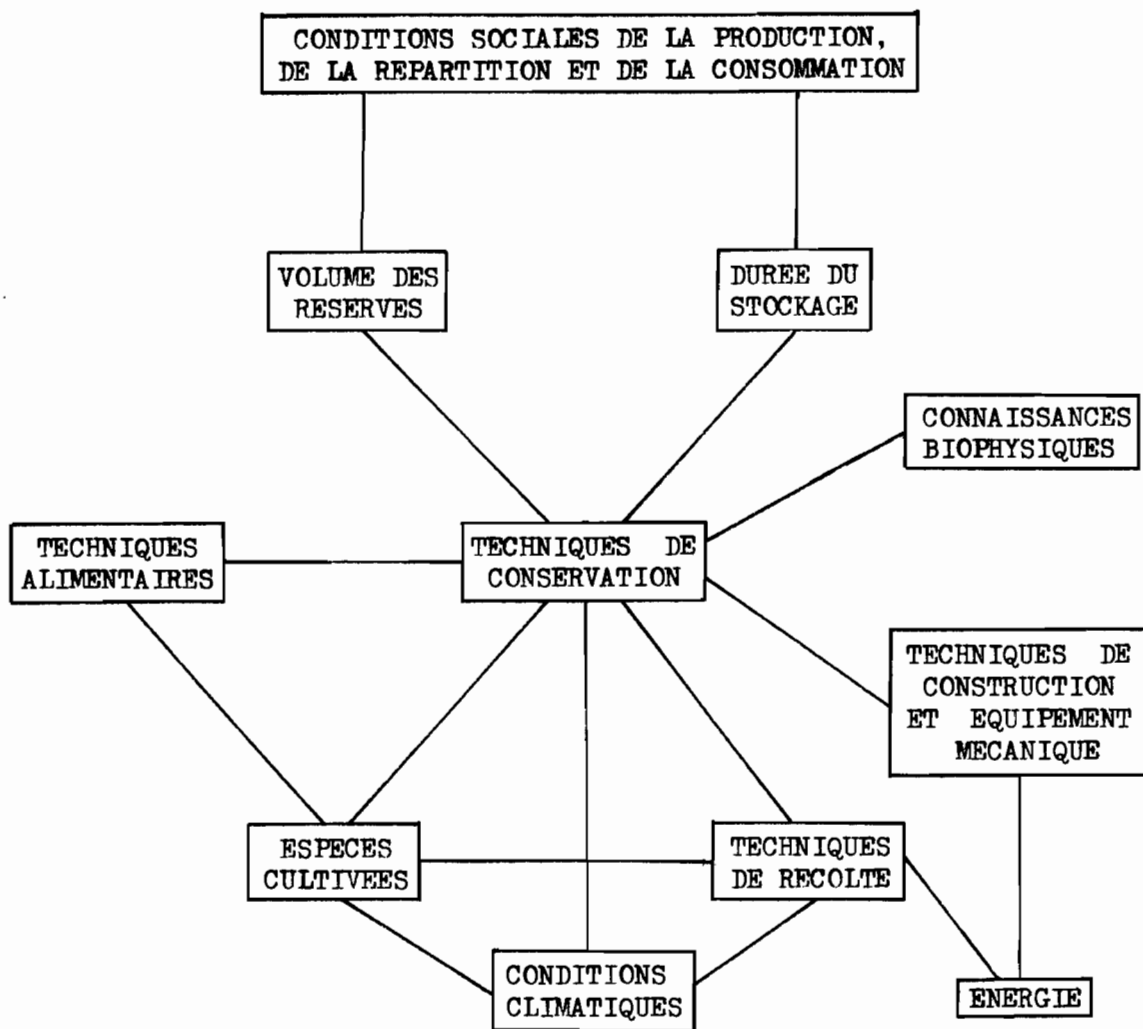
Face à cet échange d'arguments, d'objections et de réfutations, notre première réaction fut de chercher une solution sur le plan technique et scientifique. Il nous semblait qu'une analyse de tous ces arguments, c'est-à-dire des savoirs mis en jeu dans les différentes méthodes de conservation des grains, nous permettrait de tirer au clair la controverse. Partant de ce point de vue, et dans l'hypothèse où cette analyse confirmerait le bien-fondé de la position des partisans de l'ensilage hermétique (dont le dossier, encore une fois, paraissait mieux nourri que celui de leurs adversaires), nous essayerions de comprendre pourquoi on les avait aussi peu suivis, du moins en France.

Bien entendu, les insuffisances de cette façon de poser le problème n'ont pas tardé à se manifester. Mais il nous a été extrêmement utile d'en passer d'abord par là. Ce n'est plus ainsi que nous posons le problème, que d'ailleurs le seul inventaire des savoirs mis en jeu ne permettrait pas de résoudre. Mais ce que cet inventaire (inachevé) nous a permis, c'est d'identifier des relations importantes entre techniques de stockage et d'autres éléments du système socio-économique. Nous avons pris l'habitude de visualiser celui-ci sous la forme d'un réseau. Comme toutes les autres techniques, les méthodes de stockage font partie de ce réseau, où leur place, leur fonction, se définit

comme l'ensemble des relations, quelle qu'elles soient, qui les relient à d'autres éléments du réseau. Le graphique de la page suivante donne une image très simplifiée de la région du réseau qui avoisine les techniques de conservation des grains. Les relations qui y sont figurées ne sont ni les seules, ni même parfois les plus importantes, et on pourrait proposer de ce graphique bien d'autres versions bien différentes sans doute. Si nous nous sommes arrêtés à celle-ci, c'est qu'elle suffit à concrétiser ce que nous voulons dire lorsque nous parlons de réseau; il serait illusoire de vouloir représenter exhaustivement, sous forme graphique, tous les éléments qui entrent en jeu et toutes les relations qui les unissent entre eux et aux techniques de conservation des grains.

Ce que la présente recherche nous a permis de vérifier, en tous cas, c'est que l'approche technologique est seule à même de nous permettre d'identifier bon nombre de ces relations.

- Graphique 1 -



LE DEROULEMENT DE LA RECHERCHE. LA COLLECTE DES DONNEES

La principale difficulté des recherches de caractère thématique est l'étendue du champ qu'elles obligent à parcourir, dans le temps et dans l'espace. Le chercheur se trouve alors confronté à des sources et à des problématiques d'une extrême diversité, impliquant autant d'apprentissages même sommaires qu'il y a de spécialités différentes. Le danger d'éclectisme est bien réel, mais il faut bien accepter de le courir si, comme nous en sommes de plus en plus convaincu, les recherches thématiques sont le seul moyen aujourd'hui de déboucher sur des orientations réellement nouvelles. Cette difficulté, perceptible dès le départ dans notre projet initial, avait amené le CORDES à nous demander de centrer davantage notre propos sur l'époque moderne et sur la France. En fait, la solution qui s'est dégagée presque d'elle-même a été de compenser cette réduction de champ par un appel à la recherche collective. Il n'était pas évident au départ, et nous ne l'avions d'ailleurs pas envisagé, qu'un sujet aussi aride en apparence que la conservation des grains pût intéresser plusieurs dizaines de chercheurs en sciences humaines venus des horizons les plus divers. C'est seulement à la suite des contacts de plus en plus nombreux que cette recherche nous amenait à prendre que nous prenions peu à peu conscience de cet intérêt potentiel. Dès lors, il convenait de ne pas laisser en suspens le mouvement ainsi amorcé. Nous y étions encouragé par M. Marceau Gast, Maître de Recherches au CNRS, avec qui nous étions en relation sur ce sujet depuis le début de 1976. C'est ainsi que fut décidée une première réunion de travail à Sénanque (Vaucluse) en mars 1977, sur la base d'un document résumant les acquis de la première étape, à caractère ethno-historique, de notre travail. La réunion de Sénanque rassembla 25 chercheurs, et donna lieu à 20 contributions écrites dont l'édition est en cours: les résultats parurent suffisamment positifs pour qu'une réunion semblable soit organisée l'année suivante à Arudy

(Pyrénées-Atlantiques), cette dernière localité ayant été proposée par M. Igor de Garine, Maître de Recherches au CNRS. Sur le plan du contenu, la réunion d'Arudy prolongea très directement les travaux de celle de Sénanque — même problématique, même appartenance scientifique des participants — et ses actes seront du reste publiés sous le même titre, comme un second volume. Ces deux réunions ont engendré une dynamique que nous considérons comme le premier résultat, et le plus important, de notre travail.

Après Sénanque et Arudy, une troisième réunion est prévue à Levroux (Indre) dans la seconde moitié de 1980, mettant à profit la présence sur place d'une équipe pluri-disciplinaire du CNRS. Le délai plus long (deux ans), nous a paru nécessaire pour mettre sur pied une problématique plus large, et par conséquent plus spécialisée. Nous espérons en particulier que la réunion de Levroux sera marquée par une participation plus importante des biologistes, techniciens et professionnels travaillant sur les problèmes actuels, que cela n'a été le cas jusqu'à présent. Sur ce plan en effet, nous reconnaissons volontiers n'avoir pas été aussi vite et aussi loin que nous l'aurions souhaité. Il y a plusieurs raisons à ce retard provisoire. L'une d'elles est la plus grande disponibilité relative des ethnologues, archéologues et historiens, dont les intérêts propres pèsent par conséquent davantage. L'autre est, un peu paradoxalement, la très grande dispersion des chercheurs, techniciens et professionnels qui travaillent sur les problèmes actuels du stockage des céréales. Cette dispersion est elle-même la conséquence du fait que jusqu'à une date récente, le stockage des grains n'était qu'à peine un sujet de recherche reconnu comme tel — en France tout du moins. Contrairement à ce qui se passe dans plusieurs pays, il n'y a en France aucun centre de recherche, aucun périodique, ni même aucun ouvrage de synthèse scientifique récent spécialisés sur les problèmes du stockage. En 1974, un chercheur conscient de cette dispersion recensait déjà 22 organismes intéressés. On en compte bien davantage aujourd'hui: ce n'est que tout dernièrement que s'est constitué, sous l'égide du Service de la Protection des Végétaux du Ministère de l'Agriculture, un "Groupe de coordination en matière de denrées stockées (céréales)", dont la première réunion s'est tenue à Paris les 9 et 10 janvier 1979. 52 personnes représentant 36 organismes différents y étaient invitées. L'existence de ce "club" est un atout décisif pour l'avenir, maintenant que l'organisation de symposiums sur la base d'une problématique aussi précise que possible est devenue partie intégrante et même méthode de recherche. Elle devrait

singulièrement faciliter le rapprochement des deux dynamiques amorcées, l'une du côté des sciences humaines, l'autre du côté des sciences naturelles, des techniques et de la profession.

En ce qui concerne la collecte des données proprement dite, nous avons comme prévu travaillé sur deux plans, dépouillement des sources écrites et enquêtes complémentaires auprès de chercheurs, techniciens et professionnels. C'est au dépouillement des sources écrites que nous avons donné la priorité, car nous le considérons comme un préalable nécessaire à toute enquête comme celle-là. Nous avons visé au maximum d'exhaustivité, et pensons y être assez bien parvenu pour les sources anciennes, antérieures à 1940. Pour la période plus récente, le problème est évidemment rendu plus difficile par la multiplication du nombre des publications, et de celui des écrits à faible diffusion. A cela s'ajoute le fait que le stockage des céréales est un sujet mal pris en compte, mal individualisé, dans nombre d'outils bibliographiques existants. Pour les sciences humaines, les Human Relations Area Files du Laboratoire d'Anthropologie Sociale (Collège de France) se sont avérés improductifs, ainsi que le fichier sciences humaines du CNRS. Pour les sciences économiques, le fichier RESEDA s'est avéré assez peu productif, contrairement à la revue World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts (depuis 1959), qui malheureusement toutefois ignore largement les sources françaises. Pour les sciences naturelles et les techniques, le fichier PASCAL du CNRS est également assez peu rentable, car le recours à un système de mots-clés mal adapté fait sortir soit trop peu, soit trop de références, dont beaucoup ne sont pas pertinentes. En définitive, les meilleurs outils bibliographiques pour la période actuelle ont été pour nous les publications bibliographiques du CNEEMA et les revues spécialisées, la plupart étrangères (Tropical Storage Abstracts, Tropical Stored Products Information, Journal of Stored Products Research, Seed Science and Technology, Bulletin des Anciens Elèves de l'Ecole Française de Meunerie, etc.). Nous pensons grâce à ces outils avoir réussi à acquérir une vue d'ensemble assez satisfaisante de la littérature la plus récente. C'est peut-être celle des années 1950 et 1960 que nous aurions le moins bien appréhendé.

Quant aux enquêtes complémentaires, nous avons procédé en deux temps. Dans un premier temps, nous avons cherché à contacter des chercheurs biologistes de l'INRA, du Museum National d'Histoire Naturelle et du Pest Infestation Laboratory de Slough (GB), car nous cherchions surtout à clarifier nos idées sur les phénomènes biochimiques susceptibles de se

dérourler dans les grains stockés. Plus récemment, nous sommes entré en contact avec des techniciens et des professionnels, dont certains retraités, et qui appartiennent pour la plupart au milieu coopératif. On trouvera la liste de ces personnes en annexe. Les entretiens que nous avons eus avec elles ont bien entendu été notre source principale, sinon exclusive, pour connaître les conditions de la pratique actuelle et de celle du passé récent. La mémoire de nos interlocuteurs remonte facilement à l'immédiat après-guerre, et souvent aux années 1930. Il s'ensuit que l'évolution des 40 à 50 dernières années est facile à reconstituer dans ses grandes lignes, alors que la période immédiatement antérieure, qui va de 1860-1880 à 1930, et pour laquelle il n'y a pas de sources comparables en richesse à celles du premier XIXe siècle, est plus difficilement accessible.

LES TECHNIQUES: IDENTIFICATION, LOCALISATION

Remarques de méthode.

Une des conclusions auxquelles nous a conduit notre travail sur la conservation des grains (ainsi d'ailleurs que sur d'autres techniques agricoles) est qu'il existe quatre étapes nécessaires dans toute recherche technologique. Ce sont les suivantes:

- (1) Identification des procédés techniques et des savoirs qu'il mettent en jeu. Cette identification comporte: descriptions de référence, étude du vocabulaire professionnel, localisation dans le temps, dans l'espace géographique et dans l'espace social de chaque procédé identifié (localisation qui est elle-même un outil d'identification important), identification également de tous les facteurs en jeu dans l'acte technique (personnes, outils, matériaux, produits...).
- (2) Etude des relations fonctionnelles: identification de toutes les relations rattachant la technique en cause aux autres éléments du réseau (système) technique et social auquel elle appartient. C'est l'ensemble de ces relations qui définit la place ou fonction de la technique.
- (3) Etude des aspects quantitatifs: production, travail, consommations intermédiaires; rendements, coefficients de transformation, taux de productivité, etc. Tous ces aspects sont importants pour comparer les techniques entre elles, et pour apprécier les conséquences économiques des changements techniques.
- (4) Dynamique évolutive: place de la technique étudiée dans l'évolution passée; en particulier, possibilité constatée d'entrer en combinaison avec d'autres techniques pour donner naissance à des innovations.

Nous n'avons bien sûr pas rempli ce programme dans sa totalité, puisqu'il n'existait pas au départ de notre travail, dont il est un des résultats. Seuls le point (1) et une partie des points (2) et (4) ont

été traités, comme d'ailleurs le prévoyait notre projet. Les aspects quantitatifs ont été presque entièrement laissés de côté, c'est certainement dans cette direction que les prolongements les plus importants sont à prévoir.

L'identification des techniques de stockage et de conservation des grains comporte les points suivants:

- les produits stockés,
- préparation et conditionnement des produits en vue de leur stockage,
- les modes de stockage destinés à conserver les produits dans un état aussi proche que possible de leur état initial,
- les modes de stockage comportant une modification du produit,
- les techniques de préservation associées au stockage.

Les produits stockés.

Les produits céréaliers se définissent par la place qu'ils occupent dans une des chaînes opératoires qui vont de la récolte à la consommation. Ces chaînes sont nombreuses: l'exemple qui est présenté ci-après (graphique 2) est valable pour la France au début du XIXe siècle. Avec la mécanisation, qui comporte la fusion entre elles de plusieurs opérations autrefois séparées, ces chaînes tendent à se réduire et s'uniformiser. Il reste important de connaître les chaînes opératoires anciennes, cependant, car elles ont contribué à définir des produits qui parfois continuent à exister.

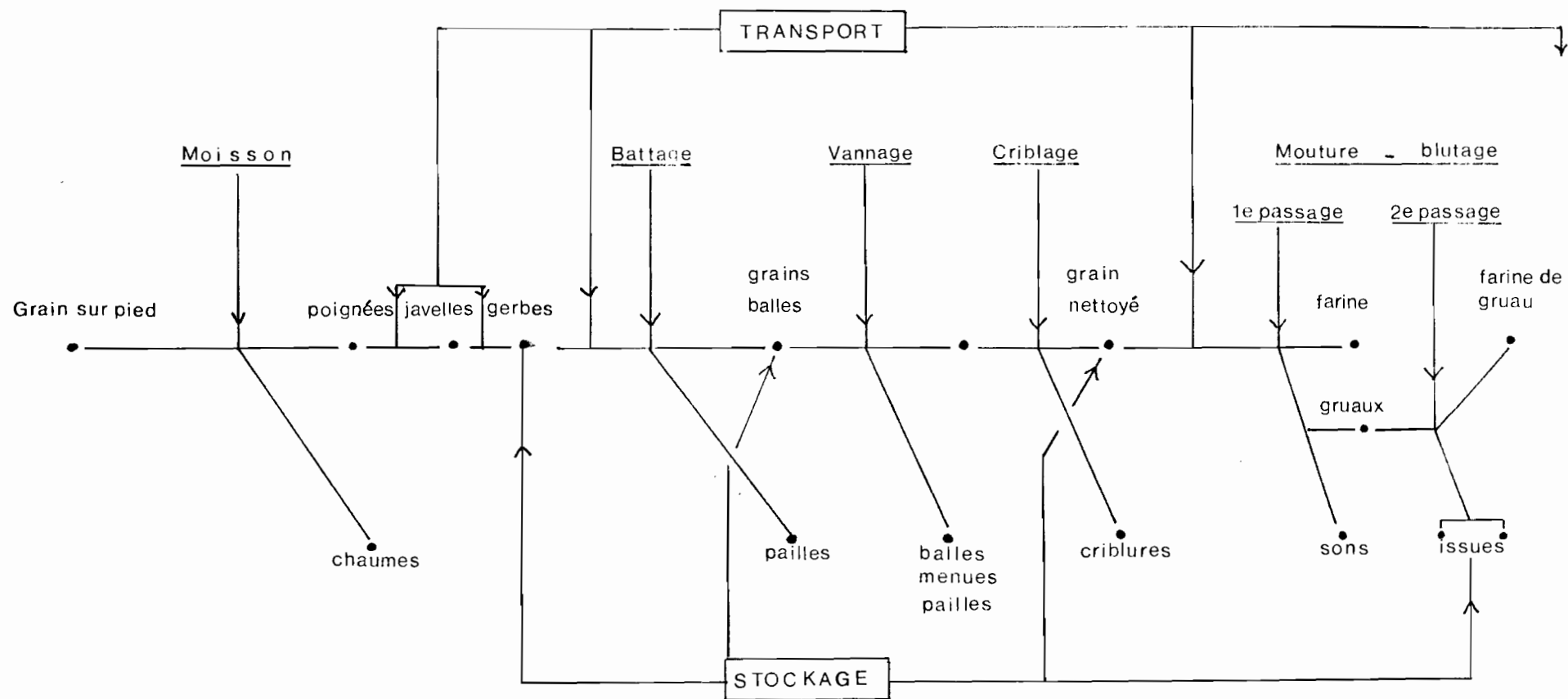
Malgré la diversité des opérations en cause toutefois, le nombre des produits susceptibles d'être stockés n'est pas très grand. On peut en proposer la liste suivante, en regard de laquelle sont disposées d'une part les céréales susceptibles de donner ce produit, et de l'autre des régions où le produit en question fait ou a fait effectivement l'objet d'un stockage (ces régions ne sont évidemment données qu'à titre d'exemple, leur énumération n'a rien d'exhaustif).

Tableau 1. Les produits stockés		
Produits stockés	Céréales	Régions
Epis + tiges : non liés : liés (gerbes)	orge, avoine céréales panifiables	Europe du N.-O. Europe
Epis, panicules (sans les tiges)	épeautre riz maïs, sorgho	Asturies Indonésie Pays tropicaux
Grains + balles (mélangés)	blé	France (sud)
Grains entiers en vrac	toutes céréales	Tous pays méditerranéens
Grains décortiqués	riz	Japon
Gruaux, semoules	blé, orge, etc.	Proche-Orient, Afrique du Nord
Farine	céréales panifiables	p.m.
Pâtes alimentaires	blé dur, riz	Europe, Extrême- Orient
Pain	blé, seigle	Scandinavie, rég. alpines

Tous ces produits n'ont évidemment pas la même importance au stockage. Mais tous ont une importance, au moins locale, non négligeable. Le moins intéressant pour nous est probablement la farine, qui n'était pas normalement stockée pour de longues durées, sauf autrefois pour expéditions au long cours (farine de minot). En Scandinavie, le stockage du pain répondait à la fois à la difficulté de conserver des grains récoltés humides, et au gel qui empêchait les moulins de tourner en hiver. Le stockage du riz décortiqué est propre au Japon depuis le XIXe siècle, il correspond à une exigence nouvelle des propriétaires fonciers.

Les autres produits stockés ont une importance beaucoup plus générale. Les pâtes alimentaires sont à la fois un produit de longue conservation et une préparation prête à consommer: elles ont donné lieu depuis longtemps au développement d'une industrie spécifique sur laquelle on n'insistera pas davantage. Sous le terme de "gruaux, semoules", nous entendons l'ensemble des conserves céréalières préparées peu après la moisson et destinées à couvrir les besoins de la famille jusqu'à la moisson suivante, telles qu'on les prépare par exemple en Tunisie (Ferchiou 1979). Cette préparation est restée jusqu'à nos jours une tâche féminine et ménagère, d'où une industrialisation plus timide et plus tardive. Les produits auxquels nous nous intéresserons spécifiquement dans ce qui suit sont toutefois les gerbes, les épis ou panicules et les grains en vrac, avec ou sans leur balle.

GRAPHIQUE 2. OPERATIONS MECANQUES DE SEPARATION



Préparation et conditionnement des produits en vue de leur stockage.

En dehors des opérations de nettoyage, toujours importantes mais que nous laisserons néanmoins de côté, il existe dans le monde deux méthodes spécifiques de préparation des céréales en vue d'un stockage prolongé: le séchage, et l'étuvage (angl. parboiling). Le terme étuvage est assez malheureux, car il a été parfois employé pour désigner un simple séchage à l'étuve, alors qu'il s'agit, on va le voir, de tout autre chose. Une différence entre ces deux procédés est que l'étuvage s'applique toujours au grain en vrac, entier, alors que le séchage peut s'appliquer à tous les produits possibles, et en particulier, en ce qui nous concerne, au grain en épis ou en gerbes.

L'étuvage est en réalité une technique complexe et à fins multiples. Bien que son histoire soit mal connue, il semble probable que son but était plutôt au départ de faciliter le décortilage des grains vêtus destinés à la consommation humaine (riz, orge, avoine, épeautre...) sous forme de gruaux. C'est seulement ensuite qu'on aurait appliqué systématiquement ce procédé à la préparation du grain en vue du stockage. Dans le détail, les modalités de l'étuvage varient à l'infini, mais il s'agit toujours de faire subir au grain une humectation suivie d'une dessiccation assez rapides, ceci en employant de préférence de l'eau chaude, voire même de la vapeur (Gariboldi 1974, Péricat 1943, Seringe 1818; Haley & Pence 1960). A côté d'un étuvage ménager, traditionnel, qu'on trouve surtout en Inde, au Proche-Orient et en Afrique Noire (riz, maïs, mais aussi blé: le bulgur) existe aujourd'hui un étuvage industriel important, développé surtout en Inde et aux Etats-Unis.

Les conséquences techniques et biologiques de l'étuvage sont les suivantes:

- le grain perd son pouvoir germinatif; s'il s'agit de blé, le gluten perd de son élasticité, la panification n'est plus possible (il existe toutefois des procédés d'étuvage modérés, qui sous le nom de "conditionnement" sont employés hors de France pour le blé panifiable: Lockwood 1948);
- la séparation des enveloppes (son, balles dans le cas des grains vêtus) est facilitée;
- l'amidon est plus ou moins complètement gélatinisé; le riz étuvé, ou précuit, ne "colle" pas à la cuisson; les vitamines hydrosolubles ayant migré vers l'intérieur du grain ne sont plus éliminées au décortilage, d'où amélioration de la qualité nutritive, importante lorsque le régime

autrichiennes, Scandinavie et autres régions montagneuses d'Europe centrale et orientale. Il s'agit en général d'un ensemble de perches horizontales, fixées à leurs extrémités à deux supports verticaux, où l'on suspend les gerbes. Certains peuvent être sommairement couverts (Huber 1944).

Le séchage au soleil est évidemment caractéristique des pays tropicaux et subtropicaux, Chine, Inde, de nombreux pays africains, certains pays méditerranéens. L'intérêt de cette méthode est que si la couche de grains est assez mince, la température atteinte dans les grains peut être suffisante pour détruire les insectes (Bainbrigge Fletcher & Ghosh 1921, Cheo & Chang 1943).

Le séchage sous abri se confond souvent avec le mode de stockage lui-même. Il nous intéresse ici quand il comporte un système spécial d'aération ou de ventilation. Le premier peut se présenter sous deux formes différentes:

- pour le stockage en épis ou en panicules: greniers à parois à claire-voie, le plus souvent surélevés: espigueiros et hórreos du Nord-Ouest ibérique, cribs à maïs;
- pour le stockage en vrac: parois à claire-voie également, mais aussi conduits d'air ménagés dans la masse du grain; de tels systèmes, courants dans les greniers publics de la Chine ancienne (Bray, à paraître), ont aussi été utilisés sporadiquement en Europe (Delonchant 1865, Hoffmann et Mohs 1931).

Quant à la ventilation forcée à l'air ambiant, si elle a pu être considérée un temps comme une méthode de séchage, ce n'est plus le cas à l'heure actuelle. On y reviendra à propos des modes de stockage.

Le séchage au four (four à pain d'Europe occidentale) est un procédé de fortune, qui n'a jamais semble-t-il été utilisé régulièrement. Par contre, le séchage avec circulation naturelle d'air chaud a eu une grande importance dans de nombreuses sociétés. Les procédés utilisés sont les suivants:

- gerbes: gerbes disposées en meule conique avec cheminée centrale autour d'un feu (Russie du Nord); la forme développée de cette technique est un bâtiment spécial, souvent associé à une grange et à une aire de battage, caractéristique des Pays Baltes et de certaines régions de Finlande (riihi en finnois, Riege en allemand local) (Ahvenainen 1963, Vilppula 1955).
- épis ou panicules: séchage sur claie au dessus d'un feu, à l'air libre ou dans la maison: ou encore feu entretenu sous le grenier à pilotis;

- grains en vrac: des fourneaux à sécher les grains ont existé en Europe du Nord-Ouest jusqu'au début de ce siècle (corn-kilns d'Ecosse: Fenton 1976; on en connaît depuis l'époque romaine: Nash 1978); le grain y était soumis à un courant d'air chaud venant directement du foyer.

C'est au XVIIIe siècle qu'on commence à mettre au point des "étuves" à grains en dehors des régions où le séchage était traditionnel. Il s'agit encore d'installations à tirage naturel d'air chaud, la ventilation forcée n'interviendra que très tard, à la fin du XIXe siècle au plus tôt. Mais ce développement va se poursuivre sans discontinuité, en corrélation avec l'industrialisation de la meunerie au XIXe siècle.

Les premières étuves spécialement conçues pour sécher les grains en vue de leur conservation apparaissent en Italie dans les années 1730 (Inthiéry 1770). Le principe était un système de tablettes inclinées et communicantes, en chicane, enfermées dans une pièce recevant l'air chaud d'un poêle. Le grain versé par le haut s'écoulait dans les chicanes jusqu'à ce que celles-ci fussent pleines; l'écoulement s'arrêtait alors, pour ne reprendre que si l'on ouvrait une vanne de vidange. Le séjour du grain dans l'étuve durait huit à dix heures.

Il semble qu'un certain nombre d'étuves de ce genre aient été construites en Italie dès cette époque. Le modèle en fut introduit en France vers 1750 par Maréchal, Directeur des fortifications du Languedoc, et arriva à la connaissance de Duhamel du Monceau au moment où celui-ci, après avoir essayé successivement l'ensilage hermétique, puis la conservation en cases ventilées à l'air ambiant, était parvenu à la conclusion qu'un séchage préalable était nécessaire dans les deux cas. L'idée de Duhamel était de faire circuler le grain à sécher dans des tubes verticaux, mais il reprit et publia le modèle de l'étuve italienne avec le sien (Duhamel du Monceau 1753).

C'est en Suisse, semble-t-il, que ce système d'étuves fut appliqué de façon durable. On en signale l'existence dans les années 1780 à Berne, à Zurich et à Aran (Tessier 1793). A Genève, le séchage du grain à l'étuve fut adopté un temps, mais il entraînait des pertes en poids qui le firent abandonner. Les étuves de Berne, construites vers 1775, existaient encore en 1823, date à laquelle nous en avons une bonne description (Fournier de Faye). L'intérêt pour le séchage dans la seconde moitié du XVIIIe siècle se manifeste encore par la publication, par Béguillet (1775) d'une description détaillée des étuves chinoises.

Une autre méthode de séchage, moins bien documentée, utilisée à cette époque, consistait semble-t-il à sécher les grains dans des tourailles de malterie. On sait que dans la fabrication de la bière, le malt (grains d'orge germés) doit être séché rapidement, de 40-45 % à 1-3 % d'humidité (Petit 1926). Ce séchage se faisait dans une chambre où le grain, disposé en couche mince (20 cm) sur un support perforé, était soumis à un courant d'air chaud à tirage naturel. Le principe est donc différent de celui des étuves à l'italienne. Il semble qu'il ait été assez courant, en Europe du Nord, Pays-Bas et Grande Bretagne surtout, de sécher ainsi les grains très humides; éventuellement, on n'en séchait qu'une partie, pour les mélanger ensuite avec le reste, de façon à réaliser un taux d'humidité moyen sur l'ensemble (Duhamel du Monceau 1753, Maison rustique du XIXe siècle; Rollet 1846).

Dans la première moitié du XIXe siècle, peut-être parce que les recherches sur l'ensilage hermétique retiennent davantage l'attention, on se préoccupe peu, semble-t-il, du séchage des grains en vue de leur conservation. Toutefois, le séchage se développe en connexion avec une nouvelle technique qui apparaît en meunerie à cette époque: le lavage des blés. En 1846, A. Rollet recense au total 16 appareils de séchage proposés ou inventés depuis le début du siècle. La plupart des séchoirs pour conservation restent basés sur le principe de l'étuve à grains, mais la plupart des séchoirs à grains lavés font circuler le grain dans un ou plusieurs tambours tournants. Certains de ces appareils comportent une ventilation artificielle d'air froid, deux ou trois peut-être une ventilation d'air chaud, mais aucun de ces derniers ne reçut d'application pratique: "la production d'air chaud parut alors un embarras et un sujet de dépense..." précise Rollet au sujet de l'un de ces appareils.

Dans les années 1860, une nouvelle étuve à grains est mise au point en Lituanie par les frères Siver (Hoffmann & Mohs 1931). Elle comporte une solution originale: les colonnes à palettes où séjourne et circule le grain par gravité sont au nombre de deux, laissant entre elles une chambre pour l'arrivée de l'air chaud. Celui-ci s'échappe vers l'extérieur à travers le grain, par tirage naturel.

Nous sommes assez peu renseignés par ailleurs sur l'évolution du séchage dans la seconde moitié du XIXe siècle. Ce qui est sûr, c'est que la meunerie connaît alors un développement technique spectaculaire, qui touche aussi bien la mouture (cylindres) que les opérations connexes de manutention, triage, nettoyage, etc. Dans des pays comme la Grande

Bretagne, le lavage des blés devient une pratique courante, et avec lui le séchage. Les séchoirs les plus répandus sont à deux colonnes verticales avec arrivée de l'air chaud par la colonne centrale. Les plus perfectionnés sont en outre munis en tête de radiateurs de préchauffage, qui portent le blé à la température voulue par contact direct avant le début du séchage, dans le but d'éviter les inconvénients d'un séchage trop rapide de l'écorce (Ammann 1925; Lockwood 1950). Mais à côté de ces séchoirs verticaux, une foule de dispositifs différents voient le jour: 24 modèles sont recensés par Hoffmann et Mohs en 1931. On peut les répartir dans les catégories suivantes:

- séchoirs verticaux (17 modèles);
- séchoirs à courroies transporteuses (2 modèles);
- séchoirs à tambour horizontal (11 modèles);
- étuves (2 modèles);
- séchoirs à vide (2 modèles).

La plupart de ces séchoirs fonctionnent en continu, sauf évidemment les étuves et les séchoirs à vide. Nombre d'entre eux sont à air chaud ventilé, mais le tirage naturel et le chauffage direct des grains (par contact) avec ventilation simultanée ou ultérieure d'air froid conservent une importance non négligeable. L'importance des séchoirs à tambour à cette époque est d'autant plus remarquable que le principe semble en avoir été abandonné depuis. On a en fait l'impression d'une sorte de foisonnement des recherches, dans lequel aucun principe ne réussit à s'imposer clairement par rapport aux autres. Un bon exemple de réalisation de cette époque est celui de l'installation de séchage du silo coopératif de Brigue (Suisse), construit pendant la dernière guerre. Le grain reçu, grain d'importation souvent très humide (jusqu'à 50 % affirme l'auteur, mais peut-être parle-t-il en pourcentage de la matière sèche), est d'abord ramené à 17-20 % d'humidité dans un premier séchoir statique fonctionnant en couche horizontale peu épaisse. Il passe ensuite après un temps de repos dans un second séchoir ("Feintrockner") fonctionnant sous vide partiel, où la température d'ébullition de l'eau est de 38-50° C. Après réfrigération à l'air ambiant, le grain qui en sort se trouve à 13,5 % d'humidité. Les débits respectifs des deux séchoirs étaient de 4 et 5 t/h de grain humide (Ferrier 1951).

Tous ces développements semblent n'avoir pratiquement pas touché la France, où l'humidité des grains atteignait trop rarement des niveaux nécessitant un séchage artificiel, avant l'entrée en scène du maïs récolté

humide et en vrac dans les années 1960-1970. Mais pour résoudre ce nouveau problème, il fallait disposer de débits (puissances) de séchage plusieurs fois supérieures à ceux des séchoirs existants, conçus pour les céréales à paille. D'où sans doute l'abandon de certaines techniques - séchoirs à tambours par exemple, séchoirs sous vide, etc. Le fonctionnement des séchoirs actuels repose sur les principes suivants:

- circulation des grains: verticale (par gravité), horizontale ou nulle (séchoirs statiques, en couche mince ou épaisse, et dans ce cas avec en général brassage du grain sur place),
- circulation de l'air chaud: parallèlement à celle des grains (dans le même sens: séchoirs à co-courants ou méthodiques, ou en sens inverse: séchoirs à contre-courants ou antiméthodiques), ou perpendiculairement à la circulation des grains (séchoirs à courants croisés).

Des perfectionnement intervenant en seconde ligne sont la recirculation des grains et le recyclage de l'air. Si on tient compte de l'ensemble de ces critères, on aboutit au tableau suivant (tableau 3):

Tableau 3. Les séchoirs à grain actuels			
Circulation de l'air Circulation des grains	Co-courants	Contre - courants	Courants croisés
verticale	exp.	+	. ordinaires . à recircul. du grain . à recyclage de l'air
horizontale	?	?	+
nulle (statique)	...	...	en cellule

Tous ces modèles de séchoirs sont décrits dans Baudouin 1974, Mühlbauer 1974, et Lasseran 1977. Il semble que le système le plus couramment utilisé à l'heure actuelle soit le séchoir vertical à courants croisés, qui est aussi le plus simple. C'est le type de séchoir dominant dans les centres de stockage importants. Il existe aussi des séchoirs de ce type de petite capacité, à recirculation du grain, conçus pour une utilisation au champ (séchoirs mobiles). Les séchoirs statiques en cellule semblent adaptés plutôt à une utilisation à la ferme. Les séchoirs horizontaux, enfin, semblent assez peu répandus.

Les recherches actuelles visent à économiser l'énergie. C'est pour cette raison qu'on cherche à mettre au point des systèmes de recyclage de l'air. Dans les séchoirs les plus utilisés en effet, qui sont à courants croisés, l'air chaud envoyé au bas de la colonne passe sur du grain déjà partiellement séché et réchauffé: il se refroidit et se charge de vapeur dans de moindres proportions que l'air envoyé en haut de colonne, il est autrement dit incomplètement utilisé. D'où l'idée de le refaire passer sur le grain froid et humide qui arrive à l'entrée du séchoir, soit tel quel (séchoirs à double passage), soit en mélange avec l'air neuf qui arrive du générateur d'air chaud. On se rapproche ainsi du système dit à contre-courants, où l'air circule parallèlement au grain mais en sens inverse.

Une des limitations inhérentes à ces deux méthodes (courants croisés avec recyclage, contre-courants) est que l'air chaud arrivant d'abord sur du grain déjà chaud, sa température doit rester assez basse pour ne pas risquer d'endommager le grain: 100 à 120° C pratiquement. Si on veut pouvoir utiliser de l'air à température plus élevée, il faut nécessairement l'envoyer sur le grain le plus froid d'abord, pour ne le mettre qu'ensuite en contact avec du grain plus chaud: c'est le principe des séchoirs à co-courants, qui en sont semble-t-il encore au stade expérimental en ce qui concerne les grains (Mühlbauer 1974).

Les modes de stockage destinés à conserver les produits dans un état aussi proche que possible de leur état initial.

Tous les modes de stockage quels qu'ils soient comportent un minimum de changements dans les produits stockés, lorsque ceux-ci, comme les grains, sont vivants. Dans certains cas, des changements importants en cours de stockage sont tolérés, voire même recherchés (voir § suivant). Mais dans d'autres cas, on vise à un maintien aussi complet que possible des caractéristiques initiales. C'est le cas des grains utilisés pour leur capacité germinative, semences, orges de brasserie, pour lesquels les exigences de maintien au stockage sont les plus rigoureuses. Viennent ensuite les céréales panifiables. Dans les autres cas, les exigences de conservation sont en général notablement inférieures.

Deux aspects essentiels sont le volume et la durée. Bien qu'il soit difficile de préciser les seuils quantitatifs qui interviennent, il est évident que seuls des volumes importants et des durées relativement longues impliquent la mise en oeuvre de techniques particulières. Le seuil le

plus important est peut-être celui qui délimite le stockage paysan, ou familial, dans les sociétés pré-industrielles: on peut le situer aux environs de 10 à 30 q. En deçà de ce volume, les techniques semblent bien maîtrisées et les pertes peu importantes, notamment aujourd'hui dans les pays sous-développés. C'est lorsque ce seuil est franchi que des pertes souvent très considérables apparaissent (ARUP 1978).

Une classification générale des techniques de stockage a été proposée par Bromberger (1979). Nous ne considérerons ici que celles qui nous ont paru les plus importantes sur le plan économique.

Stockage en gerbes: en granges ou en plein air (gerbiers). C'est la méthode classique dans toute l'Europe du Nord et du Centre, où le battage est différé par rapport à la moisson, et cela au moins depuis le XIIe siècle. Le stockage en gerbiers n'existe que dans une partie de cette aire: Angleterre, Bassin parisien (Beauce, Brie, Soissonnais, etc., mais sans atteindre le Nord ni la Lorraine semble-t-il). Le stockage en gerbes se maintient dans toutes ces régions jusqu'à l'apparition de la moissonneuse-batteuse, dans les années 1950, en association avec le battage à la machine en trois ou quatre fois. En gerbes, le grain achève sa maturation et perd une petite partie de son humidité initiale. S'il est attaqué par les rongeurs, il ne l'est guère par les insectes. La méthode est certainement une des plus sûres et une des plus économiques dans le cas des régions tempérées: c'est évidemment pour cette raison qu'elle s'est si bien maintenue au premier stade de la mécanisation (machines attelées et à vapeur).

Stockage en épis ou en panicules. Il est possible que cette méthode ait historiquement précédé celle du stockage en gerbes dans le centre et le Nord de l'Europe, car elle s'applique elle aussi à des grains récoltés assez humides, tout en exigeant des volumes bâtis bien moins considérables. A l'époque moderne toutefois, depuis le XVIe ou le XVIIe siècle, on ne la trouve en usage que pour des céréales à récolte tardive: l'épeautre dans les Asturies, les millets, et surtout le maïs. Jusque vers 1970, les difficultés de conservation du maïs-grain en vrac étaient telles que la seule méthode de stockage, donc de récolte possible, était en épis. L'introduction du maïs en Europe a entraîné un peu partout l'apparition de greniers surélevés étroits, à parois ajourées, pour le stockage des épis (Hongrie, Roumanie, Ukraine...). Les espigueiros du Portugal et les hórreos de la Galice appartiennent à ce type, bien qu'ils soient antérieurs à l'arrivée du maïs. En France, les cribs se développent après la deuxième guerre mondiale, avec les variétés hybrides à gros rendements

(Dias et al. 1963, Gomez Tabanera 1973).

Stockage du grain en vrac, avec ses balles. Cette méthode, mentionnée par Tessier (1793), Saint-Félix-Mauremont (1820) et Heuzé (1873), a sans doute disparu trop tôt pour laisser des souvenirs précis à l'heure actuelle. Ses avantages seraient que le grain ainsi stocké est relativement à l'abri des rongeurs et de l'échauffement. Il serait inutile de le pelleter comme le grain en vrac (J.F. Lacomblez, comm. pers.). Par contre, le danger des insectes subsisterait (Tessier). La méthode était assez importante dans le Sud-Ouest pour qu'il y existe des bâtiments spécialisés pour le stockage du grain avec ses balles, appelés garde-piles ou serre-piles. Sous des formes évidemment assez différentes, elle est encore vivante dans certaines régions d'Afrique Noire (Garine, à paraître). Un cas particulier intéressant est celui des meules de grains et balles soutenues par une paroi en cordes de paille, qui ont existé en Irlande et en Ecosse jusqu'au siècle dernier (corn bykes) (Fenton 1976). On dit que le grain pouvait s'y conserver deux ans.

Stockage du grain en vrac, sans ses balles. Par rapport aux produits précédents, le grain en vrac est de loin le plus difficile à conserver. Mais comme c'est aussi le moins coûteux à transporter, et le plus commode à échanger, c'est le grain en vrac qui constitue de plus en plus l'essentiel des volumes stockés en longue durée. Se généralise ainsi, avec le développement du machinisme, un mode de stockage autrefois limité aux régions à été secs (pays méditerranéens, pays semi-arides) ou aux cultures primitives.

Etant donnée la sensibilité du grain en vrac à toutes les causes de détérioration, il n'est pas étonnant que ce soit dans ce cas que les procédés de conservation sont les plus nombreux et les plus variés. Quatre critères sont essentiels pour permettre de les distinguer: la durée du stockage, le volume unitaire, la conduite du stockage proprement dite (c'est-à-dire les méthodes de contrôle du milieu ambiant des grains), et l'existence et la disposition des bâtiments.

Le critère de durée est fonction de la vitesse de détérioration des grains stockés, et dépend par conséquent des conditions climatiques à la récolte et après celle-ci. Nous ne prendrons en compte, bien entendu, que des durées assez longues pour obliger à des mesures concrètes de conservation: quatre à six mois au moins dans un climat comme celui de l'Europe occidentale pour des céréales pas trop humides au départ.

Le critère du volume unitaire intervient en second lieu. Pour de

petites quantités, quelques dizaines à quelques centaines de kilogrammes, la surveillance est plus facile et certains risques de détérioration, par échauffement par exemple, sont moins grands. Aussi est-il moins nécessaire dans ce cas de faire appel à des techniques élaborées. Pratiquement, sous des climats pas trop chauds ni trop humides, les procédés de stockage du grain en petites quantités ne dépendent que des contenants employés. Ceux-ci peuvent être en bois (cases, troncs évidés), en vannerie (cases en matériaux tressés, paniers, sacs de paille), en cuir ou en tissu (sacs), en terre crue, en terre cuite (jarres), etc. Tous ces contenants peuvent être fixes ou mobiles, mais les uns comme les autres doivent évidemment se trouver sous abri. On n'y insistera pas davantage. Sous les climats humides et chauds par contre, la conservation du grain en vrac même en petite quantité pose des problèmes. Le baril de pétrole en métal de 200 l est une solution courante, elle a l'avantage de permettre un stockage en atmosphère quasi-confinée, ce qui protège le grain des insectes et d'une possible réhumidification en cours de stockage.

Le stockage en petites quantités intéresse évidemment les économies d'auto-subsistance, mais aussi le stockage des semences dans les économies modernes. De plus, le stockage en sacs a eu, et a encore dans les pays peu équipés en moyens de manutention, une importance fondamentale. On y reviendra.

C'est pour de grandes quantités que des solutions techniques spécifiques deviennent vraiment nécessaires. Ces solutions peuvent se définir en fonction:

- de la façon dont on cherche à contrôler le milieu ambiant de la masse de grains; la plupart des méthodes de contrôle agissent sur l'atmosphère intergranulaire, et c'est en dernière analyse le mode d'action sur cette atmosphère qui est le facteur le plus pertinent pour nous; il existe d'autres méthodes, comportant l'emploi de poudres mélangées aux grains, mais on n'en attend en général que des effets ponctuels, et elle interviennent par conséquent fort peu sur la définition du mode de stockage proprement dit; on y reviendra plus loin (cf. p. 2);
- de l'existence ou non de bâtiments permanents spécialement agencés en vue de leur fonction de stockage, car cet agencement est étroitement lié aux méthodes utilisables pour le contrôle de l'atmosphère intergranulaire; il l'est autant d'ailleurs aux méthodes de manutention.

Il existe quatre degrés dans la réalisation pratique d'un contrôle de l'atmosphère ambiante des grains stockés:

- le confinement: on s'efforce de réaliser une enceinte imperméable aux gaz, rendant impossible tout échange entre l'atmosphère intergranulaire et l'air extérieur;
- le renouvellement: on s'efforce au contraire de réaliser un équilibre aussi poussé que possible entre l'atmosphère intergranulaire et l'air extérieur, lorsque les caractéristiques physiques de ce dernier sont jugées favorables: pratiquement, cet équilibre peut être recherché, soit en déplaçant l'air (aération, ventilation), soit en déplaçant les grains (pelletages, transilage d'une cellule à une autre);
- le non-contrôle: les grains sont laissés à eux-mêmes, on ne cherche ni à freiner ni à favoriser les échanges gazeux entre leur atmosphère et l'air ambiant.

Toutes ces méthodes existent ou ont existé dans la réalité. Quant aux bâtiments de stockage et à leur agencement, on peut retenir les distinctions suivantes:

- pas de bâtiments proprement dits: stockage des grains dans des fosses souterraines, ou dans des enveloppes temporaires qui ne sont pas destinées à rester en place plus longtemps que la durée du stockage;
- stockage horizontal: grains stockés sous une épaisseur inférieure à la plus grande dimension horizontale de la capacité qui les contient, en pratique 6 à 8 m, souvent beaucoup moins;
- stockage vertical: hauteur des grains supérieure à la plus grande dimension horizontale de la cellule, en pratique plus de 7 à 10 m, et souvent beaucoup plus (silos-tours, silos-cathédrales).

Sur ces bases, on peut rassembler les diverses techniques possibles de stockage du grain en vrac et en grandes quantités dans le tableau suivant (tableau 4):

Tableau 4 . Les méthodes de conservation du grain en vrac

Existence et agencement des bâtiments Méthodes de contrôle du milieu ambiant	Pas de bâtiments proprement dits	Stockage dans des bâtiments exprès		
		Stockage horizontal		Stockage vertical
		Faible épaisseur moins de 1 m	Epaisseur moyenne 2 à 6-8 m	Hauteur du grain supér. à 7-10 m
Atmosphère confinée ou contrôlée: capacité imperméable aux gaz	1. Silos souterrains traditionn. 4. Silos souples	...	2. Silos semi-enterrés (types Argentine, Chypre)	3. Silos-tours hermétiques en métal
Atmosphère non renouvelée, mais non réellement confinée: capacité non imperméable aux gaz	5. En tas à l'air libre 7. Meules à parois de paille	6. En tas sous abri	8. Cases, magasins 9. Silos-tunnels	...
Atmosphère renouvelée par déplacement des grains	...	10. En couche sur plancher avec pelletages 11. Greniers à ruissellement	12. Cases-trémies superposées	13. Silos-tours avec transilage
Atmosphère renouvelée par déplacement de l'air, aération naturelle ou ventilation forcée	...	...	14. Magasins avec conduits d'aérat. 15. Cellules sous abri à parois perméables, pour aérat. ou ventilat. 16. Cases ventilées	... 17. Cellules ventilées

Les silos souterrains (1) sont une des techniques de stockage les plus répandues dans les économies paysannes pré-industrielles d'un grand nombre de régions du monde. On les trouve du Maroc et de l'Espagne à la Chine du Nord en passant par l'Anatolie, les Turkestans, etc., mais aussi dans une grande partie de l'Inde, à Madagascar, en Afrique du Sud et de l'Est, en Amérique du Nord. Ils présentent une très grande diversité de formes et de modalités d'aménagement. Outre les silos paysans, d'une capacité unitaire assez limitée, correspondant aux besoins et à la production de l'unité familiale, il a aussi existé des silos urbains ou marchands, d'une capacité très supérieure, et aménagés d'une façon plus durable souvent (parois en maçonnerie...). Nous ne reviendrons pas ici sur tous ces aspects, qui ont été traités ailleurs (Sigaut 1978, 1979), si ce n'est pour rappeler les points suivants:

- il est hors de doute que les silos traditionnels fonctionnent en atmosphère confinée, et que leurs utilisateurs en ont parfaitement conscience;
- la nature du sol joue un rôle important dans la réalisation pratique de cette atmosphère confinée;
- on y conserve toujours du grain en vrac, battu et vanné; nous ne connaissons à cette règle que deux exceptions, intéressant respectivement la Mauritanie (Machat, in ARUP 1978) et la Somalie (Watt 1969), où un stockage d'épis en silos est signalé.

On a cherché à améliorer le fonctionnement des silos souterrains par diverses méthodes: bâche en plastique (Donahaye et al. 1967), chemisage intérieur en ciment, etc. (Boxall 1974).

Les silos semi-enterrés (2) sont plus récents: ils apparaissent en Argentine dans les années 1940. Contrairement aux silos souterrains traditionnels, qui ne débouchent à la surface que par un orifice étroit (trou d'homme), il s'agit de grandes excavations largement ouvertes. Les parois sont stabilisées par un revêtement cimenté doublé d'un enduit imperméable. En surface, l'étanchéité a d'abord été réalisée au moyen d'une couverture souple reposant sur les grains (papier bitumé ou plastique recouvert de paille et de terre...). On est ensuite passé à une toiture permanente, rigide, mais dont la forme restait fonction du talus naturel des grains.

Les premiers silos semi-enterrés d'Argentine avaient une section de fosse trapézoïdale. Pour faciliter les manutentions, on est passé à une section semi-cylindrique, la longueur étant variable. Au contraire,

les modèles mis au point dans les années 1955 à Chypre étaient à fosse conique, ce qui ne permet d'accroître la capacité unitaire qu'en augmentant la profondeur. Des silos de ce type ont été construits au Kenya dans les années 1966-1970. (Hyde et al. 1973).

Les premiers silos hermétiques en métal (3) ont été construits en France en 1853 par Doyère. Ils étaient encore souterrains. D'autres ont été construits à Paris dans les années 1870: il s'agissait de cellules à section carrée, à fond pyramidal, d'une hauteur ne dépassant pas 8 m, mais disposées au dessus du sol. Mais c'est dans les années 1950, toujours en France, que des silos hermétiques en métal ont été construits en nombre appréciable; leur vogue n'a toutefois duré qu'une dizaine d'années. Nous y reviendrons.

Quant aux silos souples (4), ils ont été utilisés pour le stockage du maïs-grain récolté humide en attente de séchage au début des années 1970 (Combe 1972; Renaud 1974). Dans ce procédé, le grain est simplement enveloppé dans deux bâches plastiques, dont l'une repose sur le sol et l'autre sert de couverture (ces bâches sont réunies par un joint hermétique). On fait alors le vide, dans le but surtout de vérifier l'étanchéité de l'ensemble. Les grains sont ainsi mis en attente pendant deux à trois mois pour étaler la pointe dans les livraisons devant passer au séchoir.

Le stockage en atmosphère non confinée ni renouvelée (5 à 9) est souvent un procédé accessoire et temporaire. Il existe toutefois des cas où il prend davantage d'importance:

- stockage en tas, une certaine protection étant assurée par une couche extérieure de grains germés; ce procédé est attesté au XVIIIe siècle en Egypte et en Europe centrale (Sigaut 1979);
- stockage en case, en grenier à compartiments, en magasin, etc. (8); ce mode est usuel en particulier pour les réserves domestiques dans toute l'Europe du Sud et de l'Est;
- stockage à plat de très grandes quantités de grain sain devant séjourner longtemps au même point dans les conditions les moins coûteuses possibles (silos-tunnels et magasins en longueur, 9); ce mode de stockage simplifié au maximum est normalement associé à d'autres installations dans les grands silos de report de très grande capacité;
- meules à parois de paille (7).

Ce dernier procédé pose un problème. Il est attesté en Pologne (Ukrai-

ne? Lasteyrie 1819) et aux Canaries (Tessier 1793), où les parois sont faites d'une épaisse couche de paille tassée. Il est surtout important en Inde (Bengale: Bainbrigge Fletcher et Ghosh 1921) et en Chine, pays où il est encore utilisé aujourd'hui à grande échelle (Wagner 1926, China's Foreign Trade 1976, 2). Les parois y sont soutenues par une corde de paille enroulée en hélice autour du tas de grain (Inde) ou par une bande de paille tressée de 25-30 cm de large (Chine). Cette méthode est évidemment identique à celle des corn-bykes d'Ecosse (p. 24), la différence étant qu'il s'agit de paddy stocké non décortiqué, mais non mélangé avec ses balles. Le problème est évidemment de savoir comment un tel procédé peut fonctionner de façon satisfaisante dans des conditions climatiques difficiles, comme celles qui règnent dans les pays de mousson. Nous n'avons pas d'éléments de réponse.

Le stockage en atmosphère renouvelée (10 à 17) est aujourd'hui pratiquement le seul mode de stockage couramment employé dans les pays tempérés. Seuls les procédés comportant le pelletage (10) ou un système d'aération naturelle (14) sont relativement anciens, encore n'étaient-ils guère connus, semble-t-il, en dehors des sociétés les plus urbanisées d'Europe occidentale et de Chine. Tous les autres procédés (11-13, 15-17) sont des développements récents, remontant à moins de deux siècles: nous y reviendrons plus en détail au chapitre suivant.

Les modes de stockage comportant une modification du produit.

Les grains subissent toujours, on l'a dit, un minimum de modifications lors du stockage. Les deux modifications minimales, observées même dans les modes de stockage précédents, sont:

- une amélioration de la qualité boulangère des céréales panifiables: ce phénomène, classique en boulangerie (Nuret 1935; Pomeranz 1974), est aussi constaté dans le stockage de la farine; ses causes sont complexes et imparfaitement comprises semble-t-il;
- une levée de dormance de certaines semences, par exemple le riz au Nigeria (Anthonio 1973).

Ces aspects ne sont pas sans importance. La nécessité d'attendre quelque temps pour utiliser le grain nouveau de l'année oblige par exemple à prolonger d'autant la durée de stockage d'une partie des blés de l'année précédente.

Mais les modes de stockage présentés ci-dessous sont ceux qui comportent

des effets beaucoup plus marqués que les précédents. Ces effets sont en général le résultat de fermentations spécifiques favorisées par l'ambiance du stockage aux dépens d'autres phénomènes tels que moisissure, pourriture et autres fermentations indésirables.

Ces fermentations surviennent dans des conditions d'anaérobiose au moins partielle, silos souterrains, grains humides en tas recouverts de paille et de terre, etc. On les signale en Inde pour le riz, où elles sont recherchées, et en Afrique du Nord pour le blé, où elles sont seulement tolérées et appréciées. Leurs effets ne sont pas sans présenter une certaine ressemblance avec ceux de l'étuvage. Nous avons analysé plus en détail ces phénomènes dans des travaux antérieurs, auxquels nous renvoyons le lecteur (Sigaut 1978, 1979). Malheureusement, ces fermentations en silo n'ont pas fait l'objet de recherches spécifiques en Afrique du Nord. C'est en Inde qu'il faut s'attendre à trouver le plus d'informations à leur sujet, mais nous n'avons pas dépouillé systématiquement l'abondante littérature scientifique produite dans ce pays.

Il s'agit dans ces deux cas d'alimentation humaine. En Europe, l'ensilage anaérobie de grains humides a connu un développement certain depuis le milieu des années 1960, mais pour l'alimentation du bétail. Il se pratique sous deux formes:

- ensilage de grains entiers, stabilisé à l'acide propionique; sa réalisation pratique se fait, soit en silos souples (butyl), soit en silos-tours en tôle d'acier émaillé (l'acide propionique est corrosif);
- ensilage de grains de maïs broyés, en général en silos-couloirs (comme l'ensilage fourrager ordinaire); dans ce cas l'acide propionique n'est pas nécessairement employé, sauf le cas échéant pour protéger les couches périphériques et la tranche.

Les techniques de préservation associées au stockage.

Nous reprenons ici la distinction, due à Luca (à paraître), entre conservation et préservation. Les techniques de conservation sont globales, elles visent à un contrôle plus ou moins poussé du milieu ambiant des grains stockés. Les techniques de préservation sont spécifiques, elles sont destinées à protéger les grains, stockés ou non, contre des ennemis ou des causes de pertes spécifiques: rongeurs, oiseaux, insectes et acariens, etc., mais aussi bien entendu le vol. De nombreuses techniques de préservation consistent en l'adjonction aux grains stockés de poudres ou ingrédients divers, qui ne modifient pas sensiblement les techniques

de conservation proprement dites.

Nous n'insisterons pas sur les moyens de lutte contre les rongeurs et les oiseaux, car leur application aux stocks de grains n'y change pas grand'chose. Le seul procédé propre au stockage est probablement celui des gardes à rats, disques horizontaux ou cônes renversés destinés à empêcher les rongeurs de grimper le long des pilotis des greniers surélevés. Les gardes à rats sont ignorés de certaines populations, toutefois, et on a cherché à les y introduire (Appropriate technology..., 1977).

Contre les moisissures, il existe une foule de produits fongicides, dont l'acide propionique, mentionné plus haut, n'est qu'un exemple. Une centaine d'entre eux ont été essayés, sans grand succès. La raison principale de cet échec est que la plupart de ces produits nécessitent, pour agir, la présence d'eau libre, condition qui n'est normalement pas remplie dans les stocks de grain, même quand leur humidité est assez élevée (30 % et plus) (Christensen & Kaufmann 1974).

Contre insectes et acariens, toutes sortes de procédés ont été au moins essayés depuis le milieu du siècle dernier: chaleur, froid, chocs mécaniques, gaz asphyxiants, insecticides divers, etc. Nous avons présenté certains de ces procédés antérieurement, nous n'y reviendrons pas ici (Sigaut 1978). Nous rappellerons seulement deux points importants:

- le non-développement des méthodes de lutte biologique, pourtant séduisantes (couche de sable dont les insectes peuvent sortir, mais où ils ne peuvent pas rentrer: plusieurs références ajoutées à celles que nous avons signalées par Luca (à paraître); attirance des charançons pour l'eau, etc.);
- à côté des insecticides, chers, d'un maniement difficile, et parfois dangereux (résidus, mais aussi sélection de souches d'insectes résistants), l'existence d'un grand nombre d'"ingrédients" employés dans les sociétés traditionnelles, et dont certains semblent prometteurs; ces ingrédients viennent de faire l'objet d'un travail important par Luca (à paraître) auquel nous renvoyons le lecteur.

Reste enfin à parler de substances utilisées dans un but moins spécifique que la lutte contre les ravageurs des stocks, mais que nous rangeons malgré tout dans les techniques de préservation parce qu'il s'agit toujours de produits ajoutés aux grains d'une façon ou une autre. La plus importante d'entre elles est la poudre dite "Tutela", proposée à la fin des années 1920 en France, et qui fut vendue commercialement dans les

années 1930. Il s'agissait d'une poudre alcaline, dont la composition était tenue secrète pour des raisons commerciales, mais probablement à base de chaux et d'autres sels alcalins. L'idée, due à Legendre, était d'amener le pH du milieu intergranulaire au voisinage de 8, ce qui devait inhiber ou retarder la croissance des microorganismes. Cette idée remontait aux travaux de Pasteur sur les fermentations, et à ceux du Danois Sörensen sur la notion de pH en relation avec les réactions enzymatiques (Sörensen 1909; Legendre 1927, 1929, 1935; Foex 1937). Il est curieux qu'elle n'ait jamais fait l'objet d'études scientifiques véritables en dehors de celles de Legendre lui-même, peut-être précisément en raison du secret relatif dont celui-ci s'était entouré. Mais indépendamment de tout jugement sur le procédé "Tutela" lui-même, la question du pH en relation avec les différents états physiques des grains stockés, surtout humides, ne semble pas a priori inintéressante. Nous ne connaissons pourtant aucune étude spécifique sur ce sujet.

Un nouveau procédé de stabilisation des grains humides serait en cours d'étude aux Etats-Unis, basé sur l'emploi de l'ammoniac (Lasseran 1978). On peut se demander s'il n'y a pas un rapport avec le procédé de Legendre.

LES TECHNIQUES: DEVELOPPEMENTS DEPUIS LE XVIIIe SIECLE

La localisation des techniques dans l'espace est nécessaire pour les identifier, et pour pouvoir poser le problème de leurs rapports avec le milieu physique. Leur localisation dans le temps l'est tout autant. Elle est en particulier indispensable pour poser le problème de leurs rapports avec les autres techniques, et avec le reste de l'environnement économique et social. Dans ce chapitre, il sera surtout question de ce qui s'est passé en Europe depuis le début du XVIIIe siècle, puis en Amérique du Nord, et du Sud, avec la mondialisation des échanges de céréales survenue depuis la fin du siècle dernier.

Périodisation.

Sur la base des principaux changements techniques et économiques intéressant le stockage des grains, six dates de transition nous semblent devoir être retenues: 1708, 1818, 1880, 1930 et 1975. Sauf les deux premières, ces dates n'ont rien de spécifique, elles sont loin de concerner seulement le stockage. A quelques années près, elles sont valables pour l'ensemble des pays industrialisés, sauf peut-être l'Amérique du Nord, qui depuis le milieu du XIXe siècle jusqu'à ces dernières années, a eu une avance constante de dix à vingt ans sur l'Europe en matière d'innovations techniques agricoles.

Les événements caractéristiques de ces six dates sont les suivants:

- 1708: publication du premier travail à caractère véritablement scientifique sur la conservation des grains en France;
- 1818: début de la première série importante d'expérimentations contrôlées concernant une méthode de conservation (l'ensilage souterrain hermétique);
- 1880: arrivée massive des céréales d'outre-mer sur les marchés européens, qui déclenche des baisses spectaculaires de prix; à la crainte multiséculaire de la pénurie fait place le problème des excédents et de

la mévente; l'intérêt pour les questions relatives au stockage, qui était surtout jusqu'alors le fait des consommateurs, s'estompe;

- 1930: la crise de mévente atteint une telle gravité (en relation avec la crise mondiale) que les producteurs prennent conscience de la nécessité d'une organisation de la commercialisation et du stockage: c'est en 1936 la fondation de l'Office National du Blé (ONIB), devenu depuis Office National Interprofessionnel des Céréales (ONIC);

- 1950: début de l'équipement de l'agriculture française en moissonneuses batteuses, ce qui va bouleverser les conditions de la collecte et du stockage des céréales; la période 1950-1975 est toute entière une période de changement considérable:

- . la production céréalière, qui depuis le début du siècle oscillait autour de 15 millions de tonnes, atteint 40 millions de tonnes en 1972;

- . la capacité de stockage, très faible initialement (moins de 500 000 t en 1936) s'accroît de façon spectaculaire: 5 000 000 t en 1960, 20 000 000 t en 1976;

- . la France, qui était plutôt importatrice, devient régulièrement exportatrice de céréales:

- . à partir des années 1970, la récolte du maïs à la moissonneuse-batteuse se généralise à son tour, ce qui impose l'équipement des centres de collecte en séchoirs;

- 1975: il est difficile de savoir si cette date s'avérera aussi importante que les précédentes; les deux faits qui le donnent à penser sont les suivants:

- . en France, les capacités de stockage, qui s'accroissaient au rythme très rapide de 8,73 % par an depuis 1960 (doublement tous les 8-9 ans), ne s'accroissent plus qu'au rythme de 1,05 % par an (calculé sur la période 1976-1978; doublement en 65 ans);

- . les achats massifs de céréales par l'Union Soviétique en 1972-1973 provoquent, pour la première fois depuis la seconde guerre mondiale, une réduction des stocks mondiaux et des tensions sur les prix qui font resurgir de vieux réflexes: la question des réserves de grains revient à l'ordre du jour, mais au niveau international cette fois. (Trezise 1976).

Il est encore trop tôt pour savoir si ces deux faits sont accidentels, ou s'ils témoignent au contraire d'un changement durable de tendance. Les perspectives démographiques actuelles, rapprochées de la saturation

de plus en plus manifeste du système technique actuel, appuient la seconde hypothèse. (Pour le concept de système technique et celui de sa saturation, cf. Gille 1978; pour une analyse d'ensemble des conséquences économiques d'un ralentissement du taux de l'innovation technique, cf. Mensch 1977.)

Nous avons étudié en détail la question de l'ensilage hermétique au cours de la période 1708-1880 (Sigaut 1979). Nous ne ferons qu'en rappeler les grandes lignes.

Avant 1708. Le stockage pré-industriel.

Les modes pré-industriels de conservation des grains sont restés pratiqués en France jusqu'à la fin du XIXe siècle, et ils le sont aujourd'hui encore dans nombre de pays du Tiers-Monde. Ce qui caractérise la période antérieure à 1708, toutefois, c'est que l'intelligentsia scientifique n'intervient à aucun titre, ni pour étudier les techniques existantes, ni pour les perfectionner. A l'exception peut-être de l'Italie, mais dans une mesure très limitée (Castelli 1669).

Ce n'est pas dire que la situation est purement statique. Sans remonter trop loin dans le temps, il est vraisemblable que l'expansion du commerce des blés à destination de l'Europe occidentale, qui commence avec le XVIe siècle, conduit à quelques innovations. Le long de l'axe Sud de ce commerce, en Méditerranée, on ne fait bien souvent que construire des fosses souterraines plus grandes et plus durables (celles de La Valette à Malte datent de 1660). Mais le long de l'axe Nord, Baltique-Mer du Nord (de même d'ailleurs que dans des villes comme Venise ou Gênes), apparaissent les greniers à étages: ils constituent probablement une innovation, puisqu'on n'en trouve semble-t-il ni avant le Moyen Age, ni en dehors d'Europe. Rappelons par ailleurs l'importance du séchage dans ces régions du Nord, séchage en gerbes dans les pays baltes orientaux exportateurs, séchage en touraille dans les ports hollandais et anglais.

C'est sans doute au XVIe ou au XVIIe siècle, dans le cadre du stockage à très long terme en place forte, qu'est mis au point le procédé de conservation des grains sous une couche de chaux, décrit par Reneaume (1708); on le retrouve au début du XIXe siècle en Silésie (Boullenois de Semes 1821) et en Suisse (Sainte-Fare Bontemps 1824).

1708-1818. Premières recherches.

Il n'y aura pas de bouleversements spectaculaires dans la pratique du stockage des grains avant les années 1860. Mais le XVIII^e siècle est important à deux points de vue. S'y développent les premières recherches sur la conservation des céréales d'une part, et d'autre part la question du stockage prend une importance considérable dans la pensée économique.

Les recherches proprement dites se développent dans quatre directions:

- lutte contre les insectes, en particulier l'alucite ou fausse-teigne (Sitotroga cerealella Oliv.), qui apparaît en France à cette époque pour la première fois, semble-t-il (Réaumur; Duhamel du Monceau & Tillet);
- séchage du grain à l'étuve (Galiani; Duhamel du Monceau; Cailleau; etc., cf. ci-dessus pp. 17-19); le passage à l'étuve est du reste aussi un moyen de lutte contre les insectes;
- ventilation froide (Duhamel du Monceau);
- ensilage hermétique (Duhamel du Monceau; Malassise).

Parallèlement à ces recherches, les voyageurs commencent à rapporter des descriptions précises des fosses à grains observées dans certains pays étrangers; nous les avons recensées ailleurs (Sigaut 1979). On trouve aussi à cette époque de bonnes descriptions de greniers à étages, par exemple ceux de Lyon et de Strasbourg.

Sur le plan des réalisations concrètes, deux innovations sont à signaler: la construction d'étuves à grains en Italie, en Suisse, et sans doute aussi dans d'autres villes de l'Europe du Nord (voir ci-dessus), et celle de greniers de réserve publics, dits souvent aussi "greniers d'abondance", dans plusieurs régions d'Europe qui les ignoraient auparavant (Lorraine, Autriche, Suède...). La dernière en date de ces réalisations, qui restera d'ailleurs inachevée, est le grenier d'abondance de l'Arsenal à Paris, édifié par Napoléon en 1807-1814, d'une contenance prévue de 50 à 60 000 tonnes (Say 1818).

Cette préoccupation pour les greniers de réserve est le signe d'une tension croissante sur les subsistances, liée sans doute au début du grand accroissement démographique européen. Ce qu'il faut souligner, c'est que les greniers d'abondance se développent au moment précis où la pensée économique libérale les récuse avec le plus de force (Young 1792). La controverse à leur sujet est un aspect important de la question de la police des grains, dont il n'est pas exagéré de dire qu'elle domine la pensée économique naissante dans l'Europe des Lumières. Elle ne commencera à perdre de son urgence qu'à partir des années 1830 et 1840.

1819-1880. Premières expérimentations; premières réalisations de stockage industriel.

Ce n'est qu'à partir du milieu de cette période, en effet, que la hantise de la disette commence à s'éloigner pour de bon, et avec elle la préoccupation pour les réserves de sécurité. De nombreux projets en ce sens continuent à être publiés jusque vers 1870 (le dernier en date est probablement celui de Louvel, en 1872). Il est probable qu'un inventaire exhaustif de ces projets montrerait une périodicité liée à celle des disettes de cette époque, 1816-1817, 1829-1831, 1847-1848. 1854-1856. Il est en tous cas clair que c'est dans ce cadre de disettes récurrentes, inchangé depuis le siècle précédent pour l'essentiel, que se situe la première grande vague d'expériences, de 1819 à 1827. Elle est une suite très directe de la quasi-famine de 1817, à laquelle succède, en 1818, une récolte excédentaire qui fait chuter profondément les cours: sans ce double accident, il n'est pas sûr que ces premières expériences de conservation eussent pu avoir lieu. D'autres séries d'expériences auront lieu en 1853-1862. La dernière série, due à Müntz en 1878-1879, est aussi la première à n'être plus directement motivée par des préoccupations de sécurité. Müntz travaillait en effet sur les stocks de grains fourragers de la Compagnie des Omnibus à Paris, stocks destinés à l'entretien de l'abondante cavalerie de traction des transports urbains d'alors (12 000 chevaux en 1879). Nous avons recensé toutes ces expériences ailleurs (Sigaut 1979), nous n'en donnons pas le détail ici.

Il est remarquable toutefois que toutes ces expériences aient porté sur la méthode de l'ensilage en atmosphère confinée. C'était alors une méthode nouvelle et inhabituelle, que ses partisans considéraient un peu comme une panacée, mais qui avait des détracteurs convaincus. D'où l'importance d'en établir les résultats, par comparaison avec ceux des méthodes accoutumées servant de références. C'est pour cette raison précise que l'ensilage hermétique, et lui seul, donne alors lieu à cet exceptionnel développement expérimental. En fin de compte, l'ensilage hermétique ne sera pas adopté pour les céréales destinées à la consommation humaine, sauf quelques rares exceptions, malgré les succès revendiqués par Doyère. Mais c'est les expériences auxquelles il donne lieu qui permettront d'établir nos premières connaissances précises sur la conservation des grains: humidité limite de 16 % (Doyère), et surtout, taux de respiration des graines d'avoine dans des conditions contrôlées de tem-

pérature, d'humidité et de composition de l'atmosphère (Müntz). Il faudra attendre quarante et cinquante ans pour que des expériences comparables en ampleur et en précision à celles de Müntz soient reprises (Bailey et Gurjar 1918, Kondo et Okamura 1926).

A côté de ce développement scientifique, qui restera pratiquement sans effets pratiques jusque dans les années 1940, la période 1819-1880 connaît, de façon à peu près totalement indépendante, un premier développement important dans les techniques de stockage, à partir de 1850 surtout. Ce développement n'est pas accompagné de recherches sur la qualité de conservation des grains obtenue, car contrairement à l'ensilage hermétique, il porte uniquement sur l'application d'opérations déjà familières telles que l'aération et le pelletage. On peut résumer comme suit les inventions et innovations de la période 1819-1880:

Séchage: parmi les seize appareils recensés par Rollet (1847), on peut retenir le séchoir à tambours rotatifs de Maupéou, utilisé au moins jusque vers 1860 aux entrepôts de La Villette; d'autre part, un modèle de séchoir statique est proposé par Coignet en 1868.

Conservation en atmosphère confinée ou contrôlée:

- silos souterrains à revêtement métallique réalisés par Doyère ou sur ses conseils entre 1853 et 1862: 19 unités, environ 5 500 q au total;
- silos métalliques de la Cie des Omnibus à Paris (cellules carrées, hauteur de stockage 5 à 7 m): 21 000 m³ en 1880; la Cie des Petites Voitures aurait des silos semblables à la même époque;
- silos à atmosphère désoxygénée (air brûlé): Haussmann 1854;
- silos sous vide partiel: Louvel 1861-1872 (ces deux derniers procédés n'ont pas reçu d'applications importantes).

Conservation en atmosphère renouvelée par déplacement des grains:

- cases-trémies superposées: Dartigues 1820;
- "grenier mobile" (tambour rotatif compartimenté): Vallery 1839; comporte aussi une ventilation forcée axiale; pas plus de deux ou trois réalisations en vraie grandeur;
- cellules verticales équipées pour le transilage mécanique, plus éventuellement aération par passage au nettoyeur:
 - . 1er élévateur construit à Buffalo (E.-U.) en 1842, le système se développe très rapidement en Amérique du Nord à partir de 1860;
 - . silos Huart, cellules métalliques carrées hautes de 12 m, construites à la Manutention Militaire de Paris en 1850, environ 35 000 q;

- . grenier Pavy, cellule cylindrique en brique, 1858;
- . la plupart des silos portuaires construits à partir de 1860.

Conservation par aération ou ventilation:

- aération naturelle:

- . cellules à parois perforées ou en grillage: "silos aérifères" (1830), cases grillagées avec cheminée centrale d'Audéoud (1860): stockage à la ferme en petites quantités seulement;
- . aménagement de greniers ordinaires par conduits et cheminées d'aération disposés dans la masse du grain: Delonchant 1865;

- ventilation forcée:

- . système Salaville, par gaines horizontales en tôle perforée ou par faux-fond, 185 ; applications: Estaires-sur-la Lys (1856, 20 000 q), Don (1857, 60 000 q), Dunkerque (1871, 80 000 q) et Prouvy (1872, 100 000 q); toutes ces réalisations se trouvent dans le Nord, sauf une en Belgique;
- . système Devaux, ventilation axiale de cellules verticales à parois perforées, vers 1860: réalisations à Londres, à Trieste, etc.

Toutes ces innovations sont évidemment liées à l'introduction des machines à vapeur pour animer les appareils de manutention, vis d'Archimède, chaînes à godets, treuils. Le principe de l'élévateur lui-même est ancien, puisqu'il avait déjà fait l'objet d'un brevet aux Etats-Unis en 1785 (Schlebecker 1975); il existait d'ailleurs des moulins à eau équipés de treuils hydrauliques pour le montage des sacs en Europe dès le XVIII^e siècle. Mais il est clair que sans la vapeur, ces techniques n'auraient jamais pu sortir des sites de moulins à eau où était localisée l'énergie nécessaire.

Ce qu'il faut observer, en ce qui nous concerne, c'est que dès 1860, toutes les idées qui seront à la base des développements ultérieurs jusqu'à nos jours sont en place. Ces développements vont intervenir sans délai dans des pays de grande production comme les Etats-Unis et le Canada, ou dans des pays en voie d'industrialisation rapide comme l'Allemagne. En France, ils seront retardés d'une bonne cinquantaine d'années.

1880-1930. Le creux de la vague.

Après la relative effervescence de la période précédente, les cinquante années qui vont de 1880 à 1930 sont marquées pour la France par un ralentissement, ou pour mieux dire par un non-démarrage, du mouvement amorcé

auparavant. Les contemporains sont conscients du décalage croissant entre ce non-démarrage et le développement spectaculaire, explosif même, qui se produit alors dans d'autres pays. En 1892 par exemple, un auteur traitant du stockage portuaire voit se dessiner deux groupes de pays bien distincts du point de vue de la modernité de leurs équipements:

- les pays gros exportateurs ou gros importateurs, où il y a peu d'installations anciennes, et où l'entreprise privée et l'industrie sont fortes: Etats-Unis, Russie, Roumanie, Grande-Bretagne, Belgique;
- les pays exportant ou important peu, et ceux où l'initiative privée le cède à celle de l'Etat: Italie, Espagne, France, Allemagne, Autriche, etc.

En fait, ce classement demanderait à être nuancé. Trieste (alors en Autriche), Venise, Gênes, sont ou vont se moderniser rapidement. Les Pays-Bas, pays commerçant et importateur, n'ont en 1892 que des greniers à étages vétustes. Même en Angleterre, des installations dépassées (Waterloo-Dock à Liverpool) subsistent à côté d'installations modernes (Alexandra-Dock, Londres). Quant à l'Allemagne, si elle n'a en effet encore rien de spectaculaire en matière d'installations portuaires, elle connaît à cette époque des développements remarquables, à la fois sur le plan de la recherche scientifique et technique (Hoffmann 1904), et sur celui des réalisations en matière de stockage de collecte et de séchage. Plus que l'exemple américain, trop éloigné sur le plan des conditions économiques, c'est l'exemple allemand qui stimule les auteurs français de cette époque: Souchon (1901), Diffloth (1917), Schribaux (1918), Baraton (1927) et encore Nuret (1935). L'ouvrage fondamental qui résume les acquis de cette période est publié en Allemagne, en 1931-1934. C'est la deuxième édition, largement augmentée et remaniée, d'un livre d'Hoffmann publié pour la première fois en 1911: Das Getreidekorn. Seine Behandlung, Trocknung und Bewertung in der Praxis, nebst Darstellung von Speicherbauten und deren Zubehör (Le grain de céréales. Traitement, séchage et utilisation dans la pratique, avec des exemples de bâtiments de stockage et de leurs accessoires), Berlin, Paul Parey, 2 volumes. Cette seconde édition est devenue un ouvrage collectif, sous la direction scientifique de D.K. Mohs. Il s'agit d'une véritable somme sur le traitement après récolte des céréales. Rien de comparable ne sera publié jusqu'à la parution des recueils édités par Anderson et Alcock en 1954, par Sinha et Muir en 1973 et par Christensen en 1974, et de l'ouvrage de Nash en 1978.

Rien n'illustre mieux peut-être le retard de la France à cette époque que l'histoire du silo portuaire de Dunkerque. En quittant la région à la fin de la guerre en effet, les Britanniques avaient laissé sur place

dans le port quatre élévateurs flottants pneumatiques d'un débit de 1 250 q/h chacun. Rachetés par l'Etat, puis par la Chambre de Commerce de Dunkerque, ces élévateurs ne pouvaient cependant être utilisés qu'à la moitié de leur capacité à peine: les équipements de réception à quai ne permettaient pas de faire davantage. C'est en fonction de ce débit de déchargement disponible que fut décidée la construction d'un silo de 15 000 t, décision exécutée en 1923 (Richard 1924a et 1924b). Quant aux moyens de déchargement employés avant l'arrivée de ces élévateurs, l'auteur nous précise que "autrefois et encore à présent, les grains arrivant par navires sont déchargés au moyen de paniers et de sacs halés par le moyen des treuils et palans du bord. Il est inutile d'insister sur ces moyens rudimentaires, pénibles..."

En d'autres termes, des installations modernes de stockage n'apparaissent en France entre 1880 et 1930 que dans des conditions bien délimitées: quelques principaux ports d'importation (Dunkerque, Marseille), et, par exemple, les silos des Grands Moulins de Corbeil, construits en 1894 après la destruction par incendie des anciens magasins - c'est en Angleterre et en Roumanie que les responsables de cette construction vont étudier pour s'en inspirer les réalisations existantes ("Les moulins de Corbeil" 1895). Mais à la même époque, le magasin des Moulins de Montrouge est un grenier à six étages conçu pour le stockage des sacs. Et, on l'a vu, le transport et l'entreposage en sacs resteront prédominants au niveau de la collecte jusque dans les années 1950.

Sur le plan de la recherche, le bilan de la période est également assez maigre, surtout en France. Après les travaux de Müntz déjà mentionnés, on ne peut guère signaler que ceux de Schribaux (1912), de Legendre (1927) et de Marchal et Vayssière (1925). Leur portée est assez limitée. Les recherches de Dendy et Elkington en Angleterre (1918-1920) portent presque uniquement sur les insectes. Celles de Bailey et Gurjar (1918) prolongent celles de Müntz, mais assez peu de chose sera fait aux Etats-Unis, semble-t-il, avant les années 1930. Les travaux les plus importants de l'époque sont incontestablement ceux de Kondō et Okamura au Japon, de 1926 à 1934, et ceux qui sont rassemblés dans l'ouvrage d'Hoffmann et Mohs. Nous reviendrons sur les résultats les plus importants de ces travaux sur le plan scientifique. Sur le plan technique, leur conclusion la plus importante est qu'il est impossible de conserver du grain nouveau en silo sans séchage préalable dans les conditions ouest-européennes.

Comme les séchoirs à grain sont encore assez rares, sauf dans les moulins les plus importants, c'est le séchage préalable en grenier, en couches ou en sacs, qui reste la seule solution. Aussi les installations de collecte construites à cette époque en Allemagne combinent-elles silos et greniers à étages dans la proportion moitié-moitié ou un tiers-deux tiers de la capacité totale, suivant le climat local. Pour Hoffmann et Mohs, il ne faut jamais mettre en silo un grain de plus de 14-15 % d'humidité, alors que l'humidité à la récolte ne descend pas ordinairement en dessous de 16 % en Allemagne. Pour Baraton, le climat français relativement humide ne permet pas d'introduire le système américain des élévateurs de collecte, "car le blé nouveau est difficile à conserver autrement que sur des aires planes. Une grande partie du blé est conservée dans ses greniers à ses risques et périls par le producteur, dont l'esprit est d'ailleurs, en France, encore trop individualiste dans beaucoup d'endroits pour qu'il se groupe avec ses voisins." (Baraton 1928)

C'est effectivement l'humidité qui fait, à cette époque, la différence majeure entre blés indigènes et blés exotiques, ces derniers accusant souvent 12 ou 13 % d'eau, voire moins. On conçoit que malgré l'existence de systèmes de transilage et de ventilation (les processus physiques intervenant au cours de cette dernière restant encore mal compris), le stockage en silos ne se soit guère développé en Europe occidentale en dehors des ports d'importation. Les silos Huart de la Manutention Militaire de Paris, en particulier, sont considérés par plusieurs auteurs comme une mauvaise solution (Schribaux 1912; Baraton 1928). Il n'est pas sans intérêt de noter le développement précoce des silos à céréales en Afrique du Nord: un élévateur de 10 000 t est construit à Burdeau (Algérie) dès 1924, à une époque où les seules réalisations comparables en France sont Marseille, Dunkerque et Briançon (Baraton).

La seule innovation technique qui soit à signaler pour cette époque, en dehors du séchage dont on a vu le développement ailleurs, c'est celle des greniers à ruissellement, importante surtout en Allemagne. L'idée est probablement ancienne, elle consiste à ménager dans les greniers à étages des trapps dans les planchers, permettant de faire descendre le blé d'un étage à l'autre par son propre poids. La manoeuvre équivaut à un pelletage, tout en étant plus rapide. Pour améliorer l'opération, chaque orifice est muni en dessous d'un cône ou d'un prisme en métal pour disperser le courant de grains. Cette méthode est connue en France sous le nom de système de Coninck; mais en 1927 encore, elle est inconnue

de l'Administration Militaire française, alors qu'elle est courante en Allemagne. En fait, d'ailleurs, le grenier à ruissellement est une solution relativement coûteuse. La main d'oeuvre nécessaire pour balayer les planchers autour des orifices de vidage (dont le diamètre est de 3 à 6 cm) reste assez importante. S'y ajoute le coût de l'énergie nécessaire pour remonter les grains mécaniquement à l'étage supérieur, et naturellement celui des investissements. Au total, le stockage du grain en grenier à ruissellement est plus coûteux qu'en grenier ordinaire avec pelletages manuels. Son seul avantage est sa rapidité. (Diffloth 1917; Baraton 1927 et 1928; Hoffmann et Mohs 1931.)

1930-1950. Le démarrage.

Avec cinquante ans de retard sur l'Angleterre et sur l'Allemagne, la crise de 1929 met fin à la protection dont bénéficiaient les producteurs de céréales en France contre le bas niveau des cours mondiaux. La coopération et le stockage sont les solutions qui désormais s'imposent. Elles interviennent quarante ans plus tard qu'en Allemagne, mais plus rapidement, et d'une manière plus centralisée. Si les premières coopératives céréalières datent de la fin du siècle dernier (Diffloth 1917), c'est seulement à la fin des années 1920 que leur nombre devient significatif. On en compte 12 en 1920, environ 300 en 1936 avant la fondation de l'O.N.I.B., 819 à la fin de la même année, et 1923 en 1938. Leur nombre diminuera ensuite, du fait des regroupements qui vont s'opérer. Mais leur part de la collecte, d'emblée très élevée, atteindra 78 % en 1949/1950 (toutes céréales).

Nous disposons pour cette époque, pour la première fois semble-t-il, de statistiques publiées sur les capacités de stockage totales. Les chiffres suivants sont relatifs au stockage de collecte. Aussi sujets à caution soient-ils, ces chiffres parlent d'eux-mêmes (tableau 5):

Tableau 5. Evolution des capacités de stockage de collecte (milliers de tonnes)	
1920	0,5
1930	8
1936	427
1937	2 800
1945	3 170
1951	3 500
Sources: Houdard 1937; Bull. d'Inf. du Min. de l'Agric. 1951 Dauphin 1963; Pichard et Salmon 1976.	

A côté de ces capacités de collecte, le stockage secondaire, c'est-à-dire portuaire ou de report, reste relativement peu important: entre 100 000 et 200 000 t en 1951.

Sur le plan technique, la plupart des réalisations de cette époque associent silos-tours, la plupart en béton, et magasins pour le stockage en sacs, avec dispositifs de réception conçus pour la livraison en sacs. Voici par exemple la répartition des capacités construites dans les années 1930 et 1940 par une des plus importantes coopératives céréalières du Bassin Parisien:

Tableau 6. Les équipements de stockage de la Coopérative de la Brie			
Lieu et date de construction	Cellules verticales	Planchers magasins	Total
Brie-Comte-Robert, 1933	1 400 t	600 t	2 000 t
Melun, 1934	3 000 t	500 t	3 500 t
Melun, extension, 1940-1945	6 000 t	500 t	6 500 t
Nangis, 1936	2 000 t	600 t	2 600 t
Verneuil l'Etang, 1938	4 000 t	500 t	4 500 t
Total	13 400 t	2 700 t	16 100 t
Source: Lalloy 1947.			

Seul le silo de Verneuil l'Etang est équipé pour la réception en vrac dès l'origine, en 1938. Les autres ne le seront que dix ans plus tard (Lalloy 1948). Encore la Coopérative de la Brie est-elle, sur ce plan, largement en avance. Ce n'est que dans les années 1955-1960 que la réception en vrac se généralisera. Il est vrai que beaucoup de régions ont des étés plus humides que le centre du Bassin Parisien. Or, l'humidité à la récolte est un facteur essentiel dans le remplacement des sacs par le vrac. Même en Angleterre, pourtant en avance sur la France en matière de motorisation, le moissonnage-battage en sacs restera longtemps prédominant à cause des difficultés de conservation liées à la récolte en vrac (Michon 1954).

Une autre caractéristique de cette première période de développement du stockage de collecte, c'est le taux élevé de rotation. La quasi-totalité de la récolte se fait encore à la lieuse. On bat en plusieurs fois (quatre fois en Beauce: Donon 1937), et au dessus d'un certain volume, les producteurs ne peuvent livrer que dans la limite des quotas mensuels réglementaires. Aussi les grains collectés ne séjournent-ils que peu de temps en silo: ceux-ci sont ordinairement remplis et vidés trois à quatre fois de suite au cours d'une même campagne, taux de rotation relativement

élevé - il est aujourd'hui descendu à 1,6 - qui à la fois écarte les problèmes majeurs de conservation, et facilite la rentabilisation des équipements.

Le procédé de conservation le plus couramment utilisé dans les nouveaux silos est le transvidage d'une cellule à une autre, déplacement au cours duquel, si besoin est, on fait passer le grain dans un appareil de nettoyage où il est aéré et refroidi. Un seul appareil spécifique semble avoir connu une certaine diffusion, d'ailleurs fort limitée, à cette époque: le "cascadeur", sorte de séchoir à air froid où le grain descend par son poids dans une colonne à chicanes parcourue en sens inverse par un courant d'air ambiant. Cet appareil nous a été signalé dans le Nord (A. Jonas). Celui qui avait été installé en 1934 à Melun, toutefois, n'avait jamais servi en 1947 (Lalloy 1946, 1947). La solution la plus courante pour les lots de blé trop humides pour être mis en silo (dans la mesure où ils n'étaient pas purement et simplement refusés et laissés à la charge du producteur), était de les conserver en magasins, le plus souvent en sacs. Mais quelques magasins à étages à ruissellement sont construits à cette époque: on en signale un dans la Vienne et un dans le Gers dans le début des années 1930 (Laulanié 1937; Bidan 1937).

A côté du système silos-tours avec transvidage (n° 13 du tableau 4), qui représente à coup sûr l'immense majorité des réalisations entre 1930 et 1950, deux autres systèmes de stockage font leur apparition en France à cette époque: les cellules à parois perméables (15) et les cases ventilées (16). Dans les deux cas, il s'agit de combiner le stockage en vrac en grandes quantités avec une ventilation qui, dans les conditions techniques de l'époque, ne peut se faire sans danger sous une épaisseur de grain dépassant quelques mètres.

La conception la plus simple est celle des cases ventilées: le stockage est horizontal, la ventilation approximativement verticale. L'air est insufflé dans des gaines disposées sur le fond plat des cases et s'échappe verticalement à travers les 3 à 5 m de grain qu'elles contiennent. Un raffinement dont on commence à parler dans les années 1930 (Nuret 1937), mais qui ne s'implantera quelque peu qu'après la guerre, est la ventilation alternante: l'air est insufflé dans une des gaines (disposée par exemple le long d'une paroi) et repris dans une gaine voisine (disposée le long de la paroi d'en face dans une case rectangulaire). Après quelque temps, on inverse le sens de la ventilation et de l'aspiration. Il ne semble pas que le stockage en cases ventilées se

soit réellement développé avant 1950. On en signale toutefois un exemple dès 1939 (Bouin 1949), et un autre en 1946 (Codron 1946).

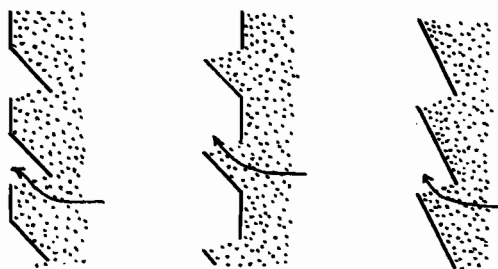
Les cellules à parois perméables sont de conception plus complexe. D'abord parce que le grain étant stocké verticalement, il faut nécessairement que la ventilation soit horizontale, ce qui est plus difficile à réaliser qu'une ventilation verticale. Ensuite et surtout, parce que la réalisation de parois perméables à l'air, mais ne laissant pas passer le grain, est assez délicate. Le meilleur indice de cette complication est le nombre élevé de solutions proposées dans la pratique. On peut les répartir en deux groupes:

- parois perméables en grillage ou en tôle perforée,
- parois à persiennes ou jalousies.

Les cellules en grillage sont proposées dès 1934 en France par le constructeur Poiraud de La Roche-sur-Yon (Vendée). Leur volume unitaire va de quelques dizaines de quintaux à 300 t; d'après le constructeur lui-même, il en aurait été construit pour 460 000 t de 1934 à 1960, dont 52 500 t pour l'année 1957 (GR 1960, 53, 1: 37). A côté de ce relatif succès, les cellules en tôle perforée ne sont à mentionner que pour mémoire (Fenton 1930, in Hoffmann et Mohs 1931).

Les cellules avec parois à jalousies apparaissent en Allemagne dans les années 1920, semble-t-il. En France, on ne les rencontre pas avant 1950. L'idée, réalisée d'un grand nombre de façons différentes dans la pratique, est de ménager des ouvertures conçues pour ne pas laisser échapper le grain grâce à l'angle de talus naturel de celui-ci (voir les schémas ci-dessous). La ventilation peut être axiale (cellules cylindriques) ou transversale, d'une paroi à l'autre (cellules parallélépipédiques); dans ce dernier cas, on arrive à des dispositifs d'amenée et de reprise de l'air fort compliqués qui caractérisent par exemple les cellules Suka (Autriche) ou Rank (Allemagne). Il est difficile de dire quelle fut la diffusion réelle de ces modes de stockage: un silo Suka nous a été signalé à Reims (Marne); en 1951, cette société affirmait avoir construit pour un million de tonnes de capacité en 330 cellules (Orglmeister).

Schémas de cellules à parois à persiennes ou lamellaires.



Les cellules à parois perméables peuvent être ventilées ou non: certaines d'entre elles, les plus petites notamment pour le stockage à la ferme, sont explicitement conçues en fonction d'une simple aération naturelle du grain. Quand une ventilation est prévue, par contre, elle peut l'être par injection d'air sous pression, ou au contraire par aspiration, ou encore les deux à la fois, simultanément ou successivement. Cette multiplicité de possibilités est un argument de vente employé par les constructeurs, dont certains expriment une préférence pour l'aspiration (Poiraud). Celle-ci est une technique qui disparaîtra par la suite.

Tous les procédés précédents concernent les céréales à paille. Pour le maïs, les premières innovations commencent plus tard, après la deuxième guerre mondiale seulement. La grande innovation des années 1945-1950 est celle des cribs. Il y en avait sans doute déjà quelques-uns auparavant — une photographie publiée en 1955 représente "un des premiers cribs construits en France... en 1941 (Bidau et Etchebarne 1955) — mais vers 1950 encore, les cribs étaient une rareté, s'il faut en juger par l'étonnement qui s'exprime dans cet extrait d'un rapport d'une mission d'études aux Etats-Unis publié en 1952:

"A la différence de ce qui se passe en France dans les régions à maïs, les greniers sont inconnus pour le plus grand bien des agriculteurs.

D'énormes surfaces couvertes, onéreuses à construire et à entretenir, sont consacrées chez nous au séchage du maïs, en épis, sur une couche de 30 à 40 cm d'épaisseur.

Rien de tel n'existe aux Etats-Unis.

Les séchoirs sont du type à claire-voie, à un ou deux pans, presque toujours peints à neuf.

La quasi-totalité, la totalité avant 1940, des épis sont placés dès la récolte dans les séchoirs à ventilation naturelle ou "cribs".

Ces séchoirs sont des sortes de silos..." (BTI 1952, 73: 637).

On peut s'étonner de cette absence des cribs en France, à une époque où ils représentaient une tradition déjà séculaire dans le Nord-Ouest de l'Espagne, ainsi qu'en Hongrie, en Roumanie et dans les Balkans. Mais c'est un fait qu'avant 1950, on ne conservait le maïs en France qu'en cordes lorsqu'il s'agissait de petites quantités (guirlandes d'épis attachés par leurs spathes, qu'on suspendait sous l'auvent des bâtiments), ou en couches avec pelletages (Etchebarne 1954; Causi 1954). Ce dernier mode, pour être apparemment mal adapté à la conservation du maïs en épis, était sans doute la simple transposition à celui-ci de la méthode en usage auparavant pour les blés. Et peut-être est-ce précisément à l'absence de cette méthode dans les régions intéressées d'Espagne et

d'Europe Orientale que celles-ci doivent d'avoir adopté les cribs bien plus tôt que la France. Il y aurait ainsi une opposition pertinente entre greniers et cribs sur le plan géographique. Quoi qu'il en soit, cette histoire comporte une autre conclusion: c'est qu'il faut souvent qu'une technique vienne d'Amérique du Nord pour être considérée comme digne d'intérêt chez nous. Et c'est seulement après 1950 que la formule du stockage en cribs fera l'objet d'une vulgarisation, principalement par l'AGPM.

Sur le plan des innovations techniques, il reste à rappeler la construction en grande série de silos hermétiques semi-enterrés en Argentine dès 1943. Des essais entrepris en 1941 pour mettre au point un mode de stockage d'urgence concluaient l'année suivante à la viabilité de l'ensilage hermétique, pourvu que l'humidité du blé ensilé ne dépasse pas 12 % (Almacenamiento a granel de emergencia... 1942). La première série réalisée sur ces données est faite de silos-fosses assez sommaires, à section trapézoïdale, à parois revêtues de sol-ciment. A la fin de la guerre, il y aura 1474 unités, d'une capacité de 550 t environ chacune, en neuf sites, pour une capacité totale de plus de 800 000 t. Après 1950, de nouveaux types de silos semi-enterrés, plus durables, seront adoptés. Ces réalisations sont assez rapidement connues des spécialistes en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis (Shellenberger et Fenton 1952; Hall et Hyde 1954). En France, elles sont toujours restées ignorées des spécialistes, même des partisans les plus convaincus de l'ensilage hermétique, jusqu'à aujourd'hui.

Sur le plan de la recherche scientifique, l'époque 1930-1950 connaît un certain développement dans plusieurs domaines. Développement encore limité toutefois, en ce sens qu'il semble être resté sans grande incidence sur les conditions de la pratique. On a déjà mentionné l'ouvrage fondamental de Hoffmann et Mohs, paru en 1931-1934, qui représente l'aboutissement de toute la période antérieure. C'est dans cet ouvrage que se trouvent les premières indications susceptibles de guider les professionnels du stockage de façon concrète. Le meilleur exemple est peut-être le tableau mensuel des fréquences de pelletage en grenier en fonction de l'humidité du grain, tableau que reprendra Nuret (1937). Rien de comparable n'existait auparavant, ni chez les auteurs classiques de Duhamel du Monceau à Diffloth, ni même dans la réglementation militaire pourtant si minutieuse parfois. Comme l'observe Baraton en 1927 dans la Revue du Service de l'Intendance Militaire:

"L'ancienne Notice des subsistances indiquait qu'on doit avoir recours au pelletage 'toutes les fois que la denrée l'exige'; qu'on doit conduire ces manoeuvres 'avec discernement': en s'en abstenant par les 'temps humides et lourds'; en choisissant au contraire, pour y procéder, 'les jours où règnent les vents les plus frais et les plus secs', et 'jamais par temps d'orage'. Tout cela est un peu vague..."

... Et à vrai dire les indications de Baraton lui-même (1927, 1928) ne vont pas beaucoup plus loin. Naturellement, le tableau des fréquences de pelletage d'Hoffmann-Mohs arrivait précisément au moment où la conservation en greniers allait disparaître. Mais ce n'est pas le seul résultat utilisable qu'on trouve dans ce livre. Deux autres méritent d'être mentionnés: une courbe d'équilibre d'humidité entre le grain et l'air ambiant (seigle), qui est probablement la première courbe de sorption à avoir été publiée — ces courbes sont aujourd'hui classiques —, et un tableau donnant une relation entre la température du grain, celle de l'air et son humidité relative, et le résultat à attendre de l'aération dans ces conditions. De ces données seront tirées la courbe de Nuret (1935) délimitant des zones de sécurité et de danger en fonction de la température et de l'humidité du grain stocké, et l'abaque de Legendre (1936) donnant des "Règles pour l'aération des silos". Ces deux graphiques resteront les seules références utilisables dans la pratique en France jusque dans les années 1960. La courbe de Nuret fera même l'objet d'une tentative de formulation mathématique (Nuret et Schribaux 1953; Gatheron et al. 1953; Schribaux 1956).

Ainsi, c'est à peu près uniquement vers l'Allemagne que les praticiens à la recherche de données utilisables en France doivent se tourner dans les années 1930-1935. L'avance de l'Allemagne, toutefois, ne tarde pas à être rattrapée par de nombreux autres pays à partir du milieu des années 1920. Dans les pays de langue anglaise, Australie, Etats-Unis, Canada, Grande-Bretagne et Inde, la recherche des années 1930 porte surtout sur les problèmes de mesure de l'humidité du grain, sur les insectes, la microbiologie et la biochimie des grains stockés (les vitamines notamment, qui sont à l'époque un sujet neuf). Près d'un millier de références sont rassemblées dans les bibliographies de l'ouvrage collectif d'Anderson et Alcock (1954), qui est un peu à la période 1930-1950 ce que celui de Hoffmann et Mohs était aux années 1880-1930; presque toutes ces références sont datées de 1920 à 1950. Les publications les plus importantes de l'époque sont celles de Cotton sur les insectes des céréales stockées (1946; il fait suite à l'ouvrage allemand de Zacher, publié en 1927), et

d'Oxley (1948) sur le stockage des grains en général. Un ouvrage sur le même sujet avait été également publié en Italie (Luraschi 1937). Parmi les publications régulières, il faut citer le début en 1945 de la très importante série "Grain Storage Studies" dans Cereal Science Today: plusieurs dizaines de titres, portant essentiellement sur les aspects microbiologiques, jusque dans les années 1955-1960.

Dans les années 1930 se développe également une importante production scientifique sur le stockage des céréales en URSS. Nous ne la connaissons que par les citations qui en sont faites dans la littérature occidentale. Mais le nombre de ces citations est d'autant plus impressionnant qu'elles disparaîtront presque totalement par la suite. Au moins cinq ouvrages importants sont publiés en URSS entre 1935 et 1940, dont des comptes-rendus étendus sont donnés dans le Bulletin de l'EFM, et des dizaines de titres sont donnés en référence par Zeleny et Semeniuk, dans Anderson et Alcock (1954).

Le dernier pays à citer pour sa participation au développement des recherches sur le stockage des grains est le Japon, avec les travaux de Kondō et Okamura surtout. Ces travaux portaient surtout, on l'a vu, sur l'ensilage hermétique: il n'est pas inutile de revenir sur ce sujet, qui est presque le seul à avoir suscité des recherches en France à la même époque. Voici, par ordre chronologique, les essais dont nous avons pu retrouver la trace en France: il s'agit d'expériences très sommaires et très sommairement publiées (quand même elles l'ont été), à l'exception de celles de Blanc. Mais leur nombre est significatif de l'intérêt soulevé alors par la méthode.

Tableau 7. Les essais d'ensilage hermétique en France de 1920 à 1950		
Auteur, date et lieu des essais	Ordre de grandeur	Sources
Guillaumin, 1923, Paris	laboratoire	Nottin 1937
Cépède, 1932, Paris	d°	Legendre 1935
Vayssière 1934, Paris	3 lots de 3 kg	Vayssière 1934
Blanc, 1937-1939, Le Chesnoy (Loiret)	355 q, dont 238 dans la cell. principale	Blanc 1937, 1938, 1939
Pouzin, 1943, dép. de la Drôme	semi-grandeur	Vayssière 1944
Brétignière, 1946-1948, Grignon	12 fûts métalliques de 210 l chacun	Peissi 1946
Costaz, 1947-1948, dép. de l'Eure-et-Loir	2 cellules de 900 q chacune	Costaz et al. 1949

A cette époque, et en dehors du Japon et de l'Argentine, quelques essais d'ensilage hermétique ont lieu aux Etats-Unis (Shellenberger et Fenton 1952, Barre 1954) et en Australie (Barre 1954). Aucune suite ne leur est donnée dans ces deux pays.

1950-1975. L'expansion.

Jusque vers 1950, l'accroissement — ou peut-être vaudrait-il mieux dire la création — de capacités de stockage de collecte répondait à de nouvelles contraintes nées du marché mondial, mais la production intérieure française de céréales était restée stable. A partir de 1950, de 1953 surtout, une série de facteurs nouveaux interviennent: l'augmentation de la production, sa diversification (apparition du colza, du blé dur...), sa concentration dans quelques régions, la mécanisation de la récolte, et l'extension vers le Nord de la culture du maïs-grain. Sur le plan quantitatif, les conséquences en sont les suivantes:

- la collecte s'accroît plus vite que la production, et les capacités de stockage plus vite que la collecte;
- le transport et la réception en sacs régressent devant le vrac, pour disparaître totalement vers 1965;
- l'arrivée du maïs-grain en grandes quantités à partir de 1965 oblige les organismes de collecte à s'équiper en séchoirs beaucoup plus puissants que ceux qui existaient jusqu'alors;
- ces nouvelles nécessités d'équipement conduisent à regrouper les points de collecte: leur nombre, qui avait sans doute atteint un maximum dès la fin des années 1930, diminue désormais régulièrement;
- le stockage à la ferme se développe lui aussi dans certaines des grandes régions céréalières, et souvent plus rapidement encore que le stockage de collecte;
- deux formes nouvelles de stockage apparaissent: le stockage portuaire à l'exportation (il n'existait jusqu'alors qu'un stockage à l'importation, dont les meilleurs exemples sont Dunkerque et Marseille), et le stockage de report: le premier de très courte durée, le second au contraire de longue durée.

Quelques chiffres suffiront pour illustrer cette évolution:

- de 1950 à 1975, la production est multipliée par 3,5 à 4, mais la collecte par près de 5 et les capacités de stockage par près de 6;
- de 1951-1955 à 1971-1975, la part de la production collectée passe de 45 % à 73 % environ (moyennes quinquennales toutes céréales);
- le coefficient de rotation brut (rapport collecte/capacité de stockage) qui dépassait 3 vers 1950 — il pouvait atteindre couramment 10 à 15 dans certains organismes de collecte — s'établit à 2 en 1960, à 1,6 en 1975;
- quant aux installations de ventilation et de séchage, presque inexis-

tantes en 1950, leur nombre évolue comme suit depuis 1964, première année pour laquelle nous disposons d'un recensement complet réalisé par l'ONIC:

Tableau 8. Ventilation et séchage, 1964-1975			
Nombre d'installations	1964	1975	1964/1975
de ventilation	2792	5275	+ 92,5 %
% de centres équipés	30,1	64,4	-
de séchage	909	2378	+ 162 %
% de centres équipés	9,8	28,5	-
Source: ONIC, Rapports semestriels sur les capacités de stockage.			

Tout cela signifie une chose. C'est qu'entre 1950 et 1975, on assiste à la naissance du stockage de collecte comme activité économique nouvelle, qu'on ne peut plus confondre, malgré des liens étroits, ni avec la production, ni avec le commerce, ni avec les industries des céréales et des autres grains (oléagineux, et maintenant protéagineux). Naturellement, cela ne vaut que pour la France: on a assez vu précédemment que cette mise en place avait eu lieu bien plus tôt dans les pays exportateurs (Etats-Unis, Canada), et même en Allemagne, avec pour conséquence une évolution plus progressive dans ces pays.

Sur le plan technique, on peut diviser la période qui nous occupe en deux parties. De 1950 à environ 1965 et même quelques années plus tard, les moyens de stockage et surtout de conservation se trouvent presque toujours, malgré leur rythme d'accroissement, à la limite de la saturation. D'autre part, la recherche est encore peu développée, peu diffusée, et bien des incertitudes demeurent: on assiste à une dispersion assez grande des efforts et des initiatives tendant à résoudre les problèmes nouveaux qui se posent (nouveaux au moins par leur échelle). C'est l'époque où tous les systèmes possibles sont essayés, où agriculteurs, constructeurs et importateurs de matériel font preuve du maximum d'imagination. A partir de 1965 au contraire, et surtout de 1970, il se produit une sorte de décantation: un petit nombre de solutions deviennent "classiques" et sont généralisées, on cherche surtout à préciser leur mode de fonctionnement sur le plan quantitatif, à serrer les prix de revient. Les recherches entreprises sur la ventilation au CNEEMA aboutissent à une clarification pratiquement définitive des idées à son sujet vers 1968-1969, qui sont rapidement diffusées; un cycle de formation des chefs de silos est mis sur pied et commence à fonctionner en

1975. Une autre date importante est celle de 1954, année où est fondé le Laboratoire de Microbiologie Céréalière de l'INRA, logé dans les locaux de l'Ecole Française de Meunerie.

Après 1965-1970, donc, deux techniques vont supplanter les autres en France pour tous les stockages courants: la ventilation à l'air ambiant, complétée pour les grains humides par le séchage à l'air chaud. Avant 1965-1970 au contraire, la diversité des méthodes essayées, proposées, ou parfois même assez largement pratiquées, est bien plus grande; certaines conservent d'ailleurs encore aujourd'hui un champ d'application plus ou moins important. La ventilation elle-même, dont les effets et les mécanismes sont encore mal compris, est mise en oeuvre suivant des modalités fort variées, dont la plupart disparaîtront par la suite. Les principales méthodes de conservation dont il est fait mention dans la littérature technique de la période 1950-1970 sont les suivantes:

- stockage en épis (maïs): cribs; cases ventilées;
- stockage en vrac: cellules à parois perméables; point froid; atmosphère confinée (en 1950-1960, pour grains secs ou peu humides; à partir de 1965 pour grains humides);
- ventilation: par aspiration, par pression, ou alternante; avec de l'air réfrigéré, réchauffé, déshydraté, etc.

Il n'est pas inutile de revenir rapidement sur les plus importantes de ces méthodes. On notera au passage, toutefois, qu'il n'est pratiquement plus question, après 1950, du procédé de Legendre d'élévation du pH des grains stockés.

Le stockage en cribs est probablement, de toutes ces méthodes, celle qui a eu et qui garde le plus d'importance. Inexistants en 1950, les cribs représentent en 1965 une capacité totale de 1 280 000 t (Dauphin et Foulhouse). Cette capacité est apparemment restée à peu près constante depuis cette date, ce qui constitue évidemment une régression relative considérable étant donné l'expansion de la production du maïs. Du reste, la part des cribs dans le stockage à la ferme serait passée de plus de 45 % en 1965 à moins de 20 % en 1975 (SCEES 1976). Quant à la conservation des épis en cases ventilées, elle n'a été considérée comme une alternative viable que fort peu de temps sans doute (CNEEMA 1951, 54). Le séchage des épis a également été rapidement abandonné pour le maïs de consommation, car il comporte nécessairement le séchage des rafles, qui consomme de l'énergie en pure perte; c'est toutefois une technique excellente sur le

plan de la qualité, qui reste utilisée pour le séchage des semences.

On a déjà dit un mot sur les cellules à parois perméables (p. 47). Avant 1950, la plupart des modèles proposés sur le marché étaient allemands, autrichiens, scandinaves... Ces modèles restent bien sûr après 1950, mais de nouveaux systèmes sont désormais proposés par des constructeurs français: silos lamellaires Reimbert, cellules en tôle perforée "aéra", cellules Clarac, etc. Tous ces dispositifs ne sont que des variantes sur le même thème; ils sont passés en revue, y compris sur le plan des coûts, par Clarac 1956, Pratique 1955, Reimbert 1956a et 1956b, etc. Mais nous n'avons pas trouvé de données statistiques sur les réalisations pratiques de silos à parois perméables, en dehors de celles dont nous avons déjà fait état pour les cellules Poiraud et Suka. Quels que puissent être leurs avantages, le coût élevé de ces silos les a fait abandonner, y compris en Allemagne (Kellermann 1969).

La méthode du point froid ne doit pas être confondue avec l'emploi d'air artificiellement réfrigéré pour la ventilation, procédé plus courant sur lequel nous reviendrons. Dans son principe, en effet, la méthode du point froid consiste simplement à placer une surface froide — l'évaporateur d'une machine frigorifique — en haut d'une cellule verticale, au dessus des grains et sans contact avec eux. La présence du point froid crée des courants de convection, l'air refroidi étant plus dense, qui assurent le refroidissement des grains. L'air refroidi est aussi desséché, ce qui a surtout l'avantage, semble-t-il, d'éliminer en principe les risques de condensation ailleurs qu'au point froid lui-même, qui comporte bien entendu un dispositif d'évacuation de l'eau (Leroy 1950). Au total, la méthode serait très économe en énergie mécanique (Descrozaille 1956). Nous avons très peu de données précises sur cette technique, peut-être originaire d'Allemagne où elle serait obligatoire (Lasseran 1978). Pourtant, les capacités équipées de point froid sont assez nombreuses en France pour avoir été recensées par l'ONIC depuis 1964. D'après cette statistique (in: Pichard et Salmont 1976), elles ont atteint leur maximum en 1965/1966 avec 106 000 t (4 % des capacités ventilées d'alors), pour retomber à 74 000 t en 1975/1976 (1 % des capacités ventilées; tous ces chiffres ne portent que sur le stockage de collecte en coopérative).

Contrairement au point froid, la méthode du stockage en atmosphère confinée, sous gaz inerte ou sous vide, a toujours fait l'objet d'une abondante littérature, même si les capacités équipées sont encore plus modestes. Les expériences qui la concernent sont particulièrement nom-

breuses. Mais deux applications bien différentes de l'ensilage hermétique vont soulever deux vagues d'intérêt bien distinctes dans le temps. La première, dès 1950-1952, prolonge directement la période précédente et porte sur des grains secs ou peu humides (moins de 18-20 %), à conserver relativement longtemps (stockage saisonnier de quatre mois à un an). La seconde, à partir de 1960 en Grande Bretagne et de 1965 en France (mais dès 1952 aux Etats-Unis) porte sur des grains très humides (20-40 %), à conserver relativement peu de temps (deux à six mois) et destinés à l'alimentation du bétail.

Nous ne reviendrons pas sur les aspects techniques du premier procédé, qui ont été déjà évoqués, si ce n'est pour essayer d'évaluer l'importance qu'il prend au cours de cette période. Des réalisations importantes de silos hermétiques ont lieu en Amérique du Sud (Argentine, Brésil, Paraguay, Vénézuëla), en France, et dans deux pays alors sous tutelle britannique, Chypre et le Kenya. D'après les données que nous avons pu trouver dans la littérature de l'époque, les capacités atteintes seraient les suivantes:

Tableau 9. Principales réalisations de silos hermétiques depuis 1950	
1950-1960	
- Amérique du Sud: silos en longueur, parois béton, semi-enterrés, section cylindrique; stockage de report, associés avec élévateurs	
. Argentine	2 500 000 t
. Brésil, Paraguay	?
- Chypre: silos de plan semi-circulaire, parois et voûte béton, semi-enterrés, fond conique; stockage de sécurité de longue durée	8 000 t
- France: cellules métalliques en tôle soudée, verticales: une douzaine d'installations construites entre 1952 et 1956	10 000 t
- Vénézuëla, Maroc (Meknès) et Afrique Noire: quelques installations du même type, construites à la même époque par des entreprises françaises	(?) 50 000 t
1966- ?	
- Kenya: 140 cellules du type "Chypre"; stockage de sécurité à long terme	140 000 t
Sources: Elevadores terminales... 1977; Hyde 1954, 1973; Lopez 1973; Oxley et al. 1961; Silo métallique... 1957; Silos métalliques étanches ... 1959; Viel 1958; Vayssièrre 1975; Ollier 1955; Baker 1974.	

Sauf pour l'Argentine, ces capacités sont statistiquement très faibles. En France, elles ne représentent qu'environ 0,25 % des capacités de collecte existant vers 1955. En Argentine, cette proportion est d'un peu plus de 14 %.(1977). Une différence importante entre les deux pays est qu'en Argentine on ne stocke hermétiquement que du grain très sec, ne dépassant

pas 12 % d'humidité. En France au contraire, les grains mis en silo hermétique atteignent 18 %, voire parfois 20 % d'humidité, et les praticiens affirment que leur conservation est tout à fait satisfaisante pendant des durées de plusieurs mois, de la moisson au printemps suivant. Cette possibilité éventuelle de conserver des grains humides attire très vite l'attention des chercheurs européens. Les premières expériences sont entreprises en 1952 au Pest Infestation Control Laboratory de Slough (G.B.), d'abord au laboratoire, puis à partir de 1953 en semi-grandeur (Hyde 1953; Hyde et Oxley 1960). Une série d'expérimentations comparables débute en France quelques années plus tard, en 1956 (CNEEMA 1958, 202; Jossoud 1959) et se poursuivra quelques années par des essais de laboratoire sur le colza (CNEEMA 1963, 265, et 1965, 288; Guilbot et Poisson 1966; Poisson et al. 1963). Mais dans tous les cas, il s'agit de conserver le grain avec aussi peu de modifications que possible: on ne songe pas encore à des applications du stockage en atmosphère confinée qui comporteraient des modifications incompatibles avec les critères de qualité ordinaires. C'est pour cette raison du reste, semble-t-il, que l'intérêt des chercheurs retombe, la technique ne s'avérant pas assez sûre, et la progression pendant ce temps des équipements de ventilation et de séchage lui enlevant une partie de son champ d'application.

C'est de la pratique que viendra le changement de point de vue qui conduit à la seconde vague d'intérêt pour le stockage hermétique dans les années 1965. En fait, l'idée d'ensiler des grains humides pour l'alimentation du bétail apparaît aux Etats-Unis dès le début des années 1950. Dès cette époque, des constructeurs de silos-tours métalliques à fourrage voient la possibilité d'y stocker aussi des grains humides (Barre 1954; Foster et al. 1956). En Europe, les premiers essais dont nous ayons trouvé mention datent de 1962, en Grande-Bretagne (Forbes 1965); la technique y semble bien installée en 1964. En 1965 ou 1966, ce sont les premiers essais d'addition d'acide propionique, qui vont se multiplier ensuite dans tous les pays d'Europe (Culpin 1964; Forage conservation 1967). C'est en 1965 également que l'idée de stocker des grains fourragers humides — mais essentiellement — fait son apparition en France.

Il s'agit au départ, toutefois, non pas de grains entiers, mais de grains broyés, technique directement héritée de l'ensilage fourrager et mise au point, semble-t-il, en Allemagne. L'ensilage de grains broyés

se développe rapidement dans le Nord de la France, à la suite des conditions "désastreuses" de la récolte du maïs en 1965. On l'essaye dans le Finistère dès 1966. Elle est pratiquée dès 1967 en Belgique et en Normandie, en 1968 dans l'Orne, la Sarthe (60 ha) et la Mayenne. En 1970, 300 ha de maïs-grain broyé sont ensilés dans le Cambrésis, 520 ha dans la Sarthe, 8 à 10 000 ha dans le Finistère (Parneix et al. 1971).

De là à ensiler du maïs-grain non broyé il n'y a qu'un pas, qui est franchi en 1967 lorsqu'arrivent en France les premières informations sur les méthodes d'ensilage des grains humides en train de se développer en Angleterre. Les premiers essais ont lieu en Vendée à l'automne 1967, avec du maïs en attente de séchage: il s'agit à la fois d'évaluer les résultats qualitatifs du procédé, et de tester le matériel et les méthodes (bâches plastiques en matériaux différents, joints étanches, vide partiel ou atmosphère d'azote...). D'autres essais ont lieu dans la Sarthe, dans le Centre, etc. A l'automne 1971, 6 000 t de maïs sont mis ainsi en stockage d'attente pendant deux à trois mois en silos souples. En 1973, les difficultés de l'approvisionnement en pétrole donnent une nouvelle impulsion au procédé: 10 000 t de maïs et sorgho sont stockés en attente de séchage dans les Hautes-Pyrénées (Combe 1972; Renaud 1973, 1974). Depuis cette date, l'accroissement des capacités de séchage a sensiblement réduit, semble-t-il, l'intérêt de ce mode de stockage d'attente.

Restent à signaler, pour la période qui nous occupe, plusieurs essais de stockage de longue durée, sur deux ans en France (Le Du 1968; Guilbot et al. 1971), sur seize ans en Grande Bretagne (Pixton et al. 1964, 1967 et 1975). Ces essais mettent en jeu des atmosphères contrôlées de différentes compositions.

Toutes les techniques qui viennent d'être évoquées, dans la mesure où elles ont eu une quelconque importance pratique, ont régressé ou régressent aujourd'hui en France au profit du séchage à air chaud et de la ventilation. Sur le séchage, la seule chose qu'il faille ajouter ici à ce qui a été dit plus haut est l'augmentation spectaculaire de la puissance de séchage dans les vingt-cinq dernières années. Cette puissance s'exprime dans la pratique en points/heure (1 pt/h correspond à l'abaissement du taux d'humidité d'1 q de grain de 1 %; sa valeur exacte dépend de l'humidité du grain à l'entrée et à la sortie du séchoir, mais elle se situe le plus souvent entre 1,17 et 1,25 kg d'eau évaporée à l'heure). Vers 1950, la puissance maximale disponible était de 200 à 250 pt/h, avec

un abaissement maximal d'humidité de 4 points (Lalloy 1948; Jouin 1952). En 1965, les séchoirs les plus puissants atteignent 2000 à 2500 pt/h (Costaz 1965). Aujourd'hui, leur puissance maximale atteint près de 5000 pt/h (Lasseran 1977), et des puissances de 1500 à 2000 pt/h sont considérées comme un minimum pour l'équipement des centres de collecte (DARS 76-5033). En vingt-cinq ans par conséquent, la puissance des séchoirs a été multipliée par un facteur 20, et l'abaissement d'humidité maximal par un facteur 5 (4 points en 1950, 20 points aujourd'hui).

Il est plus difficile d'apprécier exactement l'évolution technique en matière de ventilation. La méthode qui a fini par prévaloir aujourd'hui, on l'a vu, est la plus simple; elle se caractérise par:

- l'utilisation d'air ambiant, non réfrigéré ni réchauffé (si ce n'est par la chaleur dégagée au ventilateur),
- l'insufflation de cet air sous pression,
- sa circulation de bas en haut dans la masse de grain.

Or là encore, comme pour les autres modes de conservation que nous avons rencontrés précédemment, bien d'autres méthodes ont été au moins essayées, dont certaines ont gardé un champ d'application non négligeable. Il faut citer:

- la ventilation à l'air réfrigéré, réchauffé, ou les deux successivement (procédé souvent confondu avec celui du "point froid"), ou déshydraté...,
- la ventilation par aspiration d'air en dépression,
- la ventilation par circulation de l'air de haut en bas, ou horizontalement (transversale ou radiale).

Il est clair qu'il faudrait identifier précisément toutes ces techniques en croisant ces différents critères, comme nous l'avons fait pour les méthodes de conservation en général au tableau 4. Les informations disponibles sont trop lacunaires, toutefois, pour permettre de l'entreprendre de façon utile. Si certains procédés sont abondamment documentés, d'autres ne le sont que par de rares allusions. La seule étude d'ensemble sur la ventilation où soient pris en compte des modalités telles qu'aspiration/insufflation et trajet de l'air de bas en haut/de haut en bas, est celle de Burrell (1974, in Christensen ed.). Mais l'auteur ne fait qu'énumérer avantages et inconvénients de ces diverses modalités, sans donner d'exemples de réalisations effectives. La question se complique, en outre, du fait que jusque vers 1965 peut-être, l'objectif de la ventilation n'était pas toujours clairement défini: "Les deux objectifs essentiels de la ventilation sont de refroidir et de sécher le grain", écrivait H. Nuret en

1952. Il a fallu attendre la fin de la décennie pour qu'on se rende compte de la faiblesse de l'effet de séchage de la ventilation ordinaire, au regard de son effet de refroidissement: il faut en effet cent fois plus d'air pour sécher complètement une masse de grains donnée que pour la refroidir, dans la limite des potentialités de séchage et de refroidissement qu'offre l'air ambiant utilisé (Jouin 1959). En attendant, nombreux sont les textes où l'effet de séchage est présenté à peu près sur le même plan que celui de refroidissement (CNEEMA 1952, 75; CNEEMA 1961, 234; Leroy 1953; etc.). Il semble d'ailleurs que certains praticiens aient eu dès le départ une idée plus nette de la question, en ce sens notamment qu'ils profitaient des heures les plus froides de la nuit pour ventiler (Bouin 1949; Guillemot, comm. pers.): pratique qui témoigne évidemment d'un choix clair dans l'ordre des priorités.

Compte tenu de tout cela, nous ne mentionnerons ici, en dehors de la ventilation de refroidissement classique, que deux des procédés dont il est le plus souvent question dans les années 1950: la ventilation alternante, et la ventilation avec de l'air réfrigéré ou réfrigéré-réchauffé.

Le développement de la ventilation alternante dans les années 1950 ne fait que prolonger une tendance déjà commencée auparavant (cf. p. 46). D'assez nombreux textes témoignent de sa diffusion (Liverdoux 1952; Lalloy 1953; Génie Rural 1955, 5: 195). Au moins un des systèmes proposés sur la marché est protégé par un brevet (Prost et Maho). L'idée de base consiste, on l'a vu, en un dispositif de gaines d'arrivée et de reprise de l'air permettant d'inverser le sens de la ventilation. Le but de cette inversion est d'assurer une meilleure homogénéité du travail.

La ventilation avec de l'air réfrigéré a un champ d'application dans des cas particuliers, lorsqu'en fait il serait trop risqué de ne compter que sur les conditions atmosphériques pour refroidir le grain: conservation de l'orge de brasserie en climat maritime par exemple (O'Connell 1955, Luneau 1960). Mais de tels cas sont assez rares, et au total, les avantages de la réfrigération de l'air de ventilation ne sont pas évidents (Burrell 1974, in Christensen ed.). Une méthode qui a fait couler beaucoup plus d'encre est celle qui consiste d'abord à refroidir l'air sur l'évaporateur d'une machine frigorifique, où il perd une grande partie de son eau, pour le réchauffer ensuite sur le condenseur de la même machine (Leroy 1953; Theimer 1954; O'Connell 1955; Cac 1955; Sijbring 1963; Jouin 1965; Burrell 1974). C'est en fait un cas particulier de ventilation à l'air réchauffé, l'air étant déshydraté au préalable. Dans la pratique, la méthode est coû-

teuse, sans présenter d'avantages décisifs par rapport à la ventilation séchante à l'air réchauffé, laquelle présente des risques non négligeables dûs à la lenteur et à l'hétérogénéité du séchage. Il ne semble pas qu'elle ait jamais été utilisée à grande échelle.

Il reste à mentionner une conséquence importante du développement de la ventilation depuis 1950: celui, concomitant, du stockage horizontal. On a vu que dans les années 1930, la formule la plus répandue était celle du silo-cathédrale (cellules verticales), accompagné de magasins pour le stockage en sacs des lots de grain de conservation difficile. Or, les magasins à fond plat s'adaptaient très facilement à un stockage en cases ventilées de quelques mètres de hauteur, à une époque où il n'était pas encore question de ventilation en cellules verticales. Certains virent dans ce mode de stockage la formule de l'avenir (Couradette 1955). Le fait qu'on sache aujourd'hui ventiler des cellules de 40 m de hauteur et plus (Poichotte) amène évidemment à réviser ce jugement. Toutefois, le stockage à plat conserve son intérêt pour le maïs, et surtout lorsque le grain doit séjourner longtemps au même endroit, sans subir de manutention (stockage de report).

Depuis 1975. Stabilisation ?

La fin de l'année 1975 est marquée en France, on l'a vu, par une baisse très nette du taux de croissance des capacités de stockage. Infléchissement beaucoup plus visible certainement que celui de la production, dont l'évolution à long terme est davantage masquée sous les variations aléatoires dûs aux conditions climatiques. Cette baisse est en tous cas observable sur trois années pleines: si c'est un accident, cet accident dépasse d'ores et déjà un niveau purement conjoncturel.

Sur le plan technique, il semble qu'on soit désormais entré dans une phase où les préoccupations majeures sont devenues la compression des coûts, en particulier de l'énergie, et les problèmes qualitatifs.

Le problème des économies d'énergie s'est en fait toujours posé. Il est même très vraisemblable que sauf dans les quinze ou vingt dernières années, le prix de l'énergie a souvent été supérieur, relativement à ceux des céréales et de la main d'oeuvre, à ce qu'il est actuellement. D'où une certaine impression de déjà-vu. C'est ainsi qu'on reparle beaucoup actuellement de la pompe à chaleur: il ne faut pas oublier pour autant qu'il en a déjà été abondamment question dans les années 1950,

sans que cela débouche sur grand'chose de concret. A partir du moment où séchage à air chaud et ventilation à air ambiant sont les deux seules techniques d'utilisation courante, les seules économies d'énergie possibles consistent à se rapprocher au maximum des limites théoriques de rendement. Pour le séchage par exemple, qui consomme 400 000 t de combustibles pétroliers par an (soit 7 à 8 % de la consommation totale de l'agriculture: Lasseran 1975), la seule possibilité est d'approcher le plus possible la limite théorique de 600/650 mth par kilogramme d'eau évaporée, le rendement des séchoirs actuels se situant entre 900 et 1 200 mth/kg. Deux voies se présentent pour ce faire:

- le perfectionnement des appareils eux-mêmes,
- le perfectionnement des procédures de séchage.

Le recyclage de l'air, la régulation automatique du fonctionnement des séchoirs, sont des exemples de ce qu'il est possible de faire dans la première direction (Lasseran 1975, 1977; Srouf 1978). Naturellement, ces perfectionnements entraînent des coûts d'investissement supplémentaires qui ne doivent pas dépasser les bénéfices attendus. Dans la deuxième direction, l'exemple le plus actuel est celui de la dryération du maïs ou RLD (Refroidissement Lent Différé). Il s'agit d'un procédé mis au point dès 1967 aux Etats-Unis, et vulgarisé en France à partir de 1973 (Lasseran 1977). Le principe de la méthode est le suivant:

- on ne cherche pas à sécher complètement le grain au cours de son passage dans le séchoir, mais seulement à le ramener à 18-19 % d'humidité;
- au lieu de refroidir immédiatement ce grain à la sortie du séchoir, comme dans le séchage classique, on l'envoie encore chaud (50 à 60° C) en cellule, où on le laisse reposer quelques heures, pour laisser à l'eau qu'il contient encore de migrer vers la périphérie du grain;
- on achève alors le séchage par une ventilation à l'air ambiant à débit modéré (40 à 60 m³/h par m³ de grain), qui utilise la chaleur du grain pour lui enlever les 2 à 3 points d'humidité restants et donc aussi pour le ramener à la température ambiante.

Le RLD permet d'économiser 15 à 20 % du combustible et 10 à 15 % de l'énergie mécanique nécessaires par rapport au séchage classique (Lasseran 1977). L'économie d'énergie mécanique vient de ce que le refroidissement lent en cellule demande des débits d'air beaucoup moins élevés que le refroidissement rapide à la sortie du séchoir.

L'intérêt pour nous de cet exemple est qu'il met en évidence un point important, quoique souvent mal compris, dans la problématique des écono-

mies d'énergie: la distinction entre l'énergie calorifique et l'énergie mécanique. Sauf quelques cas particuliers en effet, la seconde est obtenue à partir de la première avec un rendement limité, et coûte donc, toutes choses égales d'ailleurs, trois à quatre fois plus cher: des économies même faibles d'énergie mécanique peuvent équivaloir à des économies trois ou quatre fois plus importantes d'énergie calorifique. C'est parce que le transilage consommait trop d'énergie mécanique qu'on a dû l'abandonner dans les années 1950 pour la ventilation (Dauphin 1963). C'est parce que la pompe à chaleur, si elle consomme relativement peu d'énergie, la consomme obligatoirement sous forme mécanique, que ses avantages sont toujours restés plus théoriques que réels. C'est encore parce que la ventilation séchante exige des débits cent fois supérieurs à ceux de la ventilation refroidissante — donc pertes de charge et pression de travail encore bien supérieures — qu'elle a régressé à son tour. Dans le séchage, pour en revenir à cet exemple, le rendement théorique maximal de l'échange de chaleur et d'eau entre l'air de séchage et le grain au niveau élémentaire serait atteint en régime réversible, c'est-à-dire avec une différence aussi faible que possible entre la température de l'air et celle du grain (Bourdelle 1952). Or en fait, l'air est un véhicule dont le déplacement est coûteux en énergie mécanique: il est donc au contraire préférable de lui faire emporter le plus possible d'eau par unité de masse, c'est-à-dire de travailler à la plus haute température possible compatible avec la qualité du grain. Comme bien souvent dans le domaine technique, l'optimum est nécessairement un compromis.

Quant aux problèmes de qualité, ils ne sont pas plus nouveaux que ceux d'économie d'énergie. Mais deux d'entre eux sont peut-être appelés à prendre une importance croissante: les résidus de pesticides, et la prise en compte de critères de qualité plus fins et plus techniques (valeur boulangère...) dans les transactions. Cette deuxième tendance joue déjà un rôle pour limiter la capacité unitaire des cellules, de façon à pouvoir constituer et conserver des lots homogènes bien individualisés (Courtois 1970; les normes de l'ONIC prévoient une capacité unitaire maximale de 5 000 t: Hesnard). Mais à long terme, c'est peut-être le problème des résidus qui pèsera le plus. Si dans un premier temps, en effet, les méthodes modernes de stockage et de manutention ont bien réduit le danger des insectes (le Charançon a pratiquement disparu), elles ne l'ont pas éliminé définitivement, bien au contraire. Les ravageurs existants s'adaptent aux nouvelles conditions de stockage et aux moyens de lutte (résistance aux

insecticides), et de nouvelles espèces font leur apparition dans des régions où elles n'existaient pas. En France aujourd'hui, le Sylvain (*Oryzaephilus surinamensis* L.) et surtout les Acariens des stocks constituent le principal danger; ces derniers sont particulièrement favorisés par les conditions du stockage en cases ventilées et par leur tolérance aux insecticides (Fleurat-Lessard 1976). Or, le grain marchand doit être complètement exempt de prédateurs vivants, et la tolérance aux résidus d'insecticides ne peut aller qu'en diminuant (Viel 1970). Dans ces conditions, "la seule méthode de désinfestation courante actuellement disponible qui soit à la fois exempte de résidus et susceptible de satisfaire aux normes pour l'exportation en l'espace d'un mois dans la plupart des cas" reste l'ensilage hermétique (Banks et Annis 1976). Certes, ces auteurs ont en vue la situation australienne, où le grain est dans l'ensemble chaud et sec, ce qui met au premier rang le danger des insectes, surtout pour le stockage de longue durée. Mais cela signifie aussi peut-être que l'histoire des techniques de stockage n'est pas entièrement terminée.

LES CONNAISSANCES

Identifier et localiser les techniques ne suffit pas pour comprendre la façon dont elles se sont développées. Les techniques mettent en jeu des connaissances qu'il faut identifier à leur tour. Il peut sembler un peu artificiel de distinguer ainsi entre les techniques et les connaissances qu'elles impliquent, et il est même possible que sur un plan fondamental (épistémologique), cela ne se justifie pas. Sur le plan de l'analyse, toutefois, deux arguments au moins justifient cette distinction:

- les techniques sont des modes d'action orientées vers un but économique; ce n'est pas toujours le cas des connaissances;
- les solutions techniques sont relativement peu nombreuses au regard des connaissances, dont le nombre est virtuellement illimité (à supposer d'ailleurs que parler de nombre à leur propos ait un sens).

Il n'est guère utile d'insister ici sur le premier point. Sur le second, il est clair que si les solutions techniques, c'est-à-dire les modes d'intervention possibles, sont peu nombreux, il est possible de les explorer tous sans pour autant connaître avec précision dans chaque cas les mécanismes exacts qui conduisent de l'action à son résultat. S'il n'y a que quatre modes de contrôle du milieu ambiant des grains (tableau 4), il est clair que ces quatre modes seront tous explorés bien avant qu'on ait compris exactement comment ils fonctionnent - d'autant plus que dans ce domaine complexe qu'est l'écologie des grains stockés, la compréhension exacte des phénomènes n'est qu'un objectif théorique, la compréhension réelle étant toujours approchée. Autrement dit, c'est parce que l'arbre des choix techniques est relativement peu ramifié qu'il est toujours exploré plus vite et plus tôt que celui des connaissances. D'où un décalage, qui est en général qualifié d'empirisme de façon péjorative le plus souvent, et en tous cas impropre. Car même si les praticiens se bornaient à agir en suivant les seules données de l'expérience empirique

(par essais et erreurs), il resterait que c'est la reconnaissance préalable d'au moins une partie de l'arbre des possibles qui rend possible de recueillir ces données. Or, cette reconnaissance met déjà en jeu une logique. Ajoutons d'ailleurs tout de suite que les praticiens ne se bornent jamais à choisir en fonction des seules données empiriques. Entre deux solutions comparables, ils choisiront toujours celles qu'ils comprennent, ou qu'ils croient comprendre, le mieux. Si l'ensilage hermétique a eu autant de succès dans les agricultures subtropicales pré-industrielles, c'est en partie parce que son fonctionnement — destruction des insectes par asphyxie — renvoie aux notions les plus courantes sur la respiration des animaux (alors même qu'il y a des différences profondes à cet égard entre les insectes et les vertébrés), et est donc immédiatement "compréhensible". Un bon exemple de la réciproque est celui de la ventilation des grains en couche épaisse. On a vu en effet que la possibilité avait été explorée par Duhamel du Monceau dès le milieu du XVIIIe siècle, mais qu'elle n'avait été appliquée réellement que deux siècles plus tard. Nous avons d'abord pensé que c'était dans l'insuffisance des techniques de ventilation proprement dites qu'il fallait chercher les raisons de ce retard. Duhamel, en effet, avait choisi de ventiler à l'aide de soufflets, alors que le principe du ventilateur centrifuge était déjà connu et appliqué en meunerie (le tarare), ce qui pouvait s'expliquer par l'insuffisance de ce dernier. Mais si c'était le cas, la ventilation des grains aurait dû se développer au plus tard dans le dernier tiers du XIXe siècle, époque où les ventilateurs, centrifuges ou hélicoïdaux, sont suffisamment au point (Pratique 1949). Or, il faut encore attendre presque un siècle pour que ce développement ait effectivement lieu, vers le milieu des années 1950, et cela non seulement en France, mais même aux Etats-Unis, où pourtant le développement du stockage industriel avait eu lieu bien plus tôt (Barre 1954, repris par Burrell 1974). Il semble bien en fait que la véritable raison de ce retard, c'est que dans la ventilation du grain en couche épaisse, les résultats étaient difficilement prévisibles, et parfois contraires au but recherché, faute d'une compréhension claire des phénomènes. Il fallut attendre que la ventilation devienne la solution indiscutablement la plus économique et la plus sûre pour que soient entreprises les recherches qui devaient conduire à l'élaboration de procédures donnant des résultats prévisibles, dans le milieu des années 1960.

Les connaissances mises en oeuvre dans la pratique de la conservation des grains portent sur les points suivants :

- l'état et la qualité du grain,
- les facteurs isolables de détérioration (ravageurs, maladies parasitaires...) et les moyens spécifiques de lutte,
- le comportement global du grain stocké en fonction des conditions physiques ambiantes,
- les techniques de conservation et leurs effets,
- la destination des grains, les modalités de transaction et les partenaires économiques.

Bien entendu, notre but ici n'est pas d'inventorier toutes ces connaissances, ce qui reviendrait à écrire un traité qui n'est évidemment pas de notre compétence. Notre but est seulement d'essayer de comprendre comment certaines de ces connaissances interviennent (ou n'interviennent pas) dans la pratique et dans son évolution.

D'autre part, nous distinguerons autant que possible les connaissances acquises et transmises dans la pratique, qualifiées souvent de "traditionnelles", de celles qui procèdent de recherches systématiques dans des conditions qui ne sont pas celles de la pratique proprement dite, et qui sont souvent qualifiées de "scientifiques". Naturellement, la frontière qui les sépare est loin d'être toujours bien nette.

Enfin, nous ne ferons pas de rubrique distincte pour le dernier point (la destination des grains). Il en sera question peu ou prou dans les autres rubriques, et dans la partie consacrée aux aspects économiques. Si nous l'avons mentionné ici, c'est surtout parce qu'il ne faut pas oublier que son importance dans la pratique n'est en rien inférieure à celle des autres.

L'état et la qualité du grain.

L'appréciation de l'état et de la qualité du grain se fait :

- lors des transactions, on parle alors de réception du grain,
- et lors de contrôles plus ou moins espacés dans le temps en cours de stockage.

La réception du grain est probablement l'opération la plus essentielle que comporte une transaction. Traditionnellement, tous les sens sont mis à contribution pour tâter le grain :

- la vue d'abord, aspect (terne ou brillant), propreté et présence d'im-

puretés, d'insectes, de grains attaqués etc., couleur, état du germe, moisissures...

- le toucher: le grain a plus ou moins de main suivant qu'il est plus ou moins fluide lorsqu'on le prend à poignée; l'absence de main caractérise un grain récolté dans de mauvaises conditions, poussiéreux, humide; suivant son degré d'humidité. le grain est sec, gourd (dur à la main) ou humide, gradation qu'on retrouve exactement en allemand (trocken - klamm - feucht) et en anglais (dry - tough - damp), où les termes tough et damp correspondent à des limites précises d'humidité (entre 13,5 et 16 % pour tough, au delà de 16 % pour damp pour le blé aux Etats-Unis: Bauwin et Ryan 1974); l'humidité s'apprécie aussi en cassant le grain entre les dents;

- l'odorat: le grain lorsqu'il est en bon état est dépourvu de flair;

- l'ouïe: la chute du grain sur le sol doit rendre un son clair, ni mat, ni sourd ni étouffé...

La réglementation européenne actuelle reprend implicitement tous ces critères lorsqu'elle spécifie que le grain doit être "sain, loyal et marchand, exempt de flair et de prédateurs vivants, d'une couleur propre à [chaque] céréale et d'une qualité correspondant à la qualité moyenne du [grain] récolté dans la Communauté dans des conditions normales." (Règlement N° 2731/75, in: ONIC 1977.)

A tous ces critères qualitatifs s'est ajouté très tôt un critère quantitatif, celui du poids spécifique, complément évidemment indispensable de toute transaction lorsque celles-ci se faisaient au boisseau, au setier, ou plus tard à l'hectolitre, c'est-à-dire en volume. Avec la vente au poids, on aurait pu penser que le critère du poids spécifique perdrait de son intérêt: il n'en est rien, car il reste un indice synthétique très significatif au point de vue qualité, en même temps qu'un des plus faciles à mesurer (Nuret 1979).

Le second critère à avoir été quantifié après le poids spécifique est sans doute le taux d'humidité. Au XVIII^e siècle, Duhamel du Monceau avait déjà mesuré à l'étuve l'humidité de quelques échantillons, mais c'est seulement vers 1850, semble-t-il, qu'on commence à l'imiter en France: Doyère est probablement un des premiers à pratiquer couramment la mesure de l'humidité du grain. La limite supérieure qu'il indique pour une bonne aptitude à la conservation - 16 % - est toujours celle qui figure dans les normes européennes pour les céréales à paille (elle est de 15 % pour le maïs). Mais le problème de l'humidité est beaucoup trop important

et complexe pour qu'on puisse le ramener à la seule question de ce taux-limite, qui est d'ailleurs elle-même loin d'être simple. L'humidité et sa mesure dans les grains ont fait l'objet de toute une littérature spécifique, que nous ne pouvons pas présenter ici. Car dans la pratique, un bon déroulement des transactions exige que l'humidité soit bien connue, c'est-à-dire que sa mesure soit rapide, précise et sûre. Or, ces conditions ne sont pas encore complètement réunies, pour les deux raisons suivantes:

- il n'y a pas de méthode normalisée d'échantillonnage en France (et on imagine immédiatement ce que cela comporte comme conséquences...),
- rapidité et précision de la mesure de l'humidité d'un échantillon donné sont contradictoires: la précision est d'autant meilleure que le délai est plus long, et vice versa; les appareils rapides donnent une précision de deux points, alors que les appareils lents vont jusqu'à 0,2 points (Poichotte).

Dans ces circonstances, le rôle de l'appréciation de l'humidité à la main reste non négligeable. Tous les professionnels que nous avons consultés nous ont dit pouvoir apprécier l'humidité d'un lot de grain à moins d'un point près (après, le cas échéant, une période de quelques jours pour se "refaire la main" en début de campagne). On peut se demander si ce n'est pas dans cette direction - combinaison de l'expertise individuelle avec l'utilisation contrôlée des appareils - qu'il faudrait rechercher des améliorations.

Il y a d'ailleurs un autre point sur lequel cette expertise reste indispensable, c'est l'appréciation de l'état de maturité du grain. Si en effet l'humidité est un facteur primordial pour juger de l'aptitude à la conservation d'un lot de grain, son degré de maturité est à peu près aussi important dans la pratique. A humidité comparable, en effet, un grain insuffisamment mûr sera beaucoup plus difficile à conserver, et même à sécher, qu'un grain bien mûr mais qui aurait reçu de la pluie à la récolte. Cette donnée d'expérience, qui nous a été indiquée par plusieurs professionnels, ne semble pas avoir fait l'objet de recherches importantes. Elle n'est pas abordée dans les ouvrages récents les plus importants (Multon et Guilbot éd. 1973; Christensen ed. 1974). La seule référence que nous avons trouvée à ce sujet confirme que le tégument des grains incomplètement mûrs a une résistance diminuée aux infestations microbiennes (Pelhate 1968).

Tout ce qui précède concerne ce qu'il conviendrait d'appeler l'état du grain, ou son aptitude à la conservation, plutôt que sa qualité. Du point de vue des chercheurs, du reste, "cette notion de qualité est difficile à définir, elle ne présente en soi aucun sens précis" (Multon et al. 1973). Elle dépend en effet de la destination finale du grain, et met en oeuvre des critères infiniment plus nombreux et complexes, la seule méthode vraiment sûre d'appréciation étant alors l'essai en semi-grandeur (essai de panification par exemple). C'est un domaine dans lequel nous ne pouvons pas entrer ici. Cela dit, il faut noter toutefois qu'il y a des différences significatives entre les différents pays sur le plan des politiques de ce qu'il faut bien appeler, faute de mieux, la qualité des grains, et qui portent sur deux points essentiellement: le classement, et le paiement à la qualité. Aux Etats-Unis, par exemple, on a vu que le développement du grand commerce avait conduit dès 1857 à des systèmes de classement normalisés, unifiés au niveau fédéral en 1916 (Lee 1937), la formation des prix étant en principe libre sur la base des différents grades. Le système actuel a été refondu en 1968 (Bauwin et Ryan 1974). En Europe, les règlements de la CEE définissent les normes de qualité applicables aux grains proposés pour l'intervention, normes qui sont précisées chaque année par une circulaire que diffuse en France l'ONIC. Mais ces normes, qui sont des seuils d'acceptabilité, ne constituent pas en elles-mêmes une politique de qualité. Il y a longtemps que l'utilité d'une telle politique a été ressentie (Rebiffé 1955); avec les changements en cours actuellement sur le marché international des céréales, sa nécessité est ressentie de façon de plus en plus pressante (Mouchard 1979).

Une des conséquences de cette simple politique de normes est de maintenir artificiellement, pour ainsi dire, la qualité moyenne des céréales échangées à un niveau inférieur à celui que permettent les techniques actuelles de séchage et de nettoyage. En effet, le souci dominant des vendeurs est toujours de fournir du grain "aux normes", pas moins mais pas plus. Lorsque, ce qui arrive couramment, la qualité d'un lot est supérieure aux normes, on y ajoute du grain de qualité inférieure dans une proportion juste suffisante pour que le mélange final soit juste "aux normes". L'opération n'a en soi rien de répréhensible, et le mélange des blés de qualité différente est même une des bases de l'art du meunier. Lorsqu'il est le fait de l'utilisateur, toutefois, le mélange des blés a un but précis, et consiste plutôt à tirer parti de qualités différentes

voire complémentaires, qu'à mélanger du bon et du mauvais pour faire du moyen. Le plus grand reproche qu'on puisse faire à la pratique du mélange avant l'utilisation, c'est qu'elle réunit des qualités qui étaient auparavant séparées, et qu'il faudra peut-être séparer à nouveau pour les utiliser. C'est aussi que la limite est bien floue entre mélanges légitimes pour ainsi dire, et ceux qui le sont moins. Le problème est probablement aussi vieux que le commerce des grains, d'ailleurs. Dans les élévateurs flottants du port de Dunkerque, par exemple, dont nous avons parlé plus haut (p. 42), le grain était automatiquement nettoyé, pesé et mis en sacs. "On peut donc livrer le grain à peu près nettoyé et les poussières à part", ajoute Richard (1924), "mais si l'acheteur le désire, une vis d'Archimède permet d'y réincorporer les poussières... Malheureusement, les négociants demandent presque toujours cette opération..."

Il s'agissait jusqu'ici de l'appréciation de l'état et de la qualité du grain à l'occasion de transactions (réception). L'importance des contrôles en cours de stockage n'est pas moindre, et a peut-être des répercussions plus importantes encore sur les pratiques techniques en matière de conservation.

C'est par exemple pour pouvoir contrôler l'état du grain à tout moment que l'ONIC refuse les méthodes du point froid et de l'atmosphère confinée ou contrôlée pour les stockages qui sont de son ressort (Hesnard). Réciproquement, un des usages de la ventilation en cellule, et non des moindres, est le contrôle du grain: c'est une pratique courante de mettre en marche la ventilation dans le seul but d'apprécier, à l'odeur et à la température de l'air, si tout va bien à l'intérieur. Là encore, il s'agit d'une pratique qui n'a fait l'objet d'aucune recherche, semble-t-il, les recherches actuelles sur les méthodes de contrôle s'orientant plutôt vers l'équipement des cellules en thermomètres ("silothermométrie"). Mais cette méthode ne peut pas non plus tout résoudre (Multon et Lasseran 1974). Il est clair que les contrôles sont plus difficiles en stockage vertical qu'en stockage horizontal, étant donné l'impossibilité pratique d'atteindre le grain par sondage au delà de trois mètres environ. Dans ces conditions, sauf à vider entièrement la cellule, la ventilation-diagnostic est la seule solution.

Les facteurs isolables de détérioration.

Les facteurs de détérioration des grains stockés sont nombreux et interdépendants. Parmi eux, certains ont été identifiés très tôt dans la pratique: ce sont les animaux, rongeurs, insectes, plus récemment acariens. Depuis les années 1930 et surtout 1940, on a en outre identifié les micro-organismes les plus importants, ainsi que certaines de réactions internes (enzymatiques) qui peuvent concourir à la détérioration des grains stockés. Les moyens généraux de contrôle du milieu ambiant ont évidemment une action sur ces facteurs de détérioration identifiables. Mais indépendamment de ces moyens, on a vu qu'il existait des techniques de préservation spécifiques, visant tel ou tel d'entre eux, principalement les insectes.

Ici encore, il ne s'agit pas dans ce qui suit d'inventorier nos connaissances sur les ennemis des grains, mais seulement de voir quelles ont été les relations entre le développement de ces connaissances et celui du stockage lui-même.

Insectes et Acariens.

Les questions qui se posent à leur sujet peuvent être réparties ainsi:

- identification des espèces et des stades de développement,
- histoire,
- biologie, comportement,
- les insecticides: efficacité, résidus et nocivité, sélection de populations résistantes,
- autres méthodes de lutte.

Bien que les insectes des grains stockés appartiennent à un nombre d'espèces relativement faible, tous les problèmes d'identification ne sont pas nécessairement résolus. Il n'y a que quelques années, par exemple, qu'on sait distinguer Sitophilus zeamais Motsch. de Sitophilus oryzae L., et Acarus farris Oudemans et A. immobolis Griffiths d'Acarus siro L. (Cotton et Wilbur 1974; Fleurat-Lessard 1976). Or, ces distinctions sont importantes car ces espèces morphologiquement semblables peuvent avoir des biologies assez différentes. Tout aussi importante est l'identification des stades de développement et des formes de résistance (la forme hypope chez les Acariens par exemple), car la résistance d'une population aux insecticides dépend du plus résistant de ces stades. Chez les Charançons, un auteur a dû distinguer jusqu'à onze stades différents, de l'oeuf à

l'adulte, pour une étude précise de cette résistance (Storey 1975).

L'histoire des insectes des grains a un double intérêt. Sur le plan des sciences humaines, ces insectes sont liés aux activités de transport et de stockage des hommes, et participent à leur histoire: c'est à ce titre que plusieurs travaux sur l'archéologie des insectes des denrées ont été publiés ces dernières années (Solomon 1965; Osborne 1977). Un cas particulier important est évidemment celui des infestations de caractère épidémique qui se sont produites dans l'histoire, avec parfois de très graves conséquences: l'exemple classique est celui de l'alucite au XVIII^e siècle (Stockel 1967), mais plus près de nous, Trogoderma granarium Everts a fait aussi son apparition dans des régions où il n'existait pas auparavant (vers 1950 aux Etats-Unis). Le temps, la durée, est un facteur à prendre en compte sur le plan économique, car il faut toujours un certain temps pour qu'un problème d'infestation prenne toute son ampleur après que des conditions nouvelles ont été créées: on peut se demander si ce n'est pas ce qui est en train d'arriver avec les Acariens dans les régions tempérées - froides. Mais l'histoire a aussi un intérêt plus directement biologique, quand elle nous renseigne sur l'aire d'origine d'une espèce (certaines sont inconnues à l'état sauvage, comme le Charançon commun, *Sitophilus granarius* L.), sur les étapes de sa diffusion, sur la disparition ou le passage au second plan de certaines autres en fonction des changements dans les milieux du stockage, etc.

Dans le domaine plus proprement biologique, on peut, nous semble-t-il, distinguer les connaissances sur les conditions de milieu, qui sont développées, et celles sur les mécanismes physiologiques internes, qui paraissent l'être beaucoup moins. C'est ainsi que les conditions optimales, minimales et létales de température/humidité sont connues avec précision pour beaucoup d'espèces importantes, de même que leur comportement alimentaire, leur reproduction, etc. Mais nous avons vu ailleurs que les mécanismes de la respiration chez les insectes, certainement très différents de ce qu'ils sont chez les Vertébrés, sont très mal connus, en dehors de ce que nous en ont appris les recherches sur l'ensilage hermétique (Sigaut 1978); les mécanismes d'action des insecticides ne paraissent d'ailleurs guère mieux compris. Les tactismes (par exemple: l'attraction des charançons pour l'eau) n'ont été également que fort peu étudiés (Yinon et Shulov 1969), alors que certains d'entre eux étaient connus des paysans depuis fort longtemps: en particulier, nous ne connaissons aucune étude sur le comportement des insectes dans une atmosphère pré-

sentant un gradient dans la teneur en oxygène ou en acide carbonique. Mais même la première question qui vient à l'esprit d'un point de vue écologique reste sans réponse. Le nombre d'espèces adaptées à la vie dans les denrées stockées est en effet très faible, au regard du nombre total d'espèces d'insectes: Vayssière (1958-1958) avance le chiffre de 500, mais pour les grains en particulier, Cotton et Wilbur ne retiennent que 19 espèces majeures, et 24 espèces secondaires. Le même décalage s'observe dans les micro-organismes, le nombre de moisissures spécialement adaptées aux milieux du stockage étant lui aussi relativement faible (une vingtaine d'espèces ou de groupes: Christensen 1974). Or, dans les deux cas, c'est bien, semble-t-il, le manque relatif d'eau qui sélectionne ces espèces. Un auteur a noté que la teneur en eau des insectes des denrées n'était que de 46 à 50 %, contre 60 à 85 % pour les insectes phytophages ordinaires (Lepesme 1945). Quels sont les mécanismes physiologiques qui permettent une telle adaptation? Nous n'avons pas trouvé de recherches publiées sur ce point.

L'emploi des insecticides chimiques remonte au milieu du siècle dernier, avec le sulfure de carbone en France, et la poudre de Pyrèthre aurait été introduite aux Etats-Unis vers la même époque (Harein et Las Casas 1974; Bond et Monro 1967). Plus tard, et notamment entre les deux guerres, on a utilisé notamment l'acide cyanhydrique, le tétrachlorure de carbone, la chloropicrine, l'oxyde d'éthylène et son dérivé le bromure de méthyle, etc. (Vayssière 1959). Tous ces produits présentaient des dangers notables, soit par leur toxicité pour les humains, soit par leur inflammabilité, etc. Après la guerre apparaissent le DDT puis d'autres insecticides beaucoup plus spécifiques, c'est-à-dire beaucoup moins toxiques en principe pour les mammifères. Dans les stocks de grain, on utilise successivement le lindane, puis le malathion; vers 1970 apparaissent le phosphore d'hydrogène, le dichlorvos... (Anglade 1970; Buquet 1974; Harein et Las Casas 1974). Tous ces produits diffèrent par leur toxicité, leur mode d'action (par contact, ou en pénétrant dans le grain), leur mode d'application (poudrage, pulvérisation, nébulisation, fumigation...), leur rémanence, leurs résidus, etc. En outre, leur efficacité dépend des conditions ambiantes (température, humidité, présence d'oxygène, de gaz carbonique...). Il faut, enfin, vérifier qu'ils n'ont pas d'effet sur les qualités du grain, son pouvoir germinatif... Tout cela constitue un corps de connaissances extrêmement étendu. Nous n'en retiendrons cependant que les points suivants.

1) Dans toute la littérature que nous avons consultée sur les insectes des grains stockés, nous n'avons pratiquement rien trouvé sur les mécanismes physiologiques qui entrent en jeu dans l'action des insecticides, hormis quelques allusions au fait que ces mécanismes intéressent la respiration. La presque totalité des travaux de recherche sont de nature empirique. On peut se demander s'il n'y a pas là un goulot d'étranglement vers la recherche de techniques plus efficaces.

2) L'efficacité des insecticides dépend, semble-t-il, de l'activité des insectes. Elle est minimale, par exemple, à basse température, d'où une plus grande résistance de la part des espèces adaptées au froid. De même, des doses trop fortes seraient plus narcotiques que toxiques (Nakata et al. 1974). La présence d'oxygène et celle de gaz carbonique, qui tous deux activent la respiration des insectes, quoique de façon différente, accroît en général l'efficacité des insecticides (Bond et Monro 1967; Calderon et Carmi 1972; Navarro et Calderon 1975; Spratt 1975). L'humidité, par contre, affaiblit l'action de la plupart d'entre eux — le malathion surtout, qui n'est déjà plus complètement efficace dans un blé dont l'humidité atteint 14 % (Anglade 1970).

3) Or, il est important que l'efficacité d'une application d'insecticide soit aussi totale que possible (100 % de mortalité), à la fois pour satisfaire aux normes, et pour éviter soit les réinfestations (dangereuses par elles-mêmes et parce qu'elles sélectionnent les souches résistantes), soit les applications répétées laissant de plus en plus de résidus. D'où l'importance cardinale du contrôle des conditions d'application.

4) Le fait que la composition de l'atmosphère — proportion d'oxygène, de gaz carbonique, de vapeur d'eau — intervient pour modifier l'action des insecticides, indique que pour le seul emploi optimal de ceux-ci, le problème technique du contrôle de l'atmosphère intergranulaire, c'est-à-dire de l'étanchéité aux gaz de la capacité, peut se poser. Le gaz carbonique lui-même a du reste été utilisé comme insecticide en Australie à partir de 1918 ("Wheat Pests Problem" 1921; Bailey 1955): c'est une des origines du développement de l'ensilage hermétique dans ce pays.

5) Tout ce qui précède permet de comprendre l'importance du problème des Acariens dans les climats frais. Ces derniers en effet se développent essentiellement dans les magasins ventilés, c'est-à-dire dans des conditions (températures assez basses, humidité assez élevée) qui sont précisément celles de moindre efficacité des insecticides. Il n'y a du reste pas d'acaricides spécifiques, et l'existence de formes en vie ralentie,

combinée à l'énorme capacité de prolifération des Acariens (très supérieure à celle des Insectes, pourtant elle-même assez spectaculaire), permet aux populations de se reconstituer très vite à partir d'un petit nombre de survivants.

L'emploi des insecticides modernes a permis de réduire à des taux négligeables, statistiquement parlant, les pertes dues aux Insectes et aux Acariens dans les pays industrialisés. On voit cependant que le problème n'est pas définitivement résolu. Il évolue avec le temps, car il faut du temps pour que se développent des populations adaptées aux nouveaux milieux de stockage, et notamment pour qu'apparaissent des populations résistantes aux nouveaux insecticides. Un relâchement de l'attention et de la recherche dans ce domaine ne tarderait pas à avoir de sérieuses conséquences: c'est en fait une éventualité difficilement imaginable.

Nous avons mentionné plus haut (p. 32; voir aussi Sigaut 1978) les méthodes de lutte autres que les insecticides chimiques: chaleur, froid, action mécanique, atmosphère confinée, couche de sable, poudres abrasives, ingrédients répulsifs ou létiaux divers... Certaines d'entre elles sont les seules à faire appel à des connaissances sur le comportement des insectes, connaissances traditionnelles et qui n'ont fait l'objet que de bien peu de recherches (de Luca). Deux d'entre elles nous semblent particulièrement importantes, notamment dans les pays tropicaux et sub-tropicaux:

- la chaleur: on sait au moins depuis le XVIII^e siècle qu'une température de 50° C pendant quelques heures est létale pour tous les Insectes et Acariens (Cailleau 1788; Vayssière 1959); une telle température, sans inconvénients pour les grains non panifiables, est assez facile à réaliser dans les pays chauds, l'insolation directe peut même y suffire parfois;
- l'atmosphère confinée ou désoxygénée (azote, gaz carbonique), dont il a déjà été souvent question, et sur laquelle nous reviendrons.

Toutefois, ces méthodes ne peuvent pas remplacer complètement les insecticides pour la désinfestation des locaux eux-mêmes et des contenants de transport (sacs, machinerie, véhicules). qui peuvent être une source majeure de réinfestations. On a bien proposé de désinfecter les moulins par l'emploi du chauffage au plus chaud de l'été, ce qui suffit à atteindre les 50° C nécessaires, et la méthode aurait été assez couramment utilisée en Amérique (Vayssière 1959). Mais elle n'est évidemment pas appli-

cable partout.

Micro-organismes.

Si la présence de moisissures dans les grains stockés est un indice de détérioration connu depuis toujours, c'est seulement dans les années 1940 et 1950 que deux points importants ont été établis:

- c'est la respiration des moisissures, et non celle des grains, qui s'accélère rapidement lorsque l'humidité dépasse 15-16 % (et la température une vingtaine de degrés), et qui provoque le phénomène redouté de l'échauffement;
- il existe un petit nombre d'espèces spécialement adaptées aux milieux du stockage; elles sont capables de se développer à partir d'une humidité relative de 75 %, voire inférieure (correspondant à une humidité de 14,5 % du grain de blé), alors que les espèces champêtres ont besoin d'une humidité relative de plus de 90 %.

En fait, la limite entre la microflore du champ et celle des stocks n'est pas aussi tranchée, et actuellement J. Pelhate (1968) distingue entre les deux une microflore intermédiaire. Dans le grain sec rentré en magasin ou en silo, la flore du champ disparaît rapidement au profit de la flore de stockage, d'autant plus rapidement que celle-ci est présente dans les locaux, et que c'est à partir de ceux-ci que se produit l'essentiel de la contamination des grains nouveaux.

D'autres micro-organismes que les moisissures interviennent au cours du stockage. Mais ils le font soit à un stade de dégradation déjà trop avancé pour avoir un intérêt, soit dans des conditions particulières. Les bactéries et les levures, notamment, ont besoin d'une humidité relative proche de la saturation pour se développer, et ne représentent donc une cause possible de détérioration que dans les grains très humides, c'est-à-dire en atmosphère confinée (celle-ci étant la seule possibilité de conserver quelque temps des grains humides).

Outre leur rôle dans la détérioration des grains, les micro-organismes et en particulier les moisissures représentent des risques de toxicité pour les hommes et pour les animaux:

- par leurs spores, qui peuvent provoquer des réactions allergiques, voire certaines maladies (pulmonaires en particulier),
- par leurs toxines, dont les effets sont très divers; les risques de perte de fécondité, voire d'avortement, sont une des limites à l'emploi de grains conservés humides dans l'alimentation des animaux.

C'est par le contrôle du milieu ambiant qu'on cherche à limiter les

dégâts dûs aux micro-organismes. Les deux seules méthodes qui ont été essayées en vue d'une action spécifique sont l'emploi de substances fongicides ou fongistatiques, et l'alcalinisation du milieu (méthode Legendre). Nous y avons déjà fait plusieurs allusions (pp. 32, 57). Une centaine de substances fongicides avaient été essayées par Milner et al. en 1947, sans succès. La question est revenue à l'ordre du jour avec l'emploi en combinaison d'acide propionique et du stockage en atmosphère confinée dans les années 1965 en Grande-Bretagne. En fait l'acide propionique n'est que l'un des représentants d'une famille d'acides organiques (les acides formiques, sorbique, acétique, etc.) qui ont tous une action différente sur la microflore de stockage. La complexité de cette action a été mise en évidence par Pelhate (1973).

Réactions enzymatiques et chimiques.

Les réactions enzymatiques n'interviennent normalement guère au cours du stockage. Leur importance est surtout qu'elles limitent dans certains cas la température de séchage par exemple (céréales panifiables). Quant aux réactions chimiques, on peut signaler que c'est à la réaction de Maillard (entre les protéines et certains sucres en milieu peu hydraté, mais à température assez élevée, 20 à 30° C) qu'a été imputé le phénomène du "sick wheat", observé depuis le début des années 1920 aux Etats-Unis. Il s'agit d'un brunissement du germe, qui est d'ailleurs très vite envahi par des moisissures, si bien que la cause initiale du phénomène reste hypothétique (Pomeranz 1974; Christensen et Kaufmann 1974).

Le comportement du grain stocké en fonction des conditions physiques.

Les connaissances sur le comportement du grain stocké sont celles qui permettent de prévoir l'évolution d'une masse de grains donnée en fonction de l'état dans lequel elle se trouve, des conditions ambiantes et de l'évolution prévisibles de celles-ci. On a évidemment toujours su que le grain risquait de se détériorer d'autant plus vite que sa température et son humidité sont plus élevées, les limites dangereuses étant données par l'expérience avec, autant qu'on puisse en juger maintenant, une assez bonne précision. Le phénomène le plus redouté était celui de l'échauffement, facilement décelable lorsque le grain était conservé en greniers (en marchant pieds nus sur le tas par exemple: R. Laurans, comm. pers.).

Cependant, lorsqu'un échauffement est perceptible, une certaine détérioration a déjà eu lieu. Pour l'éviter, il aurait fallu disposer de moyens de diagnostic plus fins, ce qui n'était guère possible sans une meilleure compréhension des phénomènes faisant nécessairement intervenir des notions physiques plus précises. C'est ce qui a pratiquement été l'objet principal des recherches sur le comportement des grains stockés dans les soixante dernières années. Pendant longtemps, ces recherches n'ont pas permis d'améliorer beaucoup les méthodes de diagnostic et de décision des praticiens. On peut dire que c'est seulement dans les années 1950, et surtout dans les années 1960, que des résultats permettant d'améliorer les conditions de la pratique ont été établis.

Nous aurions souhaité, comme nous l'avons fait pour les techniques proprement dites, parvenir à identifier précisément les connaissances relatives au comportement des grains stockés, pour pouvoir reconstituer la chronologie de leur apparition et de leur diffusion. Nous n'avons pas encore pu achever ce travail. Aussi ne présentons-nous ici qu'un état sommaire et provisoire de la question.

Deux remarques préliminaires tout d'abord.

1) Les modifications biochimiques susceptibles d'affecter la qualité des grains en cours de stockage se traduisent presque toujours par un dégagement de chaleur, de vapeur d'eau et de gaz carbonique dû à l'activité des micro-organismes ou du grain lui-même (respiration, fermentations). Inversement, la température, l'humidité et la composition gazeuse de l'atmosphère conditionnent étroitement la nature et la vitesse de ces modifications. D'un point de vue d'ensemble par conséquent, le problème revient pour l'essentiel à établir des relations entre l'état final du grain et quatre facteurs physiques: température, humidité, quantité relative de certains gaz (oxygène, acide carbonique...) et temps.

2) Le grain en vrac est un bon isolant. Plus une masse de grains est importante, donc, et plus les conditions de température et d'humidité qui y règnent peuvent s'écarter de celles qui règnent à l'extérieur (c'est beaucoup moins vrai en ce qui concerne la composition gazeuse de l'atmosphère intergranulaire, sauf si celle-ci est artificiellement confinée). D'où la nécessité de distinguer deux échelles pour le déroulement des phénomènes:

- l'échelle élémentaire, lorsque la masse de grains est trop petite pour que des conditions différentes de celles de l'ambiance extérieure puissent s'y maintenir longtemps,

- l'échelle du grain en masse importante, où les conditions physiques dépendent plus de l'état initial et de l'évolution du grain que des conditions extérieures.

L'échelle élémentaire est à la fois celle où se déroulent les phénomènes qui affectent la qualité du grain, et celle où il est possible de les étudier dans des conditions contrôlées reproductibles sans difficultés spéciales au laboratoire. Par contre, c'est à l'échelle des grandes masses de grain que se situent les problèmes de la pratique: il est beaucoup plus difficile d'en connaître, et à plus forte raison d'en contrôler et d'en reproduire les conditions. Cette difficulté est assez banale toutefois dans la plupart des sciences biologiques, et on s'efforce en général de la résoudre en complétant les recherches proprement expérimentales par des observations de terrain faisant appel à des méthodes de plus en plus précises et élaborées. Or, assez curieusement, cela ne semble pas être le cas dans le domaine de la conservation des grains. Il y a eu certes des expériences en semi-grandeur, se rapprochant assez des conditions de la pratique. On trouve aussi assez souvent des indications sommaires sur ce qui s'est passé ici ou là telle ou telle année. Mais nous n'avons trouvé aucune trace d'enquêtes ou de campagnes d'observations suivies et méthodiques dans la littérature, que ce soit en France ou à l'étranger. La réalité de cette lacune nous a été confirmée par une des personnes consultées (J.-L. Poichotte).

Il n'est pas question d'énumérer ici les résultats qui ont été obtenus depuis cinquante ou soixante ans qu'ont commencé les premières recherches sur la conservation des grains. Nous ne mentionnerons que deux séries de documents particulièrement fondamentaux, à la fois par l'utilisation qui en est faite dans la pratique, et par leur valeur de synthèse (ils rassemblent en effet un grand nombre de résultats sous forme graphique): les courbes de sorption, et les diagrammes de conservation.

Les courbes de sorption caractérisent l'hygroscopicité du grain, c'est-à-dire sa capacité d'échanger de l'eau sous forme de vapeur avec l'atmosphère; elles correspondent à la relation d'équilibre entre la teneur en eau des grains et l'humidité relative de l'atmosphère ambiante à une température donnée. En fait d'ailleurs, cet équilibre ne dépend qu'assez peu de la température: il dépend davantage de la façon dont l'équilibre est atteint, soit à partir de grains plus secs que l'air (adsorption), soit au contraire à partir de grains plus humides que l'air (désorption).

Dans la pratique, ce sont les courbes de désorption qui sont les plus utilisées, le séchage d'un grain trop humide étant plus fréquent que l'inverse (qui se pratique aussi toutefois, mais uniquement en vue de la mouture). Nous avons vu que l'hygroscopicité des grains avait été étudiée par Schribaux en 1912, qui cependant n'était pas allé jusqu'à établir une courbe. Les premières ont été établies aux Etats-Unis en 1925, et il semble que la plupart des espèces de céréales et d'oléagineux avaient la leur en 1940. De nombreuses semences d'espèces diverses ont en outre été étudiées depuis (Sijbring 1963). Il ne semble pas que les courbes de sorption aient été connues en France avant les années 1950, au moins n'en avons-nous trouvé aucune trace. La première que nous avons trouvée dans un ouvrage européen figure dans le livre d'Hoffmann et Mohs (1931). L'importance des courbes de sorption tient à ce qu'elles décrivent le phénomène le plus fondamental peut-être de tous ceux auxquels donne lieu le stockage, car de lui dépendent tous les autres: l'échange d'eau entre l'air et les grains. Hoffmann et Mohs situaient à 80 % d'humidité relative (environ 16,5 % de teneur en eau du blé) le seuil de développement des moisissures. Mais Milner et Geddes (1946) ont montré que ce seuil était plutôt de 75 % pour la plupart des moisissures des stocks (humidités correspondantes: 14,5 % pour le blé, 10,5 % pour le lin): il est même de 65 % (blé: 14 %) pour plusieurs d'entre elles (*Aspergillus flavus*, *A. candidus* et *A. restrictus*). Outre ces seuils, qui dépendent également de la température, mais dans une moindre mesure, la connaissance des courbes de sorption est essentielle pour interpréter ce qui se passe lors des deux opérations de conservation les plus importantes, le séchage et la ventilation.

La vapeur d'eau est assurément le gaz le plus important que les grains échangent avec l'atmosphère, mais ce n'est pas le seul. D'assez nombreux chercheurs ont remarqué, depuis Dendy et Elkington (1920), que le grain est également capable d'adsorber du gaz carbonique en quantité notable; cette propriété a même été mise à profit pour l'élaboration d'une technique d'emballage étanche de produits céréaliers (Mitsuda et al. 1973). Pourtant, il n'y a eu que fort peu d'études sur ce phénomène en dehors des auteurs précités (on peut leur ajouter Hoffmann et Mohs 1931), et aucune n'a été assez complète pour donner matière à l'établissement de courbes de sorption. Or, la pression partielle d'acide carbonique dans l'atmosphère qui entoure les grains a des conséquences non négligeables et d'ailleurs mal comprises sur des phénomènes tels que la dormance et

et la germination (Kidd 1914; Milner et al. 1947; Linko 1960), ou sur certaines réactions enzymatiques (Drapron 1964).

La même question de l'adsorption par le grain se pose aussi pour tous les autres gaz qui peuvent se rencontrer occasionnellement dans l'atmosphère, voire pour tous les gaz quels qu'ils soient, même si la réponse ne semble pas avoir d'intérêt pratique. Elle n'a jamais fait l'objet de recherches. On sait seulement que les grains sont aussi capables d'adsorber l'oxygène dans une certaine mesure, mais au contraire très peu l'azote.

Le premier diagramme de conservation à avoir été établi et utilisé en France est celui de Nuret (1935), que nous avons déjà cité (p. 50). Cette courbe faisait intervenir la température (en ordonnées) et l'humidité (en abscisses) du grain, mais pas la composition de l'atmosphère, ni le temps — elle délimitait seulement une zone de sécurité et une zone de danger dans l'hypothèse non explicite d'une atmosphère renouvelée. La même formule de représentation graphique a été reprise par Burges et Burrell en 1964 sous la même forme qualitative, en ce sens que ces auteurs ne cherchent pas non plus à donner une durée de conservation, mais à délimiter des zones de risques: ils distinguent pour celles-ci les risques de germination du grain, ceux d'échauffement par les moisissures, par les insectes et par les acariens. Le diagramme de Burges et Burrell est aujourd'hui repris dans tous les ouvrages généraux et de vulgarisation.

Cette formule graphique n'est évidemment pas la seule possible. Au lieu de se servir du système de coordonnées Température/Humidité pour délimiter des zones de risque, on peut l'utiliser pour établir des courbes d'égale durée prévisible de conservation sur la base d'un critère donné, autrement dit des isochrones. De telles isochrones ont été établies par Kreyger (1959) et par Poisson et Guilbot (1963); mais des données permettant d'en établir avaient déjà réunies par Kondo et Okamura dès 1930 pour le riz. D'autre part, il est encore possible, et cela a été fait, d'utiliser d'autres systèmes de coordonnées. On obtient alors:

- dans un système Humidité/Temps, des courbes isothermes,
- dans un système Température/Temps, des courbes isohydrés.

De nombreux graphiques de conservation relevant de ces divers systèmes figurent dans Poisson et Guilbot (1963) et Lasseran et Poichotte (1973). Il est évident qu'un des aspects les plus importants est la question du choix des critères qui permettent de définir des durées de conservation. Ces critères sont nombreux: perte de poids, dégagement cumulé de CO₂, capacité germinative (95 % pour l'orge de brasserie, 70 % pour les céréa-

les panifiables), odeurs, activité ou non-activité de certaines enzymes (Linko 1960), modification dans les propriétés des protéines (caractères de la pâte en boulangerie en particulier), vitamines, nombre de germes bactériens ou fongiques... Autant de critères, autant de résultats différents dans l'évaluation des durées de conservation.

Il faudrait en fait classer les recherches sur la durée de conservation des grains en fonction de ces critères et en fonction des facteurs physiques qu'elles prennent en compte et de la façon dont elles les combinent. Nous n'avons pas pu encore entreprendre ce travail. Il faudrait aussi faire intervenir la durée effective des expérimentations, car il n'est pas toujours facile de savoir si les résultats annoncés pour de longues durées ont été obtenus par expérience directe ou par extrapolation: les expériences de très longue durée sont rares (Pixton et al. 1975). Notons enfin que si l'atmosphère confinée a été prise en compte dans un bon nombre de cas (Kondō et Okamura 1930; Kreyger 1963; Poisson et Guilbot 1963), on ne dispose d'aucune donnée permettant d'établir des diagrammes de conservation dans des conditions de composition atmosphérique constantes et différentes de celle de l'air.

Courbes de sorption et diagrammes de conservation résument les relations entre les facteurs physiques qui gouvernent l'état de conservation du grain à l'échelle élémentaire, bien entendu. On peut admettre que ces relations sont encore valables à l'échelle d'une masse importante de grains, dans la mesure où celle-ci est homogène, dans la mesure surtout où elle le resterait durablement. Or, si la première condition est déjà difficile à réaliser, la seconde est à peu près impossible sans interventions régulières.

Il n'y a eu, nous l'avons dit, que très peu d'études précises des phénomènes survenant à cette échelle: nous n'en connaissons, pour la France, qu'un exemple: "Silothermométrie - Etude des transferts de chaleur et de vapeur d'eau dans un silo de grains en l'absence de ventilation", par Multon et Lasseran (1978). Les auteurs anglo-saxons y ont toutefois attaché davantage d'importance (par exemple: Robinson et al., in CNEEMA 1951, 75; Barre 1954; Burrell 1974). En gros, deux mécanismes sont à l'oeuvre dans une masse de grains importante contenue dans une cellule, qu'elle soit horizontale ou verticale:

- l'échauffement, c'est-à-dire la production de chaleur, mais aussi d'eau et d'acide carbonique, par les insectes ou par les moisissures,
- des transferts de chaleur et d'humidité, consécutifs soit à un échauf-

fement, soit à des écarts de température entre la masse du grain et les parois et le toit de la cellule.

L'échauffement par les insectes peut se produire dans un grain sec (11-12 % d'humidité), pourvu que la température soit suffisante au départ (-22° C). L'échauffement par les moisissures peut au contraire s'amorcer à température bien plus basse, à condition que l'humidité du grain dépasse 15 % au départ. Dans le premier cas, la température ne monte que jusqu'à 40-42° C, car à ce degré les insectes meurent ou quittent le point chaud. Mais dans le second, la température peut atteindre 50 à 60° C, degré auquel des réactions purement chimiques peuvent prendre le relais et porter la température à un degré encore plus élevé, éventuellement jusqu'à la combustion spontanée si l'oxygène est présent en quantité illimitée (Milner et Geddes 1946; Pomeranz 1974; Christensen et Kaufmann 1974; Cotton et Wilbur 1974). Dans tous les cas bien entendu, le grain échauffé perd ses qualités, jusqu'à devenir impropre à la consommation. Mais la gravité du phénomène tient surtout à sa capacité de se propager à partir d'un point chaud même de petites dimensions initialement. Dans tous les cas, l'échauffement produit de l'eau en même temps que de la chaleur et de l'acide carbonique (les quantités sont données par les équations chimiques classiques de l'oxydation des sucres ou des graisses), et s'il est assez intense, il peut provoquer des migrations d'humidité du point chaud vers les zones plus froides de la cellule, où le même processus peut alors recommencer. L'échauffement le plus dangereux est celui que provoquent les moisissures. Mais lorsqu'un échauffement par les insectes se poursuit un certain temps, il est bien rare que les moisissures ne prennent pas le relais. L'échauffement est un processus respiratoire strictement aérobie, impossible en l'absence d'oxygène, notamment en atmosphère confinée. Les conditions et les effets en sont bien connus, mais il reste difficile de prévoir et de contrôler son déroulement dans les conditions de la pratique (Multon et Lasseran 1974).

L'échauffement est une source de transferts d'eau et de chaleur à l'intérieur d'une cellule de grains. De tels transferts peuvent aussi se produire lorsqu'il y a un écart suffisant de température entre la masse de grain et les parois, écart lui-même déterminé par les variations saisonnières ou quotidiennes de la température extérieure alors que celle du grain ne change que lentement. Les deux manifestations les plus courantes de ces transferts sont:

- la condensation d'eau sous le toit de la cellule lors des nuits froides

et en hiver; c'est un effet classique de paroi froide, qui se produit assez rapidement; s'il est assez intense, de l'eau peut retomber en gouttes sur la surface du grain et y déterminer germination et moisissures; les dégâts, toutefois, restent limités car ils ne se propagent pas vers le bas; - des courants de convection le long des parois de la cellule, dont le sens varie selon que celles-ci sont plus froides ou plus chaudes que la masse du grain; le phénomène est assez lent semble-t-il, au contraire du précédent; mais s'il se prolonge suffisamment, il peut aboutir à des différences d'humidité de 4 à 6 points dans un grain initialement homogène (Barre 1954); il a même été observé un maximum de 30 % pour un minimum de 13 % dans une cellule horizontale de maïs (Robinson et al., in CNEEMA 1951, 75).

Condensations et convection peuvent se produire dans des cellules hermétiquement fermées, même si le phénomène biologique de l'échauffement ne s'y produit pas. Il s'agit en effet de processus purement physiques.

On pourrait résumer les connaissances sur le comportement des grains stockés en fonction des conditions du milieu ambiant de la façon suivante:

- 1. C'est le couple humidité-température qui définit la durée possible de conservation du grain dans une atmosphère de composition gazeuse donnée, cette durée étant fonction des critères de qualité retenus. Elle varie de quelques heures pour du maïs récolté à 35-40 % d'humidité, à plusieurs dizaines d'années pour du grain très sec (Whympers et Bradley 1947; Pixton et al. 1975) à température ambiante dans des climats tempérés. Les résultats acquis dans ce domaine sont résumés dans des diagrammes de conservation dont il existe différentes formules (isochrones, isothermes, isohydes).

- 2. Deux seuils importants sont:

- une humidité relative de 75 %, qui est la limite inférieure de développement de la plupart des moisissures des stocks (quelques espèces peuvent encore croître jusqu'à 65 % d'HR, limite à prendre en considération lorsqu'il s'agit de stockage à très long terme); la teneur en eau des grains dépend, pour chaque espèce (et même chaque variété), de l'humidité relative de l'atmosphère ambiante; elle est donnée, à l'équilibre, par les courbes de sorption; à 75 % d'HR, l'humidité du blé est voisine de 15 %;

- une température de 18° C, au dessus de laquelle certains insectes deviennent actifs et peuvent commencer à se reproduire rapidement, même dans du grain sec (11-12 % d'humidité).

- 3. Dans une masse importante de grains, située en principe en deçà des limites de sécurité, des dégradations peuvent toutefois se produire localement et se propager, sous l'effet soit d'échauffements ponctuels, soit de transferts d'eau et de chaleur eux-mêmes déterminés par des gradients de température à l'intérieur de la cellule.

Les techniques: mise en oeuvre, fonctionnement, résultats.

Les techniques, identifiées comme des schèmes d'action, sont, nous l'avons vu, relativement peu nombreuses. Les savoirs nécessaires à leur mise en oeuvre sont, eux, nombreux et complexes. C'est pour cette raison qu'ils sont le fait de spécialistes, dont la raréfaction par non-renouvellement hâte la disparition des techniques en déclin. "La meule présente l'inconvénient d'être une construction relativement difficile, les bons tasseurs se font de plus en plus rares", note Brétignière en 1937. Réciproquement, il faut pour que se diffusent de nouvelles techniques qu'il existe une classe de spécialistes capables d'élaborer dans le détail les savoirs nécessaires à leur mise en application. En France, en ce qui concerne le stockage de collecte, cette classe s'est constituée dans les années 1950 et 1960. Elle compte aujourd'hui probablement de l'ordre de 15 000 personnes (il y a en moyenne deux permanents par centre de collecte). Nous avons vu qu'une formation professionnelle ne leur était proposée que depuis 1975, par le CNEEMA et l'ITCF (Poichotte). Jusqu'alors, les responsables devaient tout apprendre sur le tas: "il fallait aimer ça", "j'étais un passionné", "j'aimais mon boulot avant tout", "c'était passionnant", est peut-être l'affirmation qui revient le plus souvent - 11 fois en deux heures - dans l'entretien que nous avons eu avec un de ces responsables, aujourd'hui à la retraite.

L'appréciation du rôle des connaissances dans la pratique technique se heurte à deux difficultés. La première, banale, est la rareté relative des informations. La seconde, plus spécifique, est celle qui consiste à estimer la valeur de ces informations par rapport à la réalité. Cela suppose en principe qu'on dispose d'un minimum de références, c'est-à-dire de résultats suffisamment fiables et contrôlés d'observations et d'expériences. Or, c'est rarement la cas pour les techniques les plus courantes. Nous n'avons trouvé, par exemple, qu'une seule référence sur l'évolution de la qualité du grain stocké en meules (Larmour et al. 1933, cités par Nottin 1937), une seule référence encore sur la qualité de grains conservés

en cellules avec transilages réguliers (Lasseran 1976), et aucune sur la qualité des grains conservés en grenier avec pelletages ou en sacs. Cela rejoint ce que nous avons déjà constaté concernant l'absence d'études "de terrain" dans le domaine de la conservation des grains. Tout se passe comme si la banalité des méthodes de conservation les plus courantes avait interdit qu'on s'interroge à leur sujet, sauf et de manière très limitée dans le but de les comparer avec les méthodes nouvelles (la ventilation) ou exotiques (l'atmosphère confinée).

Nous nous bornerons par conséquent dans ce qui suit aux principales questions qui ont joué un rôle dans le devenir de l'ensilage hermétique ou en atmosphère contrôlée, et dans celui de la ventilation.

En ce qui concerne l'atmosphère confinée ou contrôlée, ces questions sont les suivantes:

- (1) Quels en sont les effets sur les ennemis des grains, insectes, acariens et micro-organismes?
- (2) Quels en sont les effets sur les grains eux-mêmes?
- (3) Comment peut-on pratiquement réaliser une atmosphère confinée ou contrôlée, et quelles sont les conséquences d'une étanchéité aux gaz imparfaite?
- (4) Quelle est l'efficience de l'atmosphère confinée, comparée aux atmosphères contrôlées de diverses compositions, et aux autres méthodes de conservation, et quels sont leurs domaines d'utilisation respectifs?

Nous avons déjà donné ailleurs (Sigaut 1978, 1979) les éléments de réponse dont nous disposons sur tous ces points. Nous voudrions ici surtout rappeler les principaux, et mentionner les incertitudes qui subsistent. Sur le premier point, l'action létale d'une atmosphère confinée ou désoxygénée sur les insectes et les acariens est un fait acquis depuis Dendy et Elkington (1918-1920) et Bailey (1955-1965). Mais dans la situation actuelle, deux éléments d'information indispensables sont les conditions exactes qui garantissent une mortalité à 100 % des insectes et acariens, et les délais dans lesquels cette mortalité est obtenue. Or, il semble qu'on ne sache pas encore avec certitude:

- s'il existe des formes de vie ralentie susceptibles de résister à une absence prolongée d'oxygène, chez les acariens surtout; c'était l'opinion de Newstead et Morris (1920), mais il ne semble pas que la question ait été reprise depuis;
- comment varient les délais de mortalité en fonction de la température

et de l'humidité relative; ils s'allongent considérablement en dessous de 20° C (Banks et Annis), mais on manque d'études comparatives systématiques.

En ce qui concerne les micro-organismes, la question est loin d'être aussi tranchée, en ce sens que très peu d'entre eux, semble-t-il, sont aérobies stricts. L'absence d'oxygène, en particulier, ralentit mais n'arrête pas la croissance des moisissures, et il semble que si celles-ci régressent et disparaissent en atmosphère confinée, surtout dans du grain humide, c'est en raison de la concurrence que leur font alors des organismes mieux adaptés, bactéries et levures (Christensen et Kaufmann 1974). Dans du grain sec, l'absence ou la présence d'oxygène ne change apparemment rien au taux de survie des micro-organismes présents dans le grain après seize ans de stockage (Pixton et al. 1975).

L'effet d'une atmosphère confinée ou inerte sur les grains eux-mêmes a fait l'objet de rapports nombreux et assez contradictoires. La cause essentielle de ces contradictions est la grande diversité de situations, en ce qui concerne l'humidité et la température, où se plaçaient les expérimentateurs. Il est possible que la présence de gaz carbonique en proportion importante ait une action spécifique sur le germe des graines de céréales. C'est en tous cas ce que donnent à penser certaines observations sur la respiration de ces graines dans des conditions qui seraient celles d'un stade précédant normalement la germination, sans toutefois que celle-ci puisse se produire (Milner et Geddes 1946; Linko 1960), ainsi également que la facilité avec laquelle des grains légèrement humides perdent leur capacité germinative en atmosphère confinée. Mais la question reste assez obscure, ainsi du reste que celle, très peu étudiée, de l'effet de l'atmosphère confinée ou inerte sur les réactions enzymatiques susceptibles d'avoir lieu à l'intérieur du grain (Drapron 1964).

La question (3), celle de la réalisation pratique d'atmosphères confinées, est particulièrement importante. C'est bien évidemment de la réponse qu'on peut lui apporter que dépend, en effet, l'application concrète de la méthode. Dans les sociétés préindustrielles, il n'existait pas d'autre moyen que celui du silo souterrain pour réaliser une capacité approximativement étanche, le degré d'étanchéité obtenu dépendant de la nature du sol. Il semble que pour des raisons qu'il faudrait préciser, les silos souterrains ne conservaient leur étanchéité que pour une durée limitée, d'où leur abandon après un certain nombre d'années, et d'où aussi leur accumulation en très grand nombre dans les zones de sol favorable: ce grand nombre ne reflète pas un volume élevé des récoltes, mais plutôt une

longue utilisation du site. Actuellement, la formule de la cellule semi-enterrée reste un moyen économique de réaliser une capacité étanche, comme l'ont montré les exemples argentin, chypriote et lényan. En Argentine toutefois, où existent les plus anciens silos semi-enterrés de conception moderne, "beaucoup d'entre eux ne sont plus aussi étanches à l'air qu'au moment de leur construction" (Lopez 1973). On peut se demander si les causes de cette perte d'étanchéité ne sont pas les mêmes que pour les silos souterrains traditionnels (tassements du sol, fissurations dans la construction?).

D'une manière générale, les termes du problème de l'étanchéité sont les suivants:

- quelle est le degré d'étanchéité à réaliser, c'est-à-dire la limite supérieure du débit gazeux admissible entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule?
- dans quelle mesure ce degré d'étanchéité est-il réalisable, compte tenu des matériaux et techniques de construction disponibles, et des différences de pression qui peuvent s'établir entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule?

Comme toujours, le degré de confinement à réaliser résulte d'un compromis entre des exigences contradictoires. Une faible étanchéité peut suffire si l'on choisit de contrôler la composition de l'atmosphère, non par confinement, mais en faisant circuler un courant suffisant de gaz ou en maintenant une surpression constante par rapport à l'extérieur. Tout dépend alors du rapport entre le coût de l'étanchéité et celui de l'entretien du courant gazeux ou de la surpression. Banks et Annis (1977) donnent un exemple de ce genre de calcul. Il faut cependant observer qu'une bonne étanchéité est nécessaire pour certains traitements insecticides dangereux (au phosphore d'hydrogène par exemple): c'est pour pallier les inconvénients de ce genre que Shejbal et al. (1973) préconisent l'emploi de l'azote, dont au moins les fuites en cours de traitement ne sont pas dangereuses.

Pour du grain sec conservé en atmosphère confinée proprement dite, Oxley et Wickenden (1963) ont montré qu'une fuite "standard" représentant une entrée d'oxygène égale à 0,5 % du volume de l'atmosphère de la cellule par jour, ne compromettait pas l'effet du confinement. S'agissant de grain sec, d'ailleurs, M.B. Hyde (1974) observe que toute restriction, même partielle, de la quantité d'oxygène disponible freine d'autant l'activité des insectes; une étanchéité imparfaite n'est pas spécialement dangereuse, alors qu'elle l'est beaucoup plus avec du grain humide.

Seule la construction en métal soudé garantit une étanchéité pratiquement absolue (Vayssière 1944, 1948). Les Recommandations techniques pour la conception, l'étude et la construction des silos (1976) proposent comme norme d'étanchéité le maintien d'une surpression de 300 g/cm² pendant huit jours. Cette norme est certainement beaucoup plus sévère que la fuite standard d'Oxley et Wickenden; mais il existe des produits stockés en silo - la luzerne déshydratée - qui sont beaucoup plus sensibles que les grains en cette matière (Dubois 1969). Le contrôle technique de l'étanchéité d'une capacité ne présente pas de difficultés spéciales. "Un aspirateur ménager de grand modèle suffit pour vérifier une cellule de 2 000 t", affirment Banks et Annis (1977).

Le coût et les difficultés techniques de réalisation des constructions en métal soudé ont toutefois conduit à rechercher d'autres solutions moins coûteuses. Celles-ci dépendent:

- de la perméabilité des matériaux, maçonnerie, torchis, béton, plastiques...
- de l'étanchéité des joints et de la fermeture des orifices d'accès.
- de l'emploi de divers systèmes pour équilibrer les pressions à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule.

Les études générales sur la perméabilité aux gaz du béton sont assez rares (Cadiergues 1953; Figg 1973). Les plus importantes pour la question de l'étanchéité des silos sont celles de Chabrolin et Montlaur (1939): ils ont établi que dans des cellules en béton ordinaire, l'atmosphère interne était probablement entièrement renouvelée en l'espace de six mois, compte tenu de la perméabilité du béton et des différences de pression dues aux variations atmosphériques (orages). Dans ces conditions, qui seraient tout à fait insuffisantes pour du grain humide, la croissance des insectes est tout de même sensiblement freinée. Et on conçoit qu'il suffise d'ajouter sur le béton des enduits adéquats pour obtenir une étanchéité approchée satisfaisante; c'est en tous cas cette solution qui est préconisée pour les pays tropicaux (Emmagasinage... 1973). Une autre solution, plus sommaire, consiste à placer une feuille de plastique en sandwich dans une construction en pisé ou en briques crues (Pradhan et al. 1965). A petite échelle, les solutions proposées sont assez variées (Baker 1973); comme exemple d'astuce technique, nous mentionnerons l'emploi, comme joint d'étanchéité de la trappe d'accès, d'une chambre à air de bicyclette, gonflée.

Une des solutions les plus importantes est le silo vertical en tôle métallique vitrifiée, pour la conservation de grains fourragers humides.

La vitrification permet d'empêcher la corrosion du métal par les acides conservateurs, ou par l'ensilage lui-même (il s'agit d'installations à plusieurs fins, utilisables aussi pour l'ensilage d'herbe); elle ne permet pas la soudure, et les tôles sont simplement boulonnées. On supplée à l'insuffisance d'étanchéité au moyen d'un sac étanche disposé en haut de la cellule et qui communique avec l'extérieur: ce sac se gonfle et se dégonfle en fonction des différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, qu'il amortit ainsi dans une certaine mesure. Ce dispositif est aujourd'hui couramment fabriqué dans les pays anglo-saxons. Il est attesté depuis 1954 (Barre 1954; Hyde 1974). Il est cependant normalement complété par une valve qui permet le passage des gaz lorsque la différence de pression dépasse un certain seuil.

Les différences de pression entre l'extérieur et l'intérieur d'une cellule sont peut-être un des problèmes les plus délicats à résoudre dans la réalisation d'une atmosphère confinée. Car plus celle-ci est parfaite, plus l'effort qui s'exerce sur chaque point faible (joints) est important. Les facteurs qui peuvent provoquer ces différences de pression sont les suivants:

- les variations atmosphériques, température et surtout pression (baisse atteignant 35 mm de mercure au cours d'orages dans les conditions de la Tunisie: Chabrolin et Montlaur);
- le vent, générateur de surpressions et de dépressions sur les faces opposées des silos verticaux (Mulhearn et al. 1976);
- la production de gaz carbonique à l'intérieur de la cellule (grains humides en cours de fermentation), qui détermine des surpressions;
- l'adsorption des gaz (CO_2 , O_2) par les grains secs (Oxley et Wickenden 1963), qui détermine au contraire des dépressions, mises à profit dans certains cas (Mitsuda et al. 1973);
- éventuellement, l'absorption de CO_2 par le ciment des parois d'une construction neuve, qui est loin d'être négligeable (Pest Inf. Research 1956, p. 17).

Il reste à tenter une comparaison entre les différents procédés de conservation des grains faisant appel au confinement ou au contrôle de l'atmosphère. De l'ensemble de la littérature que nous avons pu dépouiller se dégagent, nous semble-t-il, les conclusions suivantes.

(1) Dans tous les cas de figure (température/humidité), l'atmosphère confinée ou désoxygénée permet, toutes choses égales d'ailleurs, une conservation plus longue ou meilleure que le maintien en atmosphère ordi-

naire. La seule étude comparative vraiment complète est celle de Kondo et Okamura (1930). Mais toutes les études partielles que nous avons consultées aboutissent à la même conclusion. Lorsque la conservation en atmosphère confinée est jugée insuffisante, c'est toujours dans des conditions où le maintien pur et simple à l'air libre serait beaucoup plus néfaste encore.

(2) Toutefois, la supériorité de l'atmosphère confinée ou désoxygénée n'est réellement sensible et pratiquement utilisable que dans quelques cas bien précis:

- lorsque la fermentation du grain est tolérée ou recherchée: grains humides, notamment fourragers, pour des durées limitées (quelques mois);
- lorsque le danger principal est celui des insectes: grains secs, à température assez élevée (20° à 30° C); pour de longues durées, le confinement semble alors la meilleure solution; pour de courtes durées, la réalisation artificielle d'une atmosphère désoxygénée est nécessaire, et équivaut alors à un traitement insecticide;
- pour la conservation des semences: graines sèches à très long terme, graines ne supportant pas le séchage à court et moyen terme (il est de toutes façons impossible de conserver de telles graines à long terme).

(3) Dans tous les autres cas, les avantages du confinement ou du contrôle de l'atmosphère ne sont pas suffisants pour justifier son emploi lorsqu'il est possible de refroidir et de sécher assez rapidement le grain. A basse température par exemple, une atmosphère désoxygénée n'ajoute rien aux effets insecticides du froid, elle les contrarierait plutôt. Dans tous ces cas, l'emploi du vide ou de diverses formules gazeuses (azote, gaz carbonique, voire hélium...) n'est pas sensiblement plus efficace que le confinement simple.

(4) Quant à l'efficacité comparée de ces diverses formules dans les cas énumérés sous le point (2), il semble qu'on puisse retenir les conclusions suivantes:

- la réalisation artificielle d'atmosphères inertes ou toxiques n'est supérieure au confinement simple que dans deux cas: conservation de graines impossibles à dessécher, et désinsectisation rapide (quelques jours à quelques semaines) de grain secs;
- dans ce dernier cas, si le confinement n'est pas suffisant, il n'est pas non plus absolument nécessaire dans la mesure où le coût du maintien de l'atmosphère voulue en assurant le balayage de la cellule par un débit gazeux continu n'est pas excessif;

- pour la désinsectisation rapide, les spécialistes se partagent, en gros, entre partisans de l'emploi de l'azote pur (les plus nombreux), et partisans de l'emploi de gaz carbonique, le plus souvent en mélange avec l'azote; le gaz carbonique a l'inconvénient d'être absorbé par les grains, ce qui peut compliquer légèrement le mode opératoire; mais il a l'avantage d'être toxique même lorsque la désoxygénation est incomplète (jusqu'à 5 à 7 % d'oxygène), alors que pour qu'un traitement à l'azote pur entraîne une mortalité comparable, il faut que la teneur en oxygène ne dépasse 0,5 à 1 % nulle part dans la capacité traitée.

(5) Il reste enfin deux inconnues, que les recherches actuelles ne semblent pas avoir abordées:

- la question des acariens: nous ne savons ni s'il existe des formes résistantes, ni quels sont les délais nécessaires pour une mortalité de 100 %, ni l'incidence de la température et de l'humidité sur ces délais;
- la toxicité éventuelle d'atmosphères dont la teneur en oxygène serait plus élevée que la normale: toutes les recherches effectuées l'ont été à des teneurs en oxygènes égales ou inférieures aux 21 % de l'air ordinaire; on n'a jamais essayé, par exemple, de formules binaires gaz carbonique/oxygène où ce dernier serait présent à 30 %, 40 %, etc.; on n'a jamais essayé non plus de faire alterner des atmosphères sous- et sur-oxygénées; rien ne nous permet de prévoir quels effets seraient à attendre de ce genre de formules, nous les mentionnons seulement parce qu'il nous paraît significatif qu'on n'ait jamais songé à en faire l'essai, à notre connaissance du moins.

La problématique de la ventilation est notablement plus simple que celle du confinement ou du contrôle de l'atmosphère. Sur le plan biologique, en effet, toute la question se ramène à l'incidence du couple température/humidité sur la qualité finale des grains, et l'idée n'a jamais été vraiment émise que le maintien à l'air libre puisse entraîner des détériorations spécifiques. Ce n'est pourtant pas tout à fait exclu, puisque la respiration du grain comporte une perte de matière sèche, puisque l'échauffement n'est possible qu'en présence d'oxygène, et puisque certaines réactions d'oxydation figurent parmi les causes de détérioration possibles aux très basses humidités (Poisson et Guilbot 1963). En outre, il semble bien qu'à très long terme (plusieurs dizaines d'années), les semences conservent mieux leur capacité germinative en atmosphère confinée qu'en atmosphère renouvelée. Or, si comme des résultats récents tendent à l'établir, le vieillissement des semences est dû à l'accumu-

lation avec le temps de détériorations génétiques (Villier et Edgcumbe 1975), on ne peut exclure que la présence d'oxygène soit parmi les causes de ces détériorations. Là encore, il faudrait pour l'affirmer des expériences de conservation en atmosphère suroxygénée, qui, à notre connaissance, n'ont pas été faites: on a bien cherché à mettre au point des méthodes de vieillissement artificiel, mais seulement en jouant sur la température et l'humidité (Delouche et Baskin, SST, 1973, 38: 427-452).

Ces remarques, toutefois, n'intéressent pas la problématique de la ventilation proprement dite. Celle-ci, en effet, est à peu près purement physique. Les seuls mécanismes qui entrent en jeu sont les échanges de chaleur et d'humidité entre l'air insufflé et les grains, et tout l'art de la ventilation consiste à faire en sorte, (1) que ces échanges aient lieu dans le sens voulu, et (2) que le résultat recherché soit atteint assez rapidement pour qu'aucune détérioration n'ait le temps de se produire quelque part dans la masse de grain avant que l'équilibre final n'ait été réalisé partout. Ces deux conditions sont plus difficiles à remplir dans la pratique que le profane ne s'y attendrait, et ce sont certainement ces difficultés qui expliquent que la ventilation ait été si longue à se généraliser. Une brève comparaison avec le séchage permettra de mieux les comprendre. Dans le séchage en effet, l'emploi d'air chaud fait qu'il n'y a pas de difficulté à prévoir le sens des échanges entre l'air et les grains au niveau élémentaire, et la rapidité de l'opération ne laisse pas le temps à des détériorations d'ordre biologique de se produire. Dans la ventilation au contraire, il est possible soit de n'obtenir aucun résultat, soit même un résultat contraire au but recherché. Le grand problème est que les caractéristiques de l'air insufflé changent au cours de son passage dans les premières couches de grain, et que par conséquent les dernières couches ne sont pas ventilées avec le même air que les premières. D'où la possibilité d'humidifications, voire de condensations, là où on attendait un léger séchage.

C'est parce qu'on maîtrisait mal ces difficultés que les premiers équipements de ventilation furent conçus pour de faibles épaisseurs de grains. Dans les années 1930 du reste, on a même cherché à se placer dans des conditions qui étaient celles du séchage, sauf l'emploi d'air froid (Lalloy 1937, 1947a). La ventilation en cellules verticales n'était proposée, on l'a vu, qu'avec des systèmes assurant une circulation radiale de l'air; plus tard, dans les années 1950, est intervenue la ventilation en cases horizontales (cf. pp. 46-47). C'est seulement depuis la fin des

années 1960 que la ventilation des cellules verticales de grande hauteur est devenue possible.

Les connaissances relatives à la conduite de la ventilation — et préalablement au calcul de l'installation — forment un tout complexe. Un exposé sur ce sujet n'a pas sa place ici. Nous en retiendrons seulement quelques points:

(1) Le but de la ventilation est principalement de refroidir le grain pour ralentir l'activité des micro-organismes et des insectes. Le refroidissement obtenu résulte du transfert simultané à l'air insufflé d'une partie de l'humidité et d'une partie de l'eau contenue dans les grains. Il est d'autant plus rapide que l'écart de température entre les grains et l'air insufflé est important. L'écart d'humidité intervient aussi, mais ne prend de l'importance que si la température de l'air est voisine de celle des grains.

(2) Bien que l'effet de séchage de la ventilation soit important par sa contribution à l'abaissement de la température des grains, il l'est peu par la quantité d'eau enlevée aux grains. C'est pourquoi le séchage n'est généralement qu'un objectif tout à fait accessoire dans la ventilation. On n'attend de la ventilation qu'un séchage de deux ou trois points, intéressant lorsque le grain n'est que faiblement humide (en pratique: moins de 18 %), ou dans le cas particulier de la dryération du maïs. Pour un séchage plus important, des doses d'air extrêmement élevés seraient nécessaires, et l'opération serait soit trop longue (d'où danger pour les grains), soit trop coûteuse. Toutefois, un léger réchauffage de l'air peut accroître notablement l'effet de séchage: c'est une procédure couramment employée, semble-t-il, dans les pays anglo-saxons (Burrell 1974; Shove 1973), mais qui comporte des risques d'autant plus grands que la hauteur du grain est plus considérable.

(3) Pour le cas de la France, il existe une série de graphiques permettant de prévoir avec une bonne approximation les résultats d'une ventilation en fonction des caractéristiques de l'air, de celles du grain, des débits disponibles, de la hauteur du grain, du temps, etc. (CNEEMA 1969, 329; Lasseran et Poichotte 1973; Lasseran 1976).

Toute cette problématique, toutefois, est relative aux climats tempérés. L'écart entre les températures diurnes et nocturnes, l'abaissement relativement rapide des températures au moins la nuit après la moisson sont des facteurs tout à fait déterminants dans la pratique. On a montré récemment (Navarro et al. 1969; Williams 1973) que la ventilation pouvait aussi

donner de bons résultats dans des pays à climat relativement chaud comme Israël ou l'Australie (Victoria, Australie du Sud, Nouvelle Galles du Sud). Mais il s'agit toujours de régions à étés secs, et où le refroidissement nocturne est important. On connaît mal, en fait, la façon dont l'efficience de la ventilation, ou plutôt sa conduite, dépend des conditions climatiques. C'est un cas particulier du manque d'études de terrain que nous avons déjà signalé. Il y a fort peu d'études fréquentielles de ventilation en fonctions des conditions climatiques réelles ou simulées, et nous n'avons pas trouvé pour la France de travaux comparables à ceux de Burges et Burrell (1964) pour la Grande Bretagne, ou de Bailey (1968, cité par Williams 1973) pour l'Australie.

LES RELATIONS FONCTIONNELLES

L'analyse technologique permet d'identifier des modes de stockage. Ceux-ci sont des techniques, c'est-à-dire des schèmes d'action ou d'intervention, appuyés sur des objets (outillage, équipement) et surtout sur des connaissances. Leur identification fait appel à des critères qui constituent en fait la réponse aux questions quoi? et comment? A savoir:

- les produits stockés (quoi?), qui se définissent par les opérations dont ils sont le résultat (amont) et par celles auxquelles ils sont destinés (aval), ou en d'autres termes, par la chaîne opératoire à laquelle ils appartiennent et la place qu'ils y occupent;
- les moyens employés pour loger les grains et pour contrôler le milieu ambiant (comment?).

L'identification des techniques étant acquise, il reste à se poser la question de leurs relations fonctionnelles, c'est-à-dire à identifier l'ensemble des liens qui les rattachent aux autres éléments du milieu, technique, physique et économique.

Nous n'insisterons pas sur les relations entre modes de stockage et autres éléments du milieu technique. Car leur identification même nous a déjà amenés à reconnaître certaines de ces relations, avec les techniques associées d'amont et d'aval. Et nous avons évoqué ailleurs, dans le cas des silos souterrains, les liens qui peuvent exister avec d'autres techniques que nous avons appelées alternatives, contiguës et analogues (Sigaut 1978, p. 23). La généralisation de cet inventaire à toutes les techniques de stockage nous entraînerait trop loin.

Faute d'informations suffisantes, nous n'insisterons guère davantage sur les relations entre modes de stockage et facteurs du milieu physique. La question est pourtant d'une importance tout à fait capitale. Le stockage est en effet un des points où l'incidence des conditions climatiques

sur les systèmes de production est la plus directe et la plus forte. Le climat intervient:

- par sa variabilité (saisonnière et interannuelle), qui conditionne la répartition des ressources dans le temps, donc l'utilité des réserves,
- par ses caractéristiques (température - humidité) pendant et après la récolte, qui conditionne l'efficacité relative des diverses techniques de conservation.

L'étude précise de ces deux aspects reste à faire. Sur le premier point, nous ne pouvons guère que citer l'article de Morgan (1959) sur le Nigeria, dont nous avons reproduit la cartographie ailleurs (Sigaut 1968, pp. 38-39). Ce qui est évident, c'est que le stockage prend d'autant plus d'importance que la variabilité de la production, interannuelle surtout, est plus grande. Mais il faudrait des études de cas précis pour pouvoir en dire davantage: l'Afrique occidentale, avec son gradient régulier de pluviosité, offre un terrain particulièrement intéressant pour cela.

Sur le second point, il existe une documentation relativement abondante en ce qui concerne les modes de stockage pré-industriels, dans la mesure du moins où cette méthode analytique de base qu'est la cartographie a déjà donné lieu à un assez grand nombre de travaux. Nous avons rassemblé ailleurs (Sigaut 1968, pp. 24-31), tous les documents cartographiques que nous avons pu trouver relativement aux silos souterrains. Il existe d'autres cartes du même genre pour d'autres techniques, telles que par exemple les greniers surélevés en Espagne et au Portugal; ou du moins il est possible de trouver des informations suffisantes pour les établir. Mais la situation n'est pas comparable en ce qui concerne les techniques actuelles. Nous avons souligné à plusieurs reprises le manque d'études de terrain sur les modes de stockage actuels. L'absence d'études sur leur répartition géographique n'en est qu'un cas particulier: le seul document de ce genre que nous ayons trouvé est une carte donnant, par grandes zones, la largeur maximale des cribs à maïs aux Etats-Unis (Barre 1954). Le fait que presque toutes les recherches techniques se situent, en général implicitement, à l'intérieur d'un cadre climatique unique, ne facilite pas les comparaisons ni les généralisations. En réalité, la plupart des travaux faisant référence à des facteurs climatiques sont dûs à des entomologistes. Les seuls résultats disponibles dans la voie d'une étude comparative des relations entre climat et modes modernes de stockage sont les suivants:

- le diagramme de Burges et Burrell (1964), qui différencie les causes

de détérioration en fonction du couple température/humidité; le même travail comporte une étude fréquentielle des temps de ventilation disponibles dans les conditions climatiques de la Grande Bretagne;

- l'"Ecologie du stockage" de Sinha (1973), qui prolonge le diagramme de Burges et Burrell en prenant en compte la répartition géographique des différentes causes de risques;
- une série de remarques dues à Oxley (1955), comparant les conditions de stockage en pays tempérés et en pays tropicaux.

La géographie des modes de stockage est par conséquent un des points principaux sur lesquels devront porter les recherches ultérieures.

Restent les relations entre modes de stockage et facteurs économiques. Deux questions se posent à ce niveau nous semble-t-il:

- quelle est la position du stockage dans les circuits de production et d'échange — ou autrement dit, qui stocke, et où?
- quels sont les finalités et les résultats du stockage — autrement dit, pourquoi stocke-t-on?

Répondre à ces deux questions revient, en fait, à analyser les critères d'une typologie économique du stockage. De telles typologies existent déjà, ne serait-ce que pour les besoins de la statistique. Mais elles présentent des divergences entre elles, dues certes aux différences de situations entre les différents pays, mais dues surtout à l'hétérogénéité des critères pris en compte. En voici quelques exemples.

- Pour Oxley (1955), le critère le plus important est la durée, car c'est celui dont dépendent les techniques et les coûts. Il distingue:
- le stockage à court terme, quelques semaines, qui n'exige pas de mesures particulières,
 - le stockage à moyen terme ou saisonnier, de 8 à 10 mois dans le cas où le cycle cultural est annuel,
 - le stockage à long terme, plusieurs années.

Antonio (1973) considère que le stockage remplit cinq "fonctions" différentes: conservation du produit, amélioration de la qualité, égalisation des quantités, régularisation des prix et spéculation de l'entrepreneur. On voit tout de suite que toutes ces fonctions ne se situent pas sur le même plan, alors que certaines se recoupent largement (action sur les prix et spéculation en particulier).

Halter (1973) distingue dans la situation canadienne les échelons de stockage suivants, qu'il définit par leur position dans le trajet des grains à l'exportation (tableau 10).

Tableau 10. Les échelons du stockage au Canada

<u>Echelon</u>	<u>Position</u>	<u>Equipement technique</u>
Country elevators	Interface camion/rail	Capacité totale supérieure à 1 300 t Réception, pesage, expéditions; éq. sommaire de nettoyage et classement
Subterminal elevators	d°	Capacité sup. à 13 000 t; éq. de nettoyage et classement plus import. Version centralisée des précédents
Terminal elevators	Interf. rail/ navig. intér.	Equipement complet de nettoyage, classement et expéditions
Transshipmt. elevators	Interf. navig. intér./marit.	Surtout équipement de chargement et déchargement rapide
Manufactur. elevators	Attachés à une industrie sp.	Equipement dépend de l'industrie en cause
Source: Halter 1973.		

Halter signale en outre les "Prairie elevators", cas particulier des "Country elevators", construits pour la plupart avant 1935 sur un modèle plus ou moins uniforme, et qu'on a tendu à regrouper en "Composite elevators" de plus grande capacité dans les années 1950-1965. Depuis lors, le réseau canadien continue à se concentrer de façon sensible (Atkinson 1974). De nombreuses études ont été faites sur ce sujet (cf. la section 6 de Sinha et Muir (1973), et les notices parues dans WAERSA depuis 1973).

En France, les statistiques de l'ONIC distinguent actuellement:

- le stockage de collecte en organismes stockeurs (coopératives et négociants agréés par l'ONIC),
- le stockage secondaire, qui reçoit des grains ayant déjà transité par le stockage de collecte, et lui-même réparti en:
 - . stockage de report (longue durée),
 - . stockage de transit (courte durée), notamment stockage portuaire,
 - . stockage industriel (industries utilisatrices).

Cependant, on distingue souvent des variantes à l'intérieur de certaines de ces catégories, auxquelles il faut naturellement ajouter le stockage à la ferme. A l'échelon de la collecte par exemple, il existe à côté des centres de stockage complètement équipés (séchage, ventilation) des points de collecte sommaires, qui ne sont en réalité que de grandes trémies de réception où le grain ne séjourne que quelques heures ou quelques jours. D'autre part, on a distingué aussi, à l'intérieur du stockage secondaire de moyenne et de longue durée, des notions telles que les suivantes:

- . stockage de soudure, destiné à éviter les ruptures d'approvisionnement

dans les industries utilisatrices, soit en cas de retard de la moisson, soit surtout en attendant que le grain nouveau devienne utilisable après postmaturation en stockage (soudure technique);

- . stockage "intermédiaire", correspondant à des quantités qui dépassent temporairement les capacités des organismes stockeurs en cas de récolte très abondante, et que ceux-ci logent sous contrat chez des tiers, entrepreneurs de stockage ou industriels;

- . stockage d'équilibre ou d'intervention, portant sur des céréales stockées pour dégager les marchés, sous la responsabilité des pouvoirs publics; une grande partie de ce stockage est confiée par l'ONIC à des sous-traitants (contrats de "stockage-achat");

- . stockage commercial, ou de manoeuvre, destiné à régulariser les prix d'une année sur l'autre, ou à maintenir des ventes régulières en dépit des variations de récolte,

- . stockage de sécurité, pour éviter les ruptures d'approvisionnement à la consommation dans certaines régions (existe pour la Région parisienne et pour la Corse).

Toutes ces subdivisions ressortent de Dauphin (1963, 1970), Dauphin et Foulhouse (1965), Hesnard (comm. pers.), Ollier (1965), ONIC (1967/1978), Section technique centrale... (1967). On voit qu'il s'agit de quelque chose d'assez compliqué. Mais on voit aussi que cette complication résulte en grande partie d'une identification pas toujours très claire des objectifs recherchés dans chaque cas, et de l'absence qui en résulte de règles univoque de classement.

Nous ne prétendons pas résoudre ici le problème et présenter une typologie économique du stockage. Mais il nous semble que la première étape indispensable pour y parvenir, c'est de distinguer clairement entre le niveau structurel (qui stocke, et où?), et le niveau fonctionnel (pourquoi stocke-t-on, et avec quels résultats?). Et cela d'autant plus qu'il est évidemment impossible de répondre sans ambiguïté à la deuxième question, celle des finalités du stockage, tant qu'on n'a pas répondu d'abord à la première, celle de sa position dans le système économique. Or, répondre à cette première question implique nécessairement que l'analyse soit comparative, et porte sur autant de sociétés différentes que possible, faute de quoi on ne sortira pas des catégories immédiates telles que celles dont nous venons de donner un échantillon. C'est ainsi qu'il existe un grand nombre d'études sur l'économie du stockage, au moins outre Atlantique: le dépouillement des World Agricultural Economics and Rural Socio-

logy Abstracts nous a donné près de 200 références sur le sujet depuis 1959. Certaines de ces études, parmi lesquelles bon nombre de thèses, sont évidemment d'un intérêt indiscutable. Mais la très grande majorité d'entre elles semblent strictement d'ordre micro-économique (il y a notamment un grand nombre d'études d'optimisation portant sur l'implantation ou la capacité unitaire des silos), et presque toutes paraissent se situer implicitement ou explicitement dans un cadre socio-économique considéré comme allant de soi, c'est-à-dire sans véritable souci d'en expliciter les caractéristiques. (Nous avons déjà été amené à faire la même remarque exactement, à propos des études techniques et du cadre physique dans lequel elles se situent.)

C'est seulement lorsque nous disposerons d'un nombre suffisant d'études situées de façon explicite et précise dans les environnements socio-économiques auxquels elles appartiennent que nous y verrons plus clair. C'est toute la problématique de la "police des grains", qui sera un des thèmes majeurs de la réunion de Levroux prévue pour 1980 (voir en Annexe le compte-rendu de la séance du 1er février 1979 sur la préparation de la réunion de Levroux).

Tout le problème de la police des grains — ou en termes plus actuels de la politique céréalière — nous apparaît comme un cas particulier du problème général des rapports entre phénomènes se déroulant au niveau micro-économique, et phénomènes se déroulant au niveau macro-économique. La "main invisible" des économistes libéraux symbolise leur croyance en une harmonie spontanée entre les deux niveaux. Croyance appuyée sur le raisonnement plus que sur l'expérience, en ce qui concerne les grains tout au moins, et ce n'est certes pas à tort que les partisans de la réglementation du commerce des grains au XVIII^e siècle condamnaient "les vains raisonnements de ces faiseurs de systèmes" comme ils qualifiaient leurs adversaires libéraux (Recueil des principales lois... 1769). L'histoire des grains est trop remplie de chertés et d'effondrements des prix qui représentent des souffrances insupportables, tantôt pour les consommateurs, tantôt pour les producteurs, sans parler de la menace qu'elles constituent pour l'ordre social et pour ses bénéficiaires, pour que l'idée d'une harmonie spontanée dans ce domaine puisse être acceptée sur la seule base du raisonnement théorique. Aussi voit-on Jean-Baptiste Say, libéral s'il en fut, admettre pourtant que, "dans une question aussi grave que celle des subsistances d'un grand peuple, il faut savoir, dans la politique pratique, s'écarter des principes généraux et absolus (cité

dans Thomas 1841, p. 14)". Ce qui revient à avouer, en somme, que les principes en question ne sont ni généraux ni absolus. Une théorie économique qui renonce à prendre en compte des phénomènes tels que ceux dont est remplie l'histoire du commerce des grains ne mérite guère son nom. Car ces phénomènes ne sont ni accidentels, ni exceptionnels. Certains résultent même de mécanismes analysés depuis longtemps, comme la loi de King, énoncée dès la fin du XVII^e siècle, et qui veut que les producteurs gagnent davantage lors des mauvaises récoltes que lors des bonnes. D'autres n'ont été analysés que plus récemment, comme l'effet de Giffen (accroissement de la demande lorsque les prix augmentent) ou celui de Hicks (accroissement de l'offre quand les prix baissent). Que ces effets soient considérés comme "exceptionnels" ou "atypiques" par un des représentants les plus autorisés de l'économie classique actuelle (R. Barre, Economie politique, I, Paris, PUF, 1964, pp. 473 et 492) montre que celle-ci a toujours autant de difficultés qu'au temps de Say pour réconcilier ses conceptions avec les faits. Car ces effets ne sont exceptionnels ou atypiques que dans les domaines extra-agricoles: en agriculture ils sont au contraire normaux, et la meilleure preuve en est peut-être qu'il n'existe aucun Etat développé actuel où il n'y ait aucune forme d'arbitrage public dans le domaine des prix agricoles, quelle que soit par ailleurs la position théorique des dirigeants. Autrement dit, si le problème d'une police des grains se pose partout, si même il a reçu partout ou presque des solutions diverses dictées par la pratique et par la nécessité d'un arbitrage des conflits entre partenaires économiques, il n'en a pas pour autant reçu de solution générale. Le débat ouvert au XVIII^e siècle entre théoriciens-libéraux et praticiens-interventionnistes n'a toujours pas été conclu. Il est indéniable que dans certaines conditions, la liberté des transactions est la meilleure solution possible, mais il est non moins indéniable que dans d'autres conditions, elle ne l'est pas. L'erreur des libéraux comme de leurs adversaires, c'est, nous semble-t-il, de ne pas avoir cherché à savoir quelles étaient ces conditions. Et c'est seulement depuis les recherches sur l'évolution des prix à long terme de Fourastié (1969) et Grandamy (1969, 1973) que nous sommes armés pour le faire. D'une façon générale, croyons-nous, les termes et l'objet du débat sur la police des grains (politique céréalière) peuvent se résumer ainsi:

(1) Il existe divers moyens pour répartir une production entre des consommateurs, et pour répartir en retour sa contrepartie (monétaire ou

non) entre les producteurs. Ces moyens vont de l'allocation par les prix exclusivement - marché libre, où producteurs et consommateurs sont seuls en présence, directement ou par l'intermédiaire de tiers - à l'allocation entièrement programmée, effectuée par l'une des parties ou par une autorité extérieure - le rationnement -. Entre ces deux extrêmes, d'innombrables formules de réglementation des transactions et de taxation des prix.

(2) Compte tenu de la rigidité bien connue de l'offre et de la demande de produits céréaliers dans la plupart des sociétés, quels sont les avantages et les inconvénients respectifs des diverses formules possibles de répartition dans chaque cas?

Il existe des exemples extrêmes où la réponse est évidente: ainsi en cas de pénurie aiguë, la nécessité d'un rationnement n'a jamais été mise en doute sérieusement par personne. Or, encore une fois, ce cas n'est ni une exception, ni une anomalie. C'est une situation que la théorie économique doit prendre en compte comme les autres, d'autant plus que de nombreux groupes sociaux ont vécu, et vivent encore souvent, à la limite de la pénurie. En fait, la théorie économique doit prendre en compte toutes les situations possibles, extrêmes ou pas, fréquentes ou rares, sans discrimination a priori. Et c'est dans cette perspective que l'histoire des politiques cérésières peut apporter une contribution décisive. Car elle seule peut permettre:

- d'inventorier toutes les formules de répartition qui ont été utilisées, et si nécessaire de les classer,
- de préciser dans quelles circonstances elles ont été utilisées, et avec quels résultats.

C'est dans cette problématique générale que l'étude du stockage trouve sa place, à deux niveaux. Le premier est celui de l'accès aux faits: le stockage est, de tous les éléments d'une politique cérésièrè, celui qui offre le plus de visibilité à l'observateur extérieur. C'est évident dans les sociétés disparues dont il ne nous reste que des traces archéologiques. Mais cela reste vrai dans des sociétés plus actuelles. Le second niveau est celui de l'analyse économique elle-même: d'un point de vue macro-économique, le stockage apparaît essentiellement comme un moyen d'intervenir sur l'élasticité de l'offre ou sur celle de la demande par rapport aux prix. Et toute la question est alors de savoir comment et dans quelle mesure ce moyen est efficace, compte tenu des conditions physico-techni-

ques générales de la production agricole et de la consommation alimentaire, et compte tenu surtout des différentes situations micro-économiques possibles, c'est-à-dire notamment de la position sociale des agents du stockage et de leurs motivations propres.

Soit, par exemple, le problème épineux des réserves à long terme, dont on a dit qu'il avait été au centre d'un débat extrêmement nourri au XVIIIe siècle et dans la première moitié du XIXe, pour revenir à l'actualité ces dernières années, après l'"accident" constitué par les achats soviétiques massifs de 1973. Ces réserves sont constituées, historiquement, soit par les consommateurs (municipalités italiennes au XVIIe-XVIIIe siècles), soit par les producteurs (coopératives dans la situation actuelle, avec aide des pouvoirs publics) — et cette localisation déjà dépend du niveau moyen des ressources par tête. Mais dans les deux cas, le but est d'amortir les écarts de prix excessifs (à la hausse pour les uns, à la baisse pour les autres). Mais ce but est un objectif macro-économique: si on admet, avec Anthonio (1973; mais son raisonnement était déjà celui de Ternaux en 1818), que "le stockage est défini comme économiquement efficace en conditions de parfaite compétition lorsque la différence de prix dans le temps est égale au coût du stockage", alors il s'avère qu'à coût égal, le stockage est, du point de vue de l'entrepreneur (micro-économique), d'autant moins rentable qu'il est plus efficace, c'est-à-dire que son effet d'amortissement des prix est plus grand. En outre, comme le coût du stockage dépend très largement du prix des grains et du taux d'intérêt (frais financiers), il sera d'autant plus coûteux, donc d'autant plus difficile à rentabiliser, que le niveau moyen des prix est plus élevé, c'est-à-dire que le risque de pénurie est le plus grand. Dans le schéma libéral, autrement dit, la constitution de réserves à long terme est d'autant moins rentable qu'elle approche davantage de son objectif, ou que les risques qu'elle cherche à pallier sont plus grands. Et cela n'est pas une vue de l'esprit: c'est bien, d'une manière plus ou moins explicite, à un manque de rentabilité qu'on attribue le plus souvent l'échec des politiques de réserve en France, conçues généralement comme des entreprises privées (par exemple: Thomas 1841).

Nous sommes loin de l'harmonisation spontanée des intérêts individuels par la main invisible cachée dans le libre jeu des lois du marché. Pour notre part, nous croyons, avec Fourastié et Grandamy, que la faille du raisonnement libéral est de ne pas prendre en compte la nature quali-

tative des besoins humains auxquels répondent les marchandises. Il y a un ordre d'urgence de ces besoins, et c'est seulement dans la mesure où les besoins les plus urgents sont satisfaits que des besoins moins urgents peuvent se manifester et être satisfaits à leur tour. Les calories alimentaires, représentées pour une large part par les produits céréaliers, occupent le premier rang dans cet ordre d'urgence. D'où la rigidité de la demande dans certaines sociétés, qui prend la forme de la loi de King ou de l'effet de Giffen: plus les céréales sont rares, plus la part des ressources qui leur sont consacrées augmente; plus elles sont abondantes, et plus cette part diminue. Toutes les autres consommations dépendent de celle-là. C'est pourquoi le niveau des disponibilités céréalières par tête (et le niveau des prix réels qu'il détermine) est si essentiel pour définir le niveau économique des sociétés. Le stockage n'a certes pas un rôle de premier plan parmi les forces qui contribuent à fixer ce niveau: il ne peut intervenir que pour alléger dans une mesure limitée les conséquences de l'inélasticité de l'offre et celle de la demande, et encore cette intervention est-elle d'autant plus difficile à mettre en oeuvre qu'elle est plus nécessaire. Il reste cependant que le stockage est une voie d'accès particulièrement commode pour entrer dans la dynamique des politiques céréalières.

CONCLUSION

Le point de départ de cette recherche était, rappelons-le, la question de l'ensilage hermétique. Chemin faisant, cette question a pris rang parmi beaucoup d'autres, mais c'est grâce à elle que nous avons pris conscience que nous n'en savions guère plus sur les autres aspects du stockage que sur l'ensilage hermétique lui-même. Il fallait donc inventorier, recenser, classer, en commençant naturellement par les techniques comme étant les éléments les plus aisément accessibles dans cet ensemble. Et derrière elles le champ des connaissances, et celui des faits économiques, attendaient aussi l'exploration. Dans tout cela, la question initiale n'était plus qu'une incitation, un prétexte. Mais toute recherche connaît ce genre de décentration. En anthropologie comme dans les autres sciences, les questions immédiates ne sont que rarement les bonnes, mais elles peuvent y conduire si l'on s'en sert comme indicateurs pour sortir du cercle des évidences.

La réponse à notre première question est toutefois à peu près acquise maintenant, et nous pouvons la résumer brièvement. Fondamentalement, l'ensilage hermétique est un moyen de lutte contre les insectes, et on le trouve partout dans le monde où les insectes constituent le danger majeur pour les réserves de grains. Mais il peut aussi s'accompagner de fermentations, parfois tolérées, voire recherchées, mais incompatibles avec la panification. Enfin, il correspond à des systèmes de production où les grains sont battus sitôt la moisson, donc doivent être conservés en vrac, et où les bâtiments d'exploitation sont peu importants. Tout cela explique que l'ensilage hermétique ait été absent de l'Europe du Nord au moins depuis le Haut Moyen Age. Et tous les essais tentés pour l'y implanter depuis 1750 ont abouti à des résultats mitigés, tantôt bons

tantôt mauvais, mais jamais assez convaincants pour lui donner une préférence affirmée sur les autres techniques disponibles. La mise au point de la ventilation, dans les années 1960, a achevé de lui retirer son intérêt, sauf pour les grains fourragers humides. Aujourd'hui, l'avenir de l'ensilage en atmosphère confinée ou contrôlée se trouve, soit dans la conservation à long terme du grain sec (moins de 12 % d'humidité pour du blé) dans des pays à climat relativement chaud comme l'Argentine, l'Australie, certaines régions des Etats-Unis, etc., soit comme méthode de désinsectisation ne laissant pas de résidus.

Bien entendu, cette réponse n'est devenue possible qu'après qu'une identification complète des techniques de stockage eut fait apparaître que celles-ci pouvaient être ramenées à un nombre assez limité de schèmes d'intervention. Schèmes qui résultent de la combinaison de deux séries de procédés, les uns destinés à loger le grain, les autres destinés à contrôler le milieu ambiant. Ces schèmes forment un arbre de possibilités finalement assez simple, et dont on s'explique donc qu'il ait pu être exploré en grande partie longtemps avant qu'on ait acquis les connaissances nécessaires pour interpréter les mécanismes biophysiques entrant en jeu dans chaque cas. Le meilleur exemple est sans doute celui de la ventilation. L'idée est essayée en France dès le milieu du XVIIIe siècle, puis à nouveau vers 1850. Mais faute de comprendre vraiment ce qui se passe dans le grain ventilé, les applications du procédé restent très limitées. C'est seulement dans les années 1960 qu'on parviendra à maîtriser de façon satisfaisante les conditions opératoires de la ventilation, ce qui permettra de la généraliser.

Que les techniques précèdent les connaissances est relativement banal, du reste. Mais ce que révèle en outre l'histoire de leur développement récent aux unes et aux autres, c'est la faible contribution de la recherche technique à cette exploration de l'arbre du possible, même lorsque celle-ci n'est pas tout à fait achevée. Dans la désinsectisation par atmosphère contrôlée par exemple, nous avons vu que toutes les formules atmosphériques possibles n'avaient pas été essayées. En ce qui concerne les économies d'énergie, de même, les recherches actuelles portent presque toutes sur l'amélioration du rendement des appareils ou des modes opératoires, les autres portant sur ce "vieux bateau" qu'est déjà la pompe à chaleur. Mais il semble qu'on n'ait jamais songé, ni que les stockages horizontaux offraient de vastes surfaces pour le captage éventuel de l'énergie solaire, ni que les stockages verticaux offraient de grandes

hauteurs pour le captage de l'énergie éolienne. Nous ignorons naturellement tout de l'intérêt de ces solutions. Mais elles sont au moins imaginables, et ce qui nous semble significatif, c'est qu'elles n'aient été ni discutées ni même mentionnées dans la période récente. Par contre, on a consacré un certain nombre de recherches à la conservation des grains par irradiation, bien que les perspectives pratiques offertes par ce procédé aient toujours été des plus douteuses (Poisson & Cahagnier, in: Multon et Guilbot éd. 1973, pp. 615-630). Tout se passe, en somme, comme si les chercheurs s'étaient donné pour tâche de comprendre le fonctionnement des techniques existantes (ou au moins des plus "importantes" d'entre elles), de les mettre au point, de les perfectionner, de les tester, mais pas d'en imaginer d'autres. Il est vrai que dans le domaine de la conservation des grains, le choix n'est pas très grand — raison de plus, peut-on répondre, pour ne pas le rétrécir encore. Il n'y a jamais eu d'exploration systématique de l'arbre des modes de stockage possibles, d'où un caractère pour ainsi dire parcellaire de la recherche dans ce domaine, caractère que renforce encore l'absence de recherches de terrain (sauf en entomologie) et l'absence d'études sur la géographie climatique du stockage. Il ne faut pas, concluent récemment deux chercheurs biophysiciens, "que l'on abandonne ou que l'on réduise trop les recherches d'ordre fondamental au profit d'une recherche appliquée à court terme" (Multon et Bizot 1977). C'est tout à fait notre avis, étant entendu que la recherche technologique devrait faire partie aussi de la recherche fondamentale, alors que ce n'est trop évidemment pas le cas.

Mais cette conclusion, qu'on peut naturellement contester, n'est pas la plus importante. Ce qui pour nous compte davantage, c'est que cette recherche sur le stockage nous a permis de mettre sur pied une méthode et de réunir des informations qui vont nous permettre d'aller plus loin.

La méthode, c'est celle que définissent les étapes de la recherche technologique telle que nous la concevons maintenant: identification des techniques considérées comme des schèmes d'action, localisation dans le temps, l'espace géographique et l'espace social, inventaire des connaissances et des relations fonctionnelles qu'elles mettent en jeu, etc. Bien que nous soyons loin d'avoir rempli tout ce programme en ce qui concerne le seul stockage, la méthode peut être étendue à d'autres techniques, et finalement, dans la mesure où ils sont eux aussi des schèmes d'action, à des procédés, des manières de faire, considérés habituellement comme relevant de l'économie ou de la sociologie plutôt que de la

technologie. C'est cette méthode, en particulier, qui donne son sens à l'étude des politiques céréalières que nous proposons comme thème à la réunion de Levroux en 1980.

Quant aux informations que cette recherche nous a permis de réunir, elles nous ont permis de constituer une problématique cohérente susceptible elle aussi d'être étendue à d'autres domaines, en commençant bien sûr par les plus voisins. Nous sommes très loin d'avoir trouvé toutes les solutions, au moins avons nous maintenant une idée à peu près claire des problèmes et de la façon dont ils se situent. Les directions dans lesquelles nous comptons travailler désormais sont, par exemple :

- préciser la position de certains procédés encore mal connus, comme les greniers surélevés,
- la géographie du stockage, car celui-ci est un des points du système économique où l'intervention des facteurs climatiques se fait sentir le plus directement,
- les techniques d'amont et d'aval, de la récolte à la transformation des produits céréalières,
- l'analyse des politiques céréalières,
- la poursuite de l'histoire du stockage depuis le XVIIIe siècle, dont seules les plus grandes lignes ont pu être présentées dans ce rapport, etc.

Bien entendu, tout cela continuera à s'insérer dans une entreprise qui est maintenant devenue collective. A long terme, notre objectif est de donner aux recherches de Fourastié et Grandamy sur l'évolution du prix réel des grains les prolongements qu'elles appellent. D'un côté peut-être en précisant les conséquences sociales des changements de niveau économique qu'ils ont mis en évidence. De l'autre surtout en proposant des explications pour ces changements, explications tirées de l'étude des relations techniques entre les sociétés et leurs ressources physiques en quoi consiste, finalement, la technologie.

Paris, avril 1979

BIBLIOGRAPHIE

Cette liste de références fait suite à celle qui a déjà été publiée dans Les réserves de grain à long terme (Sigaut 1978). En principe, elle ne mentionne que des ouvrages qui ne figuraient pas dans la première, à l'exception de ceux qui sont cités particulièrement souvent, et que nous avons rappelé par souci de commodité. On trouvera in fine la liste des abréviations utilisées. Le signe * précédant une référence signifie que nous n'en avons eu connaissance qu'indirectement (citations, comptes-rendus, etc.).

- ARUP Partners Ireland International et Groupe Inter G
1978 Etude sur le stockage des céréales dans les pays du Sahel.
CILSS - FED - USAID. 4 vol., multigr.
- ADAMS, J.M.
1977 "A review of the literature concerning losses in stored cereals and pulses, published since 1964". Tropical Science, 19, 1: 1-28.
- ALTROGGE, L.
1959 "Le conditionnement à la vapeur comme moyen d'augmenter le rendement et la qualité des farines". BEFM, 174: 307-313.
- AMMANN, L.
1925 Meunerie, boulangerie. Paris, J.-B. Baillière & Fils, viii-528 p.
- ANDERSON, J.A., & A.W. ALCOCK (éds.)
1954 Storage of cereal grains and their products. Saint Paul, American Association of Cereal Chemists, ix-515 p.
- ANGLADE, P.
1970 "Les insectes et acariens des céréales stockées; biologie et méthodes de lutte". BEFM, 235: 23-29.
- ANTHONIO, Q.B.O.
1974 "L'économie du stockage et ses effets sur les prix." TSPI (version française), 25: 44-45.
- Appropriate technology for grain storage. Report of a pilot project.
1977 Community Development Trust Fund of Tanzania/The Advocate Press, 94 p.
- ARMITAGE, D.M., & N.J. BURRELL
1978 "The use of aeration spears for cooling infested grain". JSPP, 14, 4: 223-226.
- "Aspect microbiologique de la conservation des produits céréaliers. Travaux réalisés à l'Ecole Française de Meunerie par le Service de Microbiologie de la Station de Biochimie et Biophysique des Céréales de l'INRA."
1970 LMF, 268: 15-23.
- "Avantages du stockage en commun des céréales (Les). L'avenir des silos."
1945 GR, 38, 9: 10.

- BCMEA
1972 Stockage et séchage du grain à la ferme. Etude technico-économique. 84 p., multigr.
- BAILEY, J.E.
1954 "Terminal elevator storage", in: Anderson et Alcock (éds), pp. 358-400.
1974 "Whole grain storage", in: Christensen (éd.), pp. 333-360.
- BAKER, A.A.
1973 "Petites installations" de stockage étanche, in: Emmagasinage des grains..., pp. 18-39.
1974 "Trials with maize and wheat stored for long periods under hermetic conditions in the Kenya 'Cyprus' bins." TSPI, 26: 33-38.
- BANKS, H.J.
1977 "Distribution and establishment of *Trogoderma granarium* Everts. (Coleoptera, Dermestidae): climatic and other influences." JSPR, 13, 4: 183-202.
- BANKS, H.J., & P.C. ANNIS
1977 Suggested procedures for controlled atmosphere storage of dry grain. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, Division of Entomology Technical Paper n° 13, 23 p.
- BARATON
1927 "Note sur la conservation des grains". RSIM, 34, 5: 401-418.
- BARRE, H.J.
1954 "Country storage of grain", in: Anderson et Alcock (éds), pp. 308-357.
- BAUDOIN, M.
1974 Cf. CNEEMA 1974, 388.
- BAUWIN, G.R., & H.L. RYAN
1974 "Sampling, inspection and grading of grain", in: Christensen (ed.), pp. 115-157.
- BENEZIT, A.
1973 "Conséquences du développement du maïs sur l'équipement céréalier français", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 735-748, et republié dans Union Agriculture, 342: 23-32, et dans Génie Rural, n° 5: 239-245.
1974a "La construction des silos à céréales". BEFM, 259: 34-41.
1974b "Les nouveaux silos: conception et construction." Economie Agricole, 7/8: 12-14.
- BERTHIER, J.
1977 "La condensation à l'intérieur des parois du bâtiment." Cahiers techniques du Moniteur, 8: 43-49.
- BICHON, F.
1972 "Conservation sous ventilation froide du maïs humide en attente de séchage." GR, 65, 10: 505-508.
1973 "Conservation et séchage électrique du maïs-grain". GR, 66, 10: 407.
- BIDAN
1937 Discussions sur le rapport de H. Nuret, in: La conservation du blé, pp. 251-264.

BIDAU, & J. ETCHEBARNE

1955 "A propos de la conservation du maïs à la ferme." GR, 48, 5: 192-193.

BITTERLIN, G.

1971 Gestion scientifique et pratique des stocks. Paris, Dunod, xi-171 p.

BOUIN, J.

1949 "Séchage ou ventilation." GR, 42, 6: 224.

BOURDELLE, M.

1952 "Exposé théorique des principes énergétiques et thermodynamiques du séchage des grains", in: Compte-rendu... sur le séchage, pp. 47-66.

BRETIGNIERE, L.

1937 "Historique et étude comparative des systèmes de conservation", in: La conservation du blé, pp. 73-78.

BRUNETEAU, J.

1965 "Méthodes et modes d'utilisation des produits antiparasitaires contre les ravageurs de céréales." BEFM, 206: 81-87.

BUQUET, R.

1974 "Technique de désinsectisation des céréales stockées." Economie Agricole, 7/8: 27-29.

BURRELL, N.J.

1974a "Chilling", in: Christensen (éd.), pp. 420-453.

1974b "Aeration", in: Christensen (éd.), pp. 454-480.

CNEEMA (Etudes)

1951, 52 Quelques conseils pratiques pour la conservation des céréales. 7 + 7 p., multigr.

1951, 54 Comment récolter, sécher et égrener le maïs-grain. 16 p.

1952, 75 La ventilation forcée des grains dans les silos (d'après Agricultural Engineering, Nov. 1951) par R.N. Robinson, W.V. Hukill et G.H. Foster. 9 p.

1952, 82 Notions théoriques simples sur la conservation des grains par ventilation forcée. 23 p.

1958, 202 Expériences sur la conservation des grains en atmosphère confinée. 17 + 21 p.

1961, 234 Une méthode de conservation du grain: la ventilation. Compte-rendu des expériences faites en 1958. 35 p. + 18 p. de tabl. et graph.

1963, 265 Résultats d'expérimentations sur la récolte des graines de colza. 27 p. + graph.

1965, 288 Expérimentations sur la récolte et la conservation de colza et de tournesol. vii-29 p. + 10 graphiques.

1969, 329 Données techniques sur la ventilation du grain, par M. Mattei sous la direction de C. Jouin. 42 p. + 10 graph.

1974, 388 Le séchage du maïs. Comparaison des différents séchoirs classiques avec le séchoir en couche épaisse dit "in bin drying", par M. Baudoin. 63 p.

1976, 415 Recherches sur le séchage du maïs-grain et étude d'un dispositif de séchage à co-courants, par W. Mühlbauer, trad. par R. Wilfart. 83 p., bibliogr.

CAC, A.

1955 "Le froid et les céréales." GR, 48, 7/8: 289-291.

- CADIERGUES, R.
1953 "La perméabilité des bâtiments à l'air, aux gaz et aux vapeurs." Annales de l'ITBTP: Série Equipement technique (37), 6, 69: 809-835.
- CALDERON, M., & CARMI, Y.
1972 "Fumigation trials with a mixture of methyl bromide and carbon dioxide in vertical bins." JSPR, 8, 4: 315-321.
- "Capacités de stockage au 1er janvier 1974 (Les)"
1974 Economie Agricole, 7/8: 8-10.
- CAUSI, P.
1954 "Le maïs dans les Hautes-Pyrénées." Agriculture, 17, 153: 45-48.
- CERES, J.-F.
1977 "La coopération céréalière en crise." Agri-Sept, 619: 9-
- "Chloropicrine (La). Son utilisation dans la destruction des parasites des céréales et des graines. Sa recherche et son dosage."
1923 RSIM, 30, 258: 56.
- CHRISTENSEN, C.M. (éd.)
1974 Storage of cereal grains and their products. Saint Paul, American Association of Cereal Chemists, 549 p.
- CHRISTENSEN, C.M., & H.H. KAUFMANN
*1969 Grain storage: the role of fungi in quality loss. Minneapolis, University of Minnesota Press, 153 p.
1974 "Microflora", in: Christensen (éd.), pp. 158-193.
- CIENSKA, K., & J. SCHNEIDER
1973 "Influence des conditions de conservation sur la capacité germinative des grains de seigle", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 241-248.
- CLARAC, R.
1955 "Cellule dite 'Clarac'." BEFM, 148: 170-174.
- CLEVE, H.
1948 "Le procédé 'Hamring' pour le décorticage de l'avoine." BEFM, 106: 202 (Compte-rendu).
1953 "Les nouveaux procédés de conditionnement." BEFM, 133: 41 (Compte-rendu).
- COLAS
1937 "Sur la technique de la construction des silos et magasins à blé", in: La conservation du blé, pp. 79-106.
- COMBE, P.
1972 "La conservation sous bâches du maïs-grain humide non broyé. Son intérêt pour un stockage report dans l'Ouest." BTI, 270: 645-654.
- Compte-rendu de la journée préparatoire d'étude sur le séchage.
1952 Paris, AGPB, 234 p.
- "Conférence internationale sur le blé a échoué (La)"
1979 Le Monde, 16 février.
- Conservation du blé (La)
1937 Paris, Société Nationale d'Encouragement à l'Agriculture, 283 p.

- "Constructions en béton armé."
1900 BSICF, 2: 242.
- CORBRION
1955 "Le point de vue des agriculteurs." (Entretien sur le stockage des grains avec C. Ollier). GR, 48, 5: 200-202.
- COSTAZ, M.
1956 "La Coopérative agricole beauceronne." GR, 49, 6: 363-364.
1965 "Le séchage des céréales." GR, 58, 6: 429-431.
- COSTAZ, M., G. PARGUEY & M. BASTIEN
1949 "Le préstockage des céréales." BTI, 39: 201-207.
- COTTON, R.T.
*1946-1963 Insect pests of stored grains and grain products. Minneapolis, Burgess Publ. Co, 242 p. 2e éd., ibid., 318 p.
- COTTON, R.T., & D.A. WILBUR
1974 "Insects", in: Christensen (éd.), pp. 193-231.
- COURADETTE
1955 "La conservation des blés en stock par la ventilation forcée." Agriculture, 18, 171: 221-226.
1955 "Equipement coopératif simple de stockage - Réalisations faites à la Coopérative agricole vendéenne de blé, à l'automne 1954." BEFM, 146: 96.
- COURTOIS, B.
1970 "Vers la mise en place d'une politique de qualité." BEFM, 235: 52-55.
- CREMER, M.
1955 "Le maïs dans les Landes. Culture, séchage, stockage." GR, 48, 5: 188-191.
- "'Cyprus' grain bins in Kenya".
1968 TSPI, 15: 27-
- DA/SE 5056
1976 Investissements de stockage et conditionnement des produits agricoles - Equipements de production - Déconcentration des aides de l'Etat. (Circulaire, Ministère de l'Agriculture, 10 juin 1976.)
- DARS 5033
1976 Traitement et stockage des céréales. Etablissement d'un plan d'équipement céréalier. (Circulaire, Ministère de l'Agriculture, 19 mars 1976.)
- DAUPHIN, J.
1948 "Le moissonnage-battage et les coopératives des céréales." GR, 41, 6: 176-180.
1961 "Vingt-cinq années de fixation du prix du blé." BTI, 158: 328-334.
1963 "Evolution du stockage des céréales en France." BTI, 179: 215-225.
1970 "La situation du stockage des céréales en France." BTI, 255: 667-673.
- DAUPHIN, J., & R. FOULHOUSE
1965 "Données générales du problème de stockage." GR, 58, 6: 377-389.

- DELASNERIE, J.
1955 "Le moissonnage-battage." BEFM, 147: 107-112.
- DELATTRE & FROUARD (Ets.)
1944 Silos étanches pour la conservation du grain. Lettre, 2 fol., adressée au Pr. P. Vayssiére.
- DESCROZAILLE
1956 "Le rôle de l'électricité dans le stockage et la commercialisation des céréales." GR, 49, 6: 241-243.
- "Développement des installations de stockage des céréales."
1951 Bulletin d'Information du Ministère de l'Agriculture, Nlle série, n° 202, ff. A1-A2.
- DONON
1937 Discussion sur le rapport de H. Nuret, in: La conservation du blé, pp. 251-264.
- DRAFRON, R.
1965 "Influence de l'activité enzymatique au cours du stockage des céréales." BEFM, 205: 48 (compte-rendu).
- DUBOURG, J.
1949 "Le séchage du blé par l'air chaud." BEFM, 112: 146-148 (compte-rendu).
- DURAND, G.
1946 "Séchage et conditionnement." BEFM, 92: 39-41.
- DUVAL, C.
1965 "Le transport des grains." GR, 58, 6: 413-416.
- "Elevadores terminales para cereales. Obras de ampliación en los elevadores de los puertos de Rosario y San Pedro."
1977 Cemento Portland, 77/78: 21-35.
- "Elévateurs à céréales."
1901 RSIM, 14, 83: 1250 (compte-rendu).
- "Elévateurs à grains aux Etats-Unis (Les)."
1902 BSIC, 2: 135 (compte-rendu).
- Emmagasinage des grains en milieu étanche à l'air.
1973 Rome, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Bulletin des Services agricoles n° 17, 75 p. bibliogr.
- ETCHEBARNE, J.
1952 "Le séchage du maïs", in: Compte-rendu..., pp. 93-106.
1954 "La conservation du maïs à la ferme." Agriculture, 17, 153: 40-42.
- EVRRARD, R.
1956 "Quelques considérations sur la conservation des glands." Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de recherche de Gembloux, 24, 4: 505-515.
- FERRIER, E.
1951 "Eidgenössisches Getreidemagazin und Siloanlage "D" in Brig", Schweizerische Bauzeitung, 69, 4: 51-65.
- FIGG, J.W.
1973 "Methods of measuring the air and water permeability of concrete." Magazine of Concrete Research, 25, 85: 213-219.

- FLEURAT-LESSARD, F.
1976 "Les acariens des stocks de céréales et d'oléagineux. Répartition, morphologie, biologie et relations avec le milieu." BTI, 310: 321-337.
- FOEX
1937a "Les organismes végétaux nuisibles à la conservation", in: La conservation du blé, pp. 25-32.
1937b "Les procédés de défense contre les parasites (organismes végétaux)", ibid., pp. 45-48.
- GELI, N.
1977 "La politique de report des céréales." GR, 70, 8/9: 23.
- GERRY, M.
1965 "Les silos à céréales de grande capacité." GR, 58, 6: 395-408.
- GILLE, B. (éd.)
1978 Histoire des techniques. Paris, Gallimard, xiv-1652 p.
- GIRAUDO, A.
1978a "Les pays riches s'accordent pour le stockage des denrées." Le Monde, 12/13 février.
1978b "Les compagnies céréalières appellent-elles un contre-pouvoir?" Le Monde, 7 mars.
- GODRON
1946 "Moissonneuse-batteuse et conservation des grains." GR, 39, 3: 9-11.
- GUELTON, M.
1959 Historique du contingentement des moulins en France. Amiens, Impr. du Courrier Picard, 55 p.
- GUERIN, M.
1974 "Au sujet de la création d'un stock de report de sécurité en céréales." GR, 67, 1: 5-10.
- GUERIN, J.-L.
1973 "Lutte contre le bruit et les poussières dans les stations de séchage thermique des maïs." GR, 66, 1: 23-25.
- GUILBOT, A.
1955 "La détermination de la teneur en eau des blés." GR, 48, 5: 175-178.
1959a "Critères de conservation et facteurs conditionnant la stabilisation des grains." BEFM, 170: 65-69.
1959b "Le dosage rapide de l'eau dans les grains." Le Producteur Agricole Français, n° 16 (tiré à part, 11 p.).
1952 "Le dosage de l'eau dans les céréales", in: Compte-rendu..., pp. 185-192.
- GUILBOT, A., & J.L. MULTON (éds.)
1973 Conservation des grains récoltés humides. Symposium international, Paris, 5-10 mars 1973. Paris, INRA, Annales de Technologie Agricole, N° hors série, 762 p.
- GUILBOT, A., J.-L. MULTON, J. POISSON, M.-T. TOLLIER & J. BURE
1971 Contribution à l'amélioration de la qualité des céréales par la définition de conditions optimales de stockage et de séchage. 16 + 4 p., multigr. (Compte-rendu de fin de contrat d'une recherche financée par la DGRST).

- GUILLARD, R.
1938 "Quelques réflexions sur les silos." BEFM, 68: 106-110, et 69: 133-135.
- GUILLEMAIN, J.
1952 "Le transport des grains en vrac." GR, 45,1: 7-9.
- GUILLEMOT, J.
1974 "Stockage des céréales: à quel jeu joue-t-on?" Economie Agricole, 7/8: 5.
- HALTER, G.S.
1973 "Design of country and terminal elevators", in: Sinha et Muir (eds.), pp. 289-312.
- HALTON, P.
1947/1948 "Le séchage du blé anglais." BEFM, 102: 226-232, et 103: 16-21.
- HAMRING, F.
1951 "Décorticage de l'avoine par voie humide." BEFM, 122: 71 (compte-rendu).
- HAREIN, P.K., & DE LAS CASAS, E.
1974 "Chemical control of stored-grain insects and associated micro- and macro-organisms", in: Christensen (éd.), pp. 232-291.
- HARRIS, R.H., & WALSTER, H.L.
1954 "Observations sur un échantillon de blé vieux de 64 ans." BEFM, 139: 43 (compte-rendu).
- HLYNKA, I., & A.D. ROBINSON
1954 "Moisture and its measurement", in: Anderson et Alcock (éds.), pp. 1-45.
- HOFFMANN, J.F.
*1904 Das Versuchskornhaus und seine wissenschaftlichen arbeiten. Berlin, Versuchskornhaus, xii-593 p.
*1912 Das Getreidekorn. Berlin, Paul Parey.
*1915 Die Sicherung der Getreideernte durch die künstliche Trocknung. Berlin, Paul Parey, 40 p.
- HOFFMANN, J.F., & D.K. MOHS
1931/1934 Das Getreidekorn. Seine Behandlung, Trocknung und Bewertung in der Praxis, nebst Darstellung von Speicherbauten und deren Zubehör. Berlin, Paul Parey, 2 vol., xii-384 et xii-394 p.
- HOUDARD
1937 "La conservation du blé. Son rôle et son importance dans l'économie agricole et dans l'économie générale", in: La conservation du blé, pp. 9-14.
- HOVELAND, C.S.
*197 Crop quality, storage and utilization. Madison, American Society of Agronomy.
- HUKILL, W.V.
1963 "Storage of seeds." CRAIES, 28, 4: 871-883.
1974 "Grain Drying", in: Christensen (éd.), pp. 481-508.
- HUNT, W.H., & S.W. PIXTON
1974 "Moisture - Its significance, behavior, and measurement", in: Christensen (éd.), pp. 1-55.

HUTCHINSON, J.B.

- 1948 "Le séchage du blé - Effet de la température sur le pouvoir germinatif des grains." BEFM, 103: 23-24.

HYDE, M.B.

- 1973a "Principes scientifiques du stockage en milieu étanche à l'air", in: Emmagasinage..., pp. 1-17.
1973b "Storage of grain in airtight silos or under vacuum", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 565-576.
1974 "Airtight Storage", in: Christensen (éd.), pp. 383-419.

HYDE, M.B., & N.J. BURRELL

- 1973 "Some recent aspects of grain storage technology", in: Sinha et Muir (éds.), pp. 313-341.

IHNE, H.

- 1977 "Qualitätsbeeinflussung durch Belüftung und Kühlung bei Kurz- und Langzeitlagerung." Getreide, Mehl und Brot, 31, 11: 280-283.

JAMES, N., & A.R. LEJEUNE

- 1952 "Microflora and the heating of damp stored wheat." Canadian Journal of Botany, 30, 1: 1-8.

JOSSOUD, M.

- 1959 "La conservation des grains en atmosphère confinée." BEFM, 170: 77-78.
1960 "La ventilation des grains." GR, 53, 6: 291-293.

JOUIN, C.

- 1952 "Les séchoirs à grains", in: Compte-rendu..., pp. 107-130.
1959 "La ventilation, le séchage en case à l'air chaud et les séchoirs continus." BEFM, 170: 71-75.
1965a "Le froid et la conservation des céréales." BEFM, 205: 9-13.
1965b "Mode de calcul pour la ventilation des grains." GR, 58, 6: 433-439.

KAPLAN, S.L.

- 1977 "Lean years, fat years: the 'Community' granary-system and the search for abundance in 18th-century Paris!" French Historical Studies, 10, 2: 197-230.

KNEULE, F.

- 1964 Le séchage. Paris, Eyrolles, 460 p.

KOLITCHEFF, V.I.

- 1932 [Les magasins et silos à grains]. Léninegrad.

LACORNE,

- 1948 "A propos du séchage du blé." GR, 41, 11: 318.

LALLOY, M.

- 1937 "Le matériel de manutention des magasins et des silos", in: La conservation du blé, pp. 107-151.
1946a "Les coopératives agricoles." GR, 39, 1: 11-13.
1946b "La moissonneuse-batteuse et la conservation du grain." GR, 39, 11: 19-21.
1947 "La coopérative agricole de la Brie." GR, 40, 3: 71-75.
1948a "La réception des blés de moissonneuse-batteuse." GR, 41, 1: 12-16.
1948b "Le séchage des blés." GR, 41, 5: 153-155.
1949 "Un problème d'actualité: le séchage des blés." BTI, 39: 209-211.

LALLOY, M.

- 1950a "Pour ou contre la moissonneuse-batteuse: petite enquête auprès des usagers." GR, 43, 2: 58-60.
1950b "Comment loger le blé à la ferme." GR, 43, 6: 209-214.
1950c "La manutention du grain en vrac." GR, 43, 7/8: 241-244.
1952 "La conservation du maïs." GR, 45, 2: 52-54.
1953 "La construction des silos et magasins à blé." GR, 46, 3: 93-100.

LAMBERT, A.

- 1951 "Le procédé des cellules métalliques pour la conservation du blé à l'air libre." GR, 44, 12: 378-379.

LANGWAY, L., E. SCIO LINO & C.J. HARPER

- 1978 "Dustbin disasters". Newsweek, 6 février.

LARMOUR, MALLOCH & GEDDES

- °1933 [Article sur la qualité du blé conservé en meules]. American Journal of Research, 9: 252 ss. (cité par Nottin 1937).

LASSERAN, J.-C.

- 1971 "Le séchage du maïs et des autres céréales." GR, 64, 2: 89-96.
1974a "Séchage du maïs: comment réduire la consommation d'énergie et limiter la hausse des frais de séchage." BEFM, 261: 156-158.
1974b "Le séchage du maïs face à la crise de l'énergie." Economie agricole, 7/8: 15-20.
1975 "Les économies d'énergie réalisables dans les techniques de séchage des grains." BEFM, 269: 272-276.
1976 "Conservé à la ferme, le blé doit garder sa qualité." Fermes modernes, Numéro hors série "Le blé, céréale d'avenir", pp. 151-158.

LASSERAN, J.-C., et al.

- 1977 "Spécial séchage du grain." Perspectives Agricoles, 6, 90 p.

LASSERAN, J.-C., & POICHOTTE, J.-L.

- 1973 "La ventilation des grains." Perspectives Agricoles, 1, 64 p.

LAULANIE

- 1937 Discussion du rapport de H. Nuret, in: La conservation du blé, pp. 251- 264.

LECOMTE, P.

- 1966 "L'équipement céréalier des ports de la Basse-Seine." Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, 63, 39: 71-74.

LE DU, J.

- 1966 "Valeurs boulangères, qualités technologiques du blé sont-elles conservées après deux ans de stockage?" BEFM, 213: 127-132.
1973 "Maïs-grain humide conservé sous vide", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 585-601.

LEGENBRE

- 1936 "Règles pour l'aération des silos." BEFM, 53: 261-262, et Recherches et inventions, 17, 262: 174-175.
1937 Discussion sur les rapports de P. Vayssière et de M. Foex, in: La conservation du blé, pp. 226-236 et 238.

LEPESME, P.

- 1945 "Les 'poudres déshydratantes' dans la protection des grains contre les parasites." BEFM, 85: 22-24.

- LEROY, M.
1950 "La conservation des grains et la méthode du point froid." BEFM, 120: 193-196.
1953 "Méthodes d'étude de l'air humide et du comportement des grains dans l'air humide." BEFM, 136: 155-160.
1959 "L'humidité des grains: méthodes modernes de conservation." BEFM, 170: 91-100.
- LINKO, P.
1960 "The biochemistry of grain storage." Cereal Science Today, 5, 10: 302-306.
- LIVERTOUX
1952 "L'aération alternante." GR, 45, 6: 200-202.
- LOCKWOOD, J.F.
1948 "Le conditionnement du blé pour la mouture." BEFM, 104: 77 (compte-rendu).
1950 La meunerie. La Jarrie, Louis David, 611 p.
- LOPEZ, C.O.
1973 "Silos souterrains étanches à l'air en Argentine", in: Emmagasinage..., pp. 57-69.
- LUNEAU, J.
1960 Intervention sur le rapport de R. Thielin, relative à la ventilation d'orge de brasserie avec de l'air réfrigéré. BEFM, 178: 188-189.
- LURASCHI, A.
1938 Le stockage des céréales. Parasites et traitements de désinfection. Rome, Fédération fasciste de la boulangerie et des industries annexes. BEFM, 69: 153-154 (compte-rendu).
- LYNEN, A., P. SCHRIBAU & J.M. GATHERON
1954 "Influence des caractéristiques d'enceintes différentes, propres au stockage d'une masse de grain, sur les équilibres entre calories émises et calories dispersées." BEFM, 139: 43 (compte-rendu).
- LYNEN, A., P. SCHRIBAU, H. NURET & J.M. GATHERON
1953 Contribution à l'étude de la conservation des grains. ONIC, 56 p. multigr.
- "Magasins à grains du port de Gènes (Les)"
1901 RSIM, 14, 90: 1251.
- "Magasin des Moulins de Montrouge (Le)"
1896 La Meunerie Française, 12: 283-288.
- MARCHEAL, M.
1964 Le nouveau silo portuaire de Strasbourg, sa place dans la politique céréalière française. Strasbourg, Editions de la navigation du Rhin, 8 p.
- MARZKE, F.O., A.F. PRESS Jr & G.C. PEARMAN Jr
1970 "Mortality of the Rice Weevil, the Indian-meal Moth, and Trogoderma glabrum exposed to mixtures of atmospheric gases at various temperatures." Journal of Economic Entomology, 63, 2: 570-574.
- MATTEI, J.N.
1969 Cf. CNEEMA, 1969, 329.

- MENSCH, G.
1977 Das technologische Patt. Frankfurt aM., Fischer Taschenbuch Verlag, 283 p.
- MICHON, G.
1954 "Le stockage et la conservation du grain à la ferme en Angleterre." Agriculture, 17, 158: 207-209.
- MILNER, M., C.M. CHRISTENSEN & W.F. GEDDES
1947 "Grain Storage Studies. VI. Wheat respiration in relation to moisture content, mold growth, chemical deterioration, and heating." Cereal Chemistry, 24, 3: 182-190.
- MILNER, M., & W.F. GEDDES
1946a "Grain Storage Studies. III. The relation between moisture content, mold growth, and respiration of soybeans." Cereal Chemistry, 23, 3: 225-247.
1946b "Grain Storage Studies. IV. Biological and chemical factors involved in the spontaneous heating of soybeans." Cereal Chemistry, 23, 5: 449-470.
- Ministère de l'Agriculture
S.d. ONIC. Office National Interprofessionnel des Céréales.
Paris, 84 p.
- Mission "Maïs" aux U.S.A. (Rapport de la)
1952 "Le séchage du maïs." BTI, 73: 636-661.
- "Moulins de Corbeil (Les)"
1895 "La Meunerie Française, 11: 10-11.
- MOUNTFIELD, J.D.
1948 "Le séchage du blé. I. Le séchage du Manitoba." BEFM, 103: 21-22.
- MUHLBAUER, W.
1975 Cf. CNEEMA, 1975, 415.
- MULHEARN, P.J., H.J. BANKS, J.J. FINNIGAN & P.C. ANNIS
1976 "Wind forces and their influence on gas losses from grain storage structures." JSPP, 12, 3: 129-142.
- MULTON, J.-L.
1974 "Céréales récoltées humides: problèmes de conservation." Economie Agricole, 7/8: 21-29.
- MULTON, J.-L., & H. BIZOT
1977 Les interactions physicochimiques entre l'eau et les aliments; leurs conséquences technologiques dans le cas de la conservation des céréales et du rassissement du pain. Nantes, 22 p. + annexes et graphiques, dactylogr. Communication au colloque "Le pain", Paris, CNERNA, 14-15 nov. 1977.
- MULTON, J.-L., & A. GUILBOT (éds.)
1973 Conservation des grains récoltés humides/Preservation of wet harvested grains/Lagerung von feucht geerntetem Korn. Paris, 762 p. (Numéro hors série de Annales de Technologie Agricole, INRA).
- MULTON, J.-L., & J.-C. LASSERAN
1978 Silothermométrie: étude des transferts de chaleur et de vapeur d'eau dans un silo de grains en l'absence de ventilation. Nantes & Boigneville, 10 p., dactylogr. (INRA/ITCF).

- MULTON, J.-L., J. POISSON & A. GUILBOT
1969 "Les altérations du grain de blé après la récolte." BTI, 244.
- MULTON, J.-L., E. TRENTESAUX & A. GUILBOT
1973 "Détermination de l'aptitude des grains à l'utilisation immédiate et au stockage", in: Multon et Guilbot (éds), pp. 195-210.
- NAKAMURA, S.
1975 "The most appropriate moisture content of seeds for their long life span." SST, 3, 3/4: 747-759.
- NAKATA, H. et al.
1974 "Effect of phosphine on the respiration of adult Sitophilus zeamays Motsch." JSPR, 10, 2: 87-92.
- NASH, M.J.
1978 Crop conservation and storage in cool temperate climates. Oxford, Pergamon Press, xii-393 p.
- NASZALYI, M.
1946 "Pertes de séchage et de stockage, gains d'hydratation." BEFM, 91: 13-15.
- NAVARRO, S., & M. CALDERON
1974 "Exposure of Ephestia cautella (Wlk) pupae to carbon dioxide concentrations at different relative humidities: the effect on adult emergence and loss in weight." JSPR, 10, 3/4: 237-241.
- NEUMANN, M.P.
1929 Brotgetreide und Brot. Lehrbuch für die Praxis der Getreideverarbeitung, und Hand- und Hilfsbuch für Versuchsanstalten, Nahrungsmittel- und Untersuchungsämter und Laboratorien der Mühlen, Bäckereien und Fachschulen. Berlin, Paul Parey, 3. Auflage, vii-567 p.
- NOTTIN, P.
1937 "Morphologie et biologie du blé. Risques d'altération d'ordre chimique et biologique", in: La conservation du blé, pp. 15-23.
- NURET, H.
1933 "Silos, boisseaux, chambres à farines et à issues." La Meunerie Française, 49, 515: 13-14, 516: 34-37, 517: 59-62, 519: 106-109, 520: 133-136, 521: 160-166, 523: 219-223.
1937 "Considérations générales sur le classement, la conservation et le nettoyage des blés dans les silos", in: La conservation du blé, pp. 163-188.
1952 "La ventilation du grain", in: Compte-rendu..., pp. 67-90.
1955 "Le séchage et la ventilation des grains." GR, 48, 5: 180-184.
1959 "Généralités sur la conservation." BEFM, 170: 61-63.
1970 "Notes sur le mélange des blés." BEFM, 235: 40-45.
- NURET, H., J. DUBOURG, A. LEMIERRE & F. SAUZE
1948 "Données pratiques sur la préservation de la récolte de blé." BEFM, 106: 135-141.

NURET, H., & P. SCHRIBAU

- 1953 "Expression graphique d'une formule analytique traduisant les états de stabilité ou d'instabilité d'une masse de grains sains." Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences, 237: 526-528.

O'CONNELL, A.F.

- 1955/1956 "Etudes des nouveaux procédés de conservation et de séchage des céréales." BEFM, 146: 74-75, 147: 119-122, 148: 175-180, 151: 31-33, 15
1956 "Chauffage de l'air appliqué à la stabilisation des grains." BEFM, 152: 92-94.

OLLIER, C.

- 1965a "Evolution et spécialisation des silos à céréales. Conception générale et prix de revient." GR, 58, 6: 425-428.
1965b "Manutention et ventilation dans les magasins à fond plat." GR, 48, 6: 441-444.
1965c "Les silos à céréales." Travaux, 363: 150-157.
1965d "Le stockage des céréales." BEFM, 207: 123-130.
1968 "Problèmes techniques et coût du stockage de collecte." BEFM, 228: 255-274.

OLLIER, C., & CORBRION

- 1955 Cf. Corbrion 1955.

ONIC

- 1967 à Evolution des capacités de stockage. Rapport multigr.
1978 établi deux fois par an, en mars et en septembre de chaque année.
1977 Principaux règlements du conseil et de la commission des Communautés européennes relatifs à l'organisation commune des marchés dans le secteur des céréales. Numéro spécial du Bulletin Officiel de l'ONIC, N° 77-15 bis, x-599 p.
1978a Avis relatif aux conditions de réservation de 245 000 t (valeur blé) de capacités de stockage..., multigr., 8 p. (circulaire n° S.G. 376/78).
1978b Cahier des charges relatif au stockage-achat des céréales. Multigr., 13 p. + annexes (circulaire n° S.G. 261/78).
1978c Campagne 1978-1979. Cahier des charges fixant les conditions générales de prise en charge par l'ONIC des céréales offertes à l'intervention. Multigr., 10 p. + annexes (circulaire n° 548/78).

ORGLMEISTER, G.

- 1951 "Suka-Silo der Rösselmühle in Graz." Österreichische Bauzeitung, 46: 6-7.

OSBORNE, P.J.

- 1977 "Stored product beetles from a Roman site at Droitwich, England." JSPR, 13, 4: 203-204.

OUGAROV, A.M.

- 1938 Le séchage du grain. Moscou-Leningrad, 1937, 284 p. (compte-rendu dans BEFM, 1938, 72: 255.)

OXLEY, T.A., & G. WICKENDEN

- 1963 "The effect of restricted air supply on some insects which infest grain." Annals of Applied Biology, 51: 313-324.

- PAQUES, G., & D. MATVEEF
1950 "Rendement thermique des sécheurs à air chaud." BEFM, 115: 6-10, 116: 46-56.
- PARNEIX, P., P. COMBE, & C. FEVRIER
1971 "La conservation du maïs-grain à l'état humide et son utilisation zootechnique." BTI, 264/265: 1019-1032.
- PAVY, E.
1867 Le Crédit Agricole par les réserves de blé (...) Tours, Imprimerie nouvelle E. Mazereau et Cie, 15 p.
- PEISSI, P.
1946a Les silos en acier pour céréales. Paris, ITBTP, Circulaire Série G n° 13 du 10 juillet 1946, 10 p.
1946b Lettre à P. Vayssière, accompagnée de "Constatations faites aux silos en béton armé de Fez et aux silos métalliques de Meknès", dactylogr., 5 p., signé: Crépin, 1934.
- PELHATE, J.
1968 BEFM, 227: 231-236 (compte-rendu).
- 76 PERRIGNON DE TROYES
1926 "Le commerce des grains aux Etats-Unis d'Amérique." RSIM, 33, 10: 930-944.
- PERSON, N.K. Jr, & J.W. SORENSON
1970 "Use of gaseous nitrogen for controlling stored-products insects in cereal grains." Cereal Chemistry, 47, 6: 679-686.
1973 "The effects of gaseous nitrogen on emergence of immature stages of rice weevils (*Sitophilus oryzae* L.)", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 401-409.
- PETIT, P.
1926 Brasserie et malterie. Paris, Gauthier-Villars et Cie, nouvelle édition revue..., 2 vol., 1025 p.
- PICHARD, E., & D. SALMONT
1976 La coopération céréalière, 1900-1976. Paris, FFCAC, 131 p., multigr.
- PICKSTOCK, M.
1974 "Turning point for world agriculture." World Crops, 26, 1: 38-40.
- PILLET, M.
1972 "Une méthode en progression, l'ensilage sous vide entre bâches plastiques." GR, 65, 5: 285-286.
- "Place d'un arrangement international sur les céréales dans le contexte du marché actuel."
1977 L'agriculture dans le monde, 26, 1: 4-10 (Extrait du rapport du Groupe sur les Céréales de la Fédération Internationale des Producteurs Agricoles).
- POICHOTTE, J.-L.
1974 "L'économie de main-d'oeuvre dans le séchage des grains." GR, 67, 3: 137-139.
1975 "La manutention des grains." GR, 68, 2: 49-53.
- 94 "Poiraud (Le silo-cellule -)"
1960 GR, 53, 1: 37.

- POMERANZ, Y.
1974 "Biochemical, functional, and nutritive changes during Storage", in: Christensen (éd.), pp. 56-114.
- Postharvest food losses in developing countries
1978 Washington D.C., National Academy of Sciences, viii-206 p.
- POURSAIN, P.
1975 "La manutention des céréales dans les silos." *Economie Agricole*, 7/8: 21-22.
- PRADHAN, S., P.B. MOOKHERJEE & G.C. SHARMA
1965 "'Pusa' bin for grain storage." *Indian Farming*, 15, 1: 14-17.
- PRATIQUE, J.
1949 "Les turbo-souffleurs aspirateurs." *BEFM*, 110: 42-46.
1955 "Les silos, aspects technique et économique." *BEFM*, 150: 280-287.
- PRESS, A.F., & P.K. HAREIN
1967 "Mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae) in simulated peanut storages purged with carbon dioxide and nitrogen." *JSPR*, 3, 2: 91-96.
- PUYO, J.
1958 "Le nouveau centre de séchage-stockage de maïs de Paul-Billière." *GR*, 51, 10: 421-428.
1965 "Le séchage du maïs." *GR*, 58, 7/8: 485-487.
- "Que faut-il penser de la moissonneuse-batteuse?"
1946 *GR*, 39, 6: 5-10.
- REBIFFÉ, J.
1955 "Amélioration de la qualité des blés au stade organisme stockeur." *BEFM*, 146: 97 (compte-rendu).
1965 "Qualités requises d'un centre moderne de stockage coopératif." *GR*, 58, 6: 421-423.
- REBOUL, C.
1976 "Récolte et stockage: c'est le temps qui guide le choix des équipements." *Fermes modernes*, Numéro hors-série: 131-136.
- Recommandations techniques pour la conception, l'étude et la construction des silos.
1976 Paris, multigr., 25 p., Ministère de l'Agriculture, Bureau d'Etudes des Equipements frigorifiques et de stockage, et Chambre des Ingénieurs-conseils de France en Génie civil.
- REIMBERT, A.
1956 "Construction des silos et travaux de Génie civil." *BEFM*, 151: 13-23.
- REIMBERT, M., & A. REIMBERT
1956 "Nouveaux procédés de construction des silos métalliques de petites et moyennes capacités." *Acier/Stahl/Steel*, 21, 1: 21-26.
- RENAUD, J.
1973 "Maïs-grain en attente pour séchage: ouverture de silos." *La France Agricole*, 29, 1446: 49-51.

- RENAUD, J.
1974 "Le stockage d'attente des maïs et autres grains en silos plastiques." La France Agricole, 30, 1522: 22-24.
- RICHARD
1924a "Note sur les aspirateurs à grains du port de Dunkerque." RSIM, 31, 2: 185-189.
1924b "Note sur le silo à grains du port de Dunkerque." RSIM, 31, 12: 1142-1151.
- RIGNAULT, P.
1974 "Les investissements, instrument indispensable du développement de la coopération." Economie Agricole, 7/8: 7.
- ROBINSON, R.N., W.V. HUKILL, & G.H. FOSTER
1951 Cf. CNEEMA 1952, 75.
"Le rôle des ports de la Communauté pour le trafic de céréales et de farines."
1974/1975 Informations Internes sur l'Agriculture, Nos 122 à 127, et 155 à 161.
- ROSCHER, W.
1854 Du commerce des grains et des mesures à prendre en cas de cherté. Paris, Guillaumin & Cie et Vve Bouchard-Huzard, 200 p. [Trad. de Ueber Korntheuerungen, Ein Beitrag zur Wirthschaftspolizei. Stuttgart & Tübingen, J.G. Gotta, 1847].
- ROSS, A.C.
1973 "Cellules à demi-enterrées utilisées à Chypre et au Kenya", Emmagasinage des grains..., pp. 40-56.
- SCEES (Ministère de l'Agriculture)
1976 "Le stockage à la ferme", pp. 64-74 in: Résultat des enquêtes sur les productions céréalières en 1975 (Tome 1), Caractéristiques générales des exploitations cultivant des céréales. Série "Etudes" de Statistique agricole, Supplément, n° 146, décembre 1976, 146 p.
- SCHMIDT, E.A.
1938 "Un accident de bateau contribue à des études scientifiques." BEFM, 72: 259 (compte-rendu).
- SCHRIBAU, P.
1956 Conservation des céréales. Conférence du 3 mai 1955 à l'INA. Paris, ONIC, multigr.
1959 "Conservation des céréales et ventilation froide." BEFM, 170: 79-89.
- "Séchage des céréales (Le)"
1955 GR, 48, 5: 194.
- "Séchage du blé (Le)"
1955 Bulletin d'Information du Ministère de l'Agriculture, n° 7, fol. B11-B12.
- "Séchage des grains par la ventilation (Le)"
1949 BTI, 39: 213-219.
- SECTION TECHNIQUE CENTRALE des Industries de transformation des denrées d'origine végétale
1967 "Stockage des céréales. Equipement actuel, perspectives de développement." GR, 60, 4: 283-297.

- SEMENIUK, G.
1954 "Microflora", in: Anderson et Alcock (éds.), pp. 77-151.
- SENATORSKY, B.V.
1937 "La conservation de la farine en silos." BEFM, 59: 126-130.
- SENN, E.
1977 "Vers l'organisation de stocks-réserves de coton." Le Monde, 7 octobre 1977.
- SHEJBAL, J., A. TONOLO, & G. CARERI
1973 "Conservation of wheat in silos under nitrogen", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 631-643.
- SHOVE, G.C.
1973 "Transient air temperature at low flow deshydrates deep beds of grain", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 173-178.
- SIGAUT, F.
1978 Les réserves de grain à long terme. Techniques de conservation et fonctions sociales dans l'histoire. Publications de l'Université de Lille III, 202 p.
1979 "La redécouverte des silos à grains en Europe occidentale, 1708-1800", in: M. Gast et F. Sigaut (éds.), Les techniques de conservation des grains à long terme, Marseille, Ed. du CNRS (sous presse).
- SIJBRING, P.H.
1963 "Results of some experiments on the moisture relationship of seeds." CRAIES, 28, 4: 835-843.
- "Silo à sucre à Bresle (Oise, France)"
1958 Bulletin de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes, 17: 48.
- "Silo métallique de la Coopérative agricole de céréales de la région de Pithiviers (France)."
1957 Acier/Stahl/Steel, 22, 1: 55-58.
- "Silos métalliques étanches entièrement soudés."
1959 Informations techniques (Philips Industrie), 16.
- "Silos subterraneos de hormigon."
1954 Cemento Portland, 30: 6-8.
- "Silos subterraneos de hormigon."
1957 Cemento Portland, 43: 17-21.
- "Silos subterraneos revestidos con suelo-cemento."
1948 Revista del Instituto del cemento Portland Argentino, 4, 17: 11-14.
- SINHA, R.N., & W.E. MUIR (éds.)
1973 Grain storage: part of a system. Westport (Conn.), The Avi Publishing Co, xiii-481 p.
- SINHA, R.N.
1973 "Ecology of storage", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 211-229.
- SMIRNOV, A.I., & V.L. KRETOVITCH
1946 "Biochimie du grain stocké." BEFM, 93: 101 (compte-rendu).

- SMITH, L.B., & S.R. LOSCHIARO
1978 "History of an insect infestation in Durum wheat during transport and storage in an inland terminal elevator in Canada." JSPR, 14, 4: 169-180.
- SOLOMON, M.E.
1965 "Archaeological records of storage pests: *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) from an Egyptian Pyramid tomb." JSPR, 1, 1: 105-107.
- SPRATT, E.C.
1975 "Some effects of the carbon dioxide adsorbency of humidity controlling solutions on the results of life history experiments with stored products insects." JSPR, 11, 3/4: 127-134.
- SROUR, S.
1978 "Régulation automatique des séchoirs à grains." GR, 71, 1/2: 21-24.
- STEFFAN, J.-R.
1974 "La conférence OEPP sur les déprédateurs des produits stockés." BEFM, 264: 285-287.
- "Stockage des céréales (Le). Equipement collectif ou équipement individuel."
1953 GR, 46, 1: 17-18.
- "Stockage des céréales (Le)."
1978 Grains, 177: 13-23, et 178: 17-25.
- STOREY, C.L.
1975 "Mortality of *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus granarius* (L.) in atmospheres produced by an exothermic inert atmosphere generator." JSPR, 11, 3/4: 217-221.
- THEIMER, O.F.
1951 "Sur les explosions de poussières dans les moulins et les silos." BEFM, 121: 71 (compte-rendu).
- 1954 "Voies nouvelles dans le séchage des céréales." BEFM, 144: 270 (compte-rendu).
- THIELIN, R.
1960 "Point de vue d'un utilisateur sur les problèmes de stockage et de conservation." BEFM, 178: 175-190.
- TOUGARINOV, V.V.
1938 Le séchage à froid du grain. Moscou, 69 p. (compte-rendu dans: BEFM, 72: 255).
- "Transport des grains par eau aux Etats-Unis (Le)."
1900 BSIC, 2: 264.
- TRUCHETTO, M., & B. DE VILLEROCHÉ
1961 "Les techniques de séchage du maïs." GR, 54, 10: 437-439.
- TURTLE, E.E.
1951 "La circulation des gaz dans les silos à grains." BEFM, 121: 34 (compte-rendu).
- "Un nouvel exemple de réalisation économique de silo-magasin."
1955 GR, 48, 5: 195.
- "Une nouvelle technique: le silo souple."
1949 BEFM, 114: 222.

- VATELOT, M.
1968 "Le stockage du blé." BEFM, 228: 247-254.
- VIEL
1970 Intervention sur l'exposé de P. Anglade, sur les résidus d'insecticides. BEFM, 235: 29-30.
- VIEL, J.
1958 "La construction des silos à céréales au Maroc." Annales de l'ITBTP, 11, 131: 1194-1215.
- VILLIER, T.A., & D.J. EDGCUMBE
1975 "On the cause of seed deterioration in dry storage." Seed Science and Technology, 3, 3/4: 761-774.
- VITAL, & VIALARD
1963 "Utilisation de l'énergie électrique pour la déshydratation et la conservation du maïs." GR, 56, 7/8: 429-438.
- "Wheat Pests Problem (The)."
1921 Agricultural Journal of India, 16: 194-198.
- WHYMPER, R., & A. BRADLEY
1947 "A note on the viability of wheat seeds." Cereal Chemistry, 24, 3: 228-229.
- WILLIAMS, P.
1973 "Grain insects control by aeration of farm silos in Australia", in: Multon et Guilbot (éds.), pp. 417-421.
- ZACHER, F.
°1927 Die Vorrats-, Speicher- und Materialschädlinge und ihre Bekämpfung. Berlin, Paul Parey, 366 p.
1944 Vorratsschutz gegen Schädlinge. Ein Leitfaden für Müller, Bäcker und Getreidehändler. Berlin, Paul Parey, 113 p.
- ZELENY, L.
1954 "Chemical, physical and nutritive changes during storage", in: Anderson et Alcock (éds.), pp. 46-76.
- 647

LISTE DES ABREVIATIONS

REVUES

BEFM	Bulletin des Anciens Elèves de l'Ecole Française de Meunerie
BSIC (F)	Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils (de France)
BTI	Bulletin Technique d'Information (Ministère de l'Agriculture)
CRAIES	Compte-Rendus de l'Association Internationale d'Essais de Semences (devenu: SST)
GR	Génie Rural
JSPR	Journal of Stored Products Research
LMF	La Meunerie Française
RSIM	Revue du Service de l'Intendance Militaire
SST	Seed Science and Technology
TSPI	Tropical Stored Products Information
WAERSA	World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts

ORGANISMES

AGPB	Association Générale des Producteurs de Blé
AGPM	Association Générale des Producteurs de Maïs
CNEEMA	Centre National d'Etudes et d'Expérimentation du Machinisme Agricole
FFCAC	Fédération Française des Coopératives Agricoles Céréalières
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
ITBTP	Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics
ITCF	Institut Technique des Céréales et des Fourrages
ONIB/ONIC	Office National Interprofessionnel du Blé / des Céréales
UGCAF	Union Générale des Coopératives Agricoles de Céréales Françaises
UNCAC	Union Nationale des Coopératives Agricoles de Céréales

LISTE DES PERSONNES RENCONTREES

- M. A. BARET, Directeur du Département Semences, Coopérative Agricole du Valois, Le Plessis-Belleville (Oise)
- M. Y. BERNARD, Ancien Chef de Silo, Coopérative agricole "La Providence de la Champagne, Reims (Marne)
- M. BOISSIERES, Ministère de l'Agriculture, Direction de l'Aménagement, Bureau des Equipements frigorifiques et de stockage, Paris
- M. M. DIDON, Ancien Chef de Silo, Coopérative agricole "La Providence de la Champagne", Pringy (Marne)
- M. GALIEGUE, Directeur, Société coopérative agricole de Walincourt et Gouy, Walincourt (Nord)
- M. J. GUILLEMOT, Ancien président des Coopératives céréalières de l'Aisne (UGCAF), Buzancy (Aisne)
- Mme. HESNARD, ONIC, Service commercial, Paris
- Ms. M.B. HYDE, Chercheur (en retraite), Pest Infestation Control Laboratory, Slough (GB)
- M. A. JONAS, Directeur, Coopérative "L'essor agricole de Cambrai", Cambrai (Nord)
- Mme. KLEIN, ONIC, Service technique, Paris
- M. LABRUSSE, Chef du secteur de Vitry-le-François, Coopérative agricole "La Providence de la Champagne", Vitry-le-François (Marne)
- M. J.-C. LASSERAN, Recherche et Développement Stockage des grains, ITCF, Boigneville (Essonne)
- M. MALISIEUX, Directeur commercial, Société Blénord, Cambrai (Nord)
- M. J.-L. MULTON, Directeur de recherche INRA, Laboratoire de Biophysique des Aliments, Nantes (Loire-Atlantique)
- M. E.V. NILES, Chercheur, Pest Infestation Laboratory, Slough (GB)
- M. H. NURET, Ancien Directeur de l'Ecole Française de Meunerie, Président de l'Association des anciens élèves, Paris
- Mme. OBERST, Ministère de l'Agriculture, Direction de l'Aménagement, Bureau des Equipements Frigorifiques et de Stockage, Paris
- M. S.W. PIXTON, Pest Infestation Control Laboratory, Slough (GB)
- M. J.-L. POICHOTTE, Ingénieur, CNEEMA, Antony (Hauts-de-Seine)
- Mme. J. POISSON, Chargé de Recherche INRA, Laboratoire de Microbiologie des céréales, Paris
- M. P. VAYSSIERE, Académie d'Agriculture, Ancien Professeur d'Entomologie appliquée au Museum National d'Histoire Naturelle, Paris

(Extrait de MSH Informations, 1977, 18: 16-19. Une version légèrement différente a paru dans Le Courrier du CNRS, août 1977.)

LES TECHNIQUES DE CONSERVATION

DES GRAINS ET LEURS FONCTIONS SOCIALES (Sénanque, 8 et 9 mars 1977)

On a souvent considéré que la facilité de stockage des céréales a largement contribué à l'importance du rôle qu'elles ont joué dans l'histoire. Or, cette facilité est relative. Dès qu'on dépasse certaines limites de volume et de durée, les risques de pertes deviennent considérables. Et si des solutions adéquates ne sont pas trouvées, c'est l'existence même des réserves qui peut être compromise. La façon dont une société gère ses réserves de grains dépend en premier lieu de l'importance, du prix qu'elle y attache. Mais elle dépend aussi des solutions techniques qu'elle connaît (ou qu'elle ignore).

L'objet du séminaire de Sénanque, organisé conjointement par le Groupe "Ecologie et Sciences humaines" de la MSH et par le Laboratoire d'Anthropologie et de Préhistoire des Pays de la Méditerranée Occidentale (LAPEMO) d'Aix-en-Provence, était de rechercher les voies d'une collaboration pluridisciplinaire qui peut seule permettre un progrès de nos connaissances dans ce domaine. Les participants, au nombre d'environ 25, étaient des archéologues (préhistoriens et médiévistes), des historiens, des ethnologues (pays méditerranéens) et des agro-économistes intéressés aux techniques dites "appropriées".

Au point de départ de la problématique

se trouvent une technique spécifique de conservation des grains à long terme, et deux constatations. La technique, étrange et exotique à nos yeux d'Européens actuels, est celle des silos souterrains. Les deux constatations sont : 1) qu'il ne s'agit pas d'un procédé simple réservé aux agricultures primitives ou aux pays arides, mais au contraire d'une méthode élaborée, mettant en jeu des savoirs nombreux et complexes; 2) que jusqu'au milieu du XIXe siècle, les "fosses à grains" ont été l'une des techniques les plus répandues dans le monde pour le stockage des grains en quantités importantes. En fait, le terme "silo" désignait à l'origine les "fosses à grains" en espagnol; il a été diffusé dans le vocabulaire agronomique international par les agronomes français, qui, ayant découvert cette technique lors des guerres napoléoniennes, tentèrent de l'introduire en France à partir de 1819.

L'histoire de ces tentatives à l'intérêt de soulever, de proche en proche, presque tous les problèmes techniques, économiques, juridiques, politiques etc., relatifs à la gestion des réserves de grains. Un résumé de cette problématique d'une trentaine de pages avait été diffusé préalablement auprès des personnes invitées au séminaire (le tirage actuel de ce document est épuisé; un nouveau tirage, augmenté, est envisagé).

A la demande de plusieurs participants, la première séance de travail fut consacrée à une discussion sur la nomenclature. La com-

plexité de la question ne tarda pas à apparaître, et le tableau obtenu, à l'état d'esquisse, demandera un important travail de mise au point par approximations successives. La coordination pourrait en être assurée par C. BROMBERGER.

Les silos souterrains ont une importance particulière en archéologie, à cause des vestiges qu'ils ne manquent pas de laisser dans le terrain. Il s'agit entre autres, 1) de reconnaître parmi toutes les fosses découvertes dans les fouilles celles qui ont pu servir au stockage des grains, et 2) de tirer des silos reconnus comme tels des informations aussi sûres que possible, en précisant leur répartition géographique, leur situation par rapport aux habitations ou aux champs, leur capacité, etc. Depuis une dizaine d'années, des expérimentations sont en cours en Angleterre sur l'ensilage souterrain des grains. Leur but est de tester les hypothèses relatives aux très nombreuses fosses trouvées dans les sites d'habitat de l'Age du Fer (La Tène I et II, essentiellement). Méthode et résultats de ces essais ont fait l'objet d'un exposé de Peter J. REYNOLDS, directeur du "Butser Ancient Farm Project" (1). Un autre exposé, dû à Michel FIXOT, a posé le problème des nombreuses fosses trouvées dans les sites médiévaux du Sud-Est de la France. Des sources historiques assez nombreuses confirment par ailleurs l'utilisation de silos souterrains à grains dans une grande partie du Sud-Ouest jusqu'au XVIIIe siècle; H. BESSAC, de Montauban, a présenté ceux qu'il a retrouvés chez lui (2). Le fait que beaucoup d'inventeurs ont voulu voir systématiquement dans toutes leurs trouvailles des "fosses à offrandes" a grandement contribué à masquer les vrais problèmes qui se posaient à leur sujet. Ce n'est pas le moindre de ces problèmes que de savoir pourquoi, même dans le Sud-Ouest, la tradition orale n'a conservé aucun souvenir des anciens silos.

Pour l'histoire moderne (XVIe-XIXe siècle), la question des techniques de conservation est étroitement liée à celle de la "police" des grains. Dans un grand nombre de villes d'Italie, de Suisse et d'Allemagne, se trouvaient des réserves de grains gérées, ou au moins contrôlées, par les municipalités ou par l'état: Office du blé à Venise, Abbondanza de Gênes et de Florence, Office de l'Annone à Côme, etc. (3). L'exposé de Mme C. BEUTLER était consacré aux greniers publics ("Kornhäuser") de plusieurs villes d'Allemagne. Il y a bien sûr un problème qui est celui du fonctionnement effectif, sur le plan juridique comme sur le plan technique, de ces institutions, qui entretenaient souvent des réserves à très long terme. Un autre problème est leur absence dans un pays comme la France, à de rares exceptions près, comme Lyon et surtout Strasbourg. La police des grains y était purement réglementaire et à base d'interdictions (d'exporter, de stocker, de transporter...) ou de contraintes diverses (dont la taxation), mais sans que le pouvoir se soit jamais préoccupé, semble-t-il, de constituer des réserves. Le cas de l'Angleterre s'écarte encore plus du modèle européen moyen, avec les célèbres "corn-laws" prévoyant des primes à l'exportation des grains.

Il n'a pas été possible, au cours du séminaire, d'entrer plus avant dans le détail de ce qui est en fait un autre domaine de recherche. Mais les différentes polices des grains dans l'Europe des XVIe-XIXe siècles ne sont que des solutions particulières, élaborées dans des sociétés urbanisées et étatisées à des degrés divers, à un problème plus général qui est celui du mode de gestion des réserves par le groupe. Ce problème se pose tout autant dans les sociétés moins urbanisées auxquelles s'intéressent plus particulièrement les ethnologues.

L'importance sociale des réserves de grains est particulièrement évidente en Afrique

du Nord. On connaît les greniers collectifs, souvent fortifiés (ksars, agadirs) caractéristiques de cette région. Moins connues mais aussi importantes sont les aires d'ensilage (retba) groupant les silos d'une tribu sous la responsabilité d'un gardien. Les exposés du Père LOUIS (Tunisie du Sud) (4) et de C. LEFEBURE (Maroc) ont montré à quel point les réserves de grains sont (étaient) considérées comme vitales par les intéressés. En cas de crise, tout ce qui est humainement possible sera fait pour assurer leur protection, et réciproquement, elles sont un des objectifs premiers de tout pouvoir qui cherche à s'imposer ou à s'étendre. D'où la valeur heuristique de ce thème de recherche. Les documents dont on dispose à ce sujet ne sont pas seulement oraux. La richesse des archives coloniales, par exemple, a été signalée par J.L. MIEGE. Des inventaires assez complets paraissent d'ores et déjà possibles, notamment en matière de cartographie.

La situation documentaire n'est pas comparable dans un pays comme l'Iran. Dans le cas des Baxtiari, les relations entre déplacements saisonniers du groupe, système de culture et modes de stockage ont été mises en évidence par J.P. DIGARD. Dans le Ghilan, les types de granges à riz, dans les régions où en existent plusieurs, traduisent des différences de position de leur propriétaire dans la hiérarchie sociale (exposé de C. BROMBERGER).

Un point important sur le plan technique est celui de la nature des grains stockés grains nus ou vêtus par exemple. L'exposé de Mme M.C. AMOURETTI et G. COMET a montré l'intérêt de cette problématique dans l'histoire de l'alimentation sous l'Antiquité gréco-latine. Mais il faut aussi prendre en considération, pour la question des réserves ménagères, la nature du produit stocké (grains décortiqués ou non, semoules, gruaux, farines, etc.), dont Mme FERCHIOUX a montré la très grande variété en Tunisie.

On arrive avec ces questions aux problèmes touchant plus directement la nutrition, dont l'intérêt a été souligné par M. GAST. On sait encore peu de choses de l'incidence des différentes techniques de conservation des grains sur leurs qualités alimentaires. Mais le peu que l'on sait suffit à montrer qu'il y a là de nombreux problèmes, que seuls des travaux approfondis, associant ethnologues et biochimistes, permettront de résoudre.

C'est certainement dans ce domaine précis qu'une coopération entre chercheurs des sciences humaines et des sciences naturelles peut être la plus féconde dans le court terme. Le point de vue des techniciens a été présenté par M. TREILLON, professeur d'économie à l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires (ENSIAA) de Douai-Massy. Les difficultés et les échecs rencontrés dans la diffusion aux pays du Tiers-Monde des techniques dites "lourdes" (à fort coefficient de capital) conduisent de plus en plus de techniciens à leur chercher des alternatives, moins coûteuses et plus à la portée des artisans et des travailleurs locaux. Ce sont ces solutions autres qui sont qualifiées de techniques "appropriées". Or, la constatation de base est que l'information relative à ces techniques ne circule pas, parce qu'il n'existe aucun organisme, public ou privé, qui la prenne en charge. C'est cette lacune précise que certains enseignants de l'ENSIAA, groupés en "Cellule thématique", veulent contribuer à combler dans leur domaine. Il ne s'agit pas de proposer une doctrine, ni d'une manière générale d'empiéter en quoi que ce soit sur les responsabilités des dirigeants des pays intéressés, mais simplement d'élargir leurs possibilités de choix en diminuant la partialité des informations dont ils disposent. En l'état actuel de la question, il n'y a pas de choix possible lorsque l'existence même d'alternatives n'est pas connue.

Les techniciens souhaitent qu'une coopération avec les ethnologues sur ces bases puisse s'organiser. Le problème n'est pas nouveau, et ce n'est pas la première fois qu'ethnologues et agronomes, par exemple, collaborent sur le terrain. Mais la discussion engagée sur ce point a montré qu'une coopération régulière, institutionnalisée pour ainsi dire, posait des problèmes pratiques et même théoriques qui appelaient une réflexion plus approfondie que par le passé.

Participants au séminaire :

Mme M.C. AMOURETTI, UER d'Histoire, Université de Provence, Centre d'Aix; Mme G. AUMASSIP; Mme M.G. AUBIN, Géographe, Paris; M. H. BESSAC, Société Française d'Etude des Souterrains, Montauban; Mme C. BEUTLER, Centre de Recherches Historiques, Paris; M. C. BROMBERGER; M. G. CAMPS, LAPEMO, Aix-en-Provence; M.J.P. CHASSANY, Station d'Economie Rurale, INRA, Montpellier; M. G. COMET, UER d'Histoire, Université de Provence, Centre d'Aix; M. J. P. DIGARD, Chargé de Recherches au CNRS, Paris; M. R. ECHES, IDERIC, Nice; Mme FERCHIOUX, M. M. FIXOT, Université de Provence, Centre d'Aix; M. M. GAST, Maître de Recherches au CNRS, LAPEMO, Aix-en-Provence; M. C. LEFEBURE, Ethnologue, E. R. 191, Paris; M. A. LOUIS, CNRS, Tunis; M. J.L. LIEGE, Directeur de l'Institut de Recherches Méditerranéennes, Aix-en-Provence; M. MARCHETTI, IDERIC, Nice; M. MALECOT, CHEAM, Paris; M. P.J. REYNOLDS, Directeur du "Butser Ancient Farm Project", Petersfield, Hants., G.B.; M. F. SIGAUT, Maison des Sciences de l'Homme, Paris; M. TREILLON, Professeur d'Economie, ENSIAA, Massy.

N'ont pu participer, mais avaient envoyé des documents :

M. L. KUNZ, Musée de Moravie, Département d'Ethnographie, Brno, Tchécoslovaquie; M. H. BRESCH, Archéologie médiévale de la Sicile, Paris; Mme Y. TRIANTAFYLLOU, Centre de Recherches Historiques, Paris; M. R. MAUNY, Centre d'Etudes Africaines, Université de Paris I.

Notes

(1) P.J. REYNOLDS, 1974, "Experimental Iron Age Storage Pits: An Interim Report", Proceedings of the Prehistoric Society, 40 : 118-131.

P.J. REYNOLDS, 1976, "The Butser Ancient Farm Project", in: International Study Conference on the Role of Regional Ethnology in Environmental Interpretation and Education, Denmark 16-21 August 1976, Report. Strasbourg, Conseil de l'Europe, multigr. John COLES, 1973, Archaeology by Experiment, London, Hutchinson University Library, 182 p. (pp. 39-45).

(2) H. POLGE, 1976, "Lou cros", Bulletin de la Société archéologique, historique, littéraire et scientifique du Gers, 77, 1: 34-44.

(3) Il existe une énorme littérature sur le sujet de la police et du commerce des grains. Voir en particulier :

F. BRAUDEL, 1949, La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II, Paris, A. Colin, xv-1160 p. (pp. 277 et suiv., "le problème du blé", "Les offices du blé", et pp. 447-470, "La faillite du blé méditerranéen").

E. LEPITRE (éd.), 1910, Essai sur la police générale des grains, sur leurs prix et sur les effets de l'agriculture, par Cl.-J. HERBERT, 1755. Paris, Paul Geuthner, xliii-vii-166 p. (l'introduction signale les références essentielles).

N.S.B. GRAS, 1915, The Evolution of the English Corn Market from the twelfth to the eighteenth Century, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, xiii-498 p. (Harvard Economic Studies, XIII).

Arnold SOOM, 1969, Der Baltische getreidehandel im 17. Jahrhundert, Stockholm, 350 p. J. AHVENAINEN, 1963, Der Getreidehandel Livlands im Mittelalter, Helsinki, 253 p. (Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Humanarum Litterarum XXXIV, 2).

(4) André LOUIS, 1975, Tunisie du Sud. Ksars et village de crêtes. Paris, CNRS, 370 p.

activités scientifiques

(Extrait de MSH Informations, 1978, 26: 3-6.)

DEUXIEME SEMINAIRE SUR LA CONSERVATION DES GRAINS

(ARUDY, 2-4 juin 1978)⁺

+

Le Deuxième séminaire sur la conservation des grains s'est tenu à Arudy (Pyrénées-Atlantiques) du 2 au 4 juin 1978. La réunion était organisée conjointement par le groupe Ecologie et sciences humaines de la Fondation MSH et par le Laboratoire d'anthropologie et de préhistoire des pays de la Méditerranée occidentale (LAPMO) d'Aix-en-Provence.

Comme la première rencontre qui avait eu lieu à Sénanque (1), le séminaire d'Arudy réunissait une vingtaine de participants, ethnologues, archéologues et historiens. Le choix du Sud-Ouest comme lieu de rencontre répondait à l'existence, en Gascogne, d'un grand nombre de silos souterrains, les *eros* ou *crossis*, étudiés notamment par M. Henri Polge. La journée du 4 juin fut employée à en visiter quelques-uns.

Trois thèmes étaient à l'ordre du jour du séminaire d'Arudy : les greniers sur pilotis, notamment dans le Nord-Ouest

(1) Cf. *MSH-Informations* (18), mai 1977, pp. 16-19.

- Voir en annexe les publications en cours.

+ Nous venons d'apprendre le décès de M. Henri Polge, survenu le 27 juillet 1978. C'est une perte immense pour tous ceux qui travaillent sur l'ethno-histoire de l'agriculture.

ibérique ; les silos souterrains, principalement en Europe centrale ; et enfin le rôle économique et social des réserves de grain.

L'intérêt des greniers sur pilotis ibériques (esp. *hórreos*, port. *espigueiros*) n'est pas seulement d'être un type particulier d'édifices, très remarquables d'ailleurs sur le plan esthétique, et protégés comme tels par la loi espagnole. Les *hórreos* représentent en fait bien davantage un mode de stockage particulier, partie intégrante de systèmes de production particuliers, eux-mêmes basés sur la culture de céréales particulières comme les millets (remplacés par le maïs depuis le XVI^e ou le XVII^e siècle), ou, dans les Asturies, l'épeautre. On retrouve certains aspects de ces systèmes dans d'autres régions d'Europe, par exemple la culture de l'épeautre dans le Sud-Ouest de l'Allemagne et en Suisse, ou les greniers sur pilotis dans les Alpes occidentales. Et il semble bien qu'ils aient connu une extension beaucoup plus grande dans le passé, à l'Age du Fer et au Haut Moyen-Age. D'où leur intérêt pour les archéologues. Un inventaire exhaustif et une typologie détaillée des *hórreos* espagnols ont été présentés par le Professeur J.M. Gomez-Tabanera. L'exposé de P.J. Reynolds portait sur l'utilisation, par un archéologue travaillant sur l'Age du Fer britannique, des faits tech-

niques encore directement observables en Galice. Parallèlement, un premier dépouillement de la littérature archéologique sur les structures de stockage en Europe du Nord - avec parmi celles-ci une majorité de constructions sur pilotis - a été présenté par O. Buchsenschutz.

Le second thème, celui des silos souterrains, prolongeait très directement les travaux de Sénanque, et d'une façon extrêmement concrète. Dans le Bassin danubien en effet, l'usage des silos souterrains (non exclusif bien sûr de bon nombre d'autres techniques) s'est poursuivi jusque dans les années qui ont suivi la deuxième guerre mondiale. D'où, pour les ethnologues, la possibilité de recueillir des informations remarquablement complètes et précises. A titre de comparaison, il faut rappeler que dans le Sud-Ouest de la France, où l'on a cessé d'utiliser les *cros* dès le XVIII^e siècle, la mémoire populaire a perdu toute trace des connaissances relatives à leur emploi effectif. C'est ainsi que la découverte en 1947, au cours de travaux de terrassement, de silos abandonnés récents, a permis à L. Kunz d'interroger des vieillards du village voisin sur le site même et de filmer leurs gestes ; film qu'il présenta lui-même à Arudy. L'exposé de E. Füzes était un panorama d'ensemble des techniques de stockage utilisées dans les régions hongroises. Dans le sien, A. Villes présentait les problèmes d'interprétation des structures souterraines tels que les techniques modernes de fouille (stratification des cônes de débris, profil d'érosion des fosses, etc.) permettent de les poser : forme initiale des fosses, durée d'existence utile, traces d'usage (ou leur absence), causes d'abandon, processus d'érosion et de comblement après abandon, etc. Sur plusieurs de ces points, la confrontation des données ethnographiques et archéologiques s'avéra tout à fait passionnante.

Le troisième thème, celui du rôle politi-

co-économique des réserves de grain, devrait prendre de plus en plus d'importance à l'avenir. Ce thème n'avait pu être qu'effleuré à Sénanque : les trois exposés qui lui ont été consacrés à Arudy donnent une première idée des développements qu'on peut en attendre. Celui d'I. de Garine, accompagné d'un film, était une analyse du rôle des réserves de mil dans le cycle agricole annuel d'un village Serer (Sénégal). Dans des conditions aussi différentes que possible, celles de la Chine impériale ancienne, l'exposé de F. Bray montrait que l'importance des réserves de grain dans la vie politico-administrative de l'empire était tout à fait comparable - cet exposé fut suivi d'une discussion et de remarques enrichies par la participation de P.E. Will, auteur d'une recherche récente sur un sujet très proche, celui de la politique de lutte contre la famine en Chine au XVIII^e siècle. C. Beutler, enfin, présentait une analyse de la façon dont les différents problèmes relatifs au stockage - problèmes techniques notamment - avaient été traités dans la littérature économique et scientifique en France au XVIII^e siècle. Elle attira également l'attention sur une question quelque peu oubliée depuis le début, celle de la durée du stockage (court, moyen ou long terme).

Perspectives

Après ce deuxième séminaire sur un thème dont l'ampleur dépasse les prévisions initiales, il n'est sans doute pas inutile de faire le point sur les orientations de recherche qui se trouvent désormais ouvertes. Celles-ci feront l'objet de discussions par lettres entre les chercheurs intéressés, dont plusieurs n'avaient pu venir à Arudy ou n'y avaient pas présenté d'exposé. Mais dès maintenant, on peut signaler les quatre directions suivantes :

1. Technologie. Nos connaissances dans ce domaine ont considérablement progressé. Pour les régions les mieux connues, Europe, Pays méditerranéens et Proche-Orient, on peut sans doute envisager de passer à un travail de synthèse qui pourrait être un atlas des modes de stockage des grains. Pour les régions les moins bien connues, Afrique noire, Arabie du Sud, Inde et Asie du Sud-Est, l'inventaire des différentes techniques est à faire. Cet inventaire intéresse des organismes comme le GASGA (1), organisme qui émane de la FAO et de plusieurs instituts de recherche, ce qui indique à la fois que le sujet est actuel, et qu'il existe des possibilités de collaboration avec les biophysiciens, nutritionnistes, etc.

2. Ecologie. C'est un des points sur lesquels il reste le plus à faire. La compréhension des altérations auxquelles donne lieu la conservation à long terme des grains est assez avancée, grâce surtout aux travaux des chercheurs britanniques du Pest Infestation Laboratory de Slough. Mais il reste à préciser la nature exacte des changements qui surviennent dans tel ou tel cas, en relation avec les différentes habitudes alimentaires. Comme le précédent, ce domaine offre en principe de larges possibilités de collaboration avec les biologistes.

3. Economie. Il s'agit là encore d'un thème très actuel. Le stockage occupe une position stratégique dans le commerce des grains et la formation de leur prix, qui demande une analyse plus poussée. D'autre part, ces problèmes eux-mêmes ont joué un rôle déterminant dans la formation de la pensée économique au XVIII^e siècle et au début du XIX^e.

4. Politique. Comme on l'a dit plus haut, l'étude comparative de l'organisation du stockage en fonction de l'organisation sociale dans différentes sociétés est appelée à un très grand développement. Développement tel, d'ailleurs, qu'un des premiers problèmes à résoudre sera celui du choix des questions à traiter en priorité. Dans ce domaine, une collaboration étroite entre ethnologues et historiens sera indispensable.

Face à ces perspectives, la formule simple d'un séminaire annuel ne suffira probablement pas. Des contacts qui ont été pris dans les derniers mois à ce sujet, ressortent les propositions suivantes :

- structurer davantage le groupe de travail de facto que constituent les quarante à cinquante chercheurs intéressés par ce sujet, pour en faire notamment un interlocuteur valable pour les pouvoirs publics - et financiers ; la solution d'une association "loi de 1901" a été proposée par M. Gast.

- faire circuler les informations nouvelles survenues entre deux réunions au moyen d'un bulletin d'informations (proposition de S.L. Kaplan).

Ces questions seront examinées lors d'une réunion prévue pour la mi-novembre à la Maison des Sciences de l'Homme.

François SIGAUT
Groupe Ecologie et
Sciences Humaines.

Communications de :

(1) GASGA : Groupe d'Assistance aux Systèmes concernant les Grains Après récolte (sont membres du GASGA : la FAO, et des Instituts de recherche agronomique ou alimentaire du Canada, du Nigéria, de France, de Grande-Bretagne et des Etats-Unis).

Mme C. Beutler (Hist., Centre de recherches historiques, EHESS - Paris), *Traditions et innovations dans les techniques de conservation des grains à la ville*

Laboratoire d'Anthropologie et
de Préhistoire des Pays de la
Méditerranée Occidentale
3-5 Avenue Pasteur
13100 Aix-en-Provence

Groupe "Ecologie et Sciences
humaines", Maison des Sciences
de l'Homme
54 Boulevard Raspail
75270 Paris Cedex 06

"CONSERVATION DES GRAINS"

Réunion du 1er février 1979

Cette réunion informelle a eu lieu à l'occasion d'un passage de Marceau Gast à Paris. Y ont participé: M.-C. Aubin, C. Beutler, J. Chapelot, J.-P. Digard, M. Gast, A. Geistdoerfer, M. Grolleaud, C. Lefébure, J. Revel, F. Sigaut, A. Testart.

REUNION DE LEVROUX EN 1980

Sur proposition d'O. Buchsenschutz, la prochaine réunion "Conservation des grains" aura lieu à Levroux (Indre) dans la seconde moitié de 1980. La date en sera fixée ultérieurement, soit dans la première quinzaine de septembre, soit dans la seconde quinzaine de novembre.

Il est souhaitable que la réunion suivante, en 1982 ou 1983, puisse avoir lieu en Europe orientale, pour faciliter la participation de chercheurs des pays socialistes. Un contact préliminaire a été pris à ce sujet avec I. Balassa, Directeur du Musée d'Agriculture de Budapest (Hongrie).

RECHERCHES ACTUELLES SUR LE STOCKAGE

La communauté technico-scientifique internationale manifeste depuis quelque temps un intérêt de plus en plus vif pour les problèmes liés au stockage des récoltes. Deux groupes nouveaux ont vu le jour récemment:

- le GASGA (Groupe d'Assistance aux Systèmes concernant les Grains Après-récolte), fondé par la FAO et des Instituts de recherche de plusieurs pays (Canada, Nigéria, France, Grande Bretagne, Etats-Unis); intervient surtout dans les pays tropicaux; antenne en France: l'IRAT, 110 rue de l'Université, Paris VIIe;
- un Groupe de coordination en matière de denrées stockées (céréales), constitué sous l'égide du Service de la Protection des Végétaux du Ministère de l'Agriculture, et qui cherche à regrouper tous ceux qui, en France, s'intéressent au stockage des grains; secrétaire actuel: P. Ducom, SPV, BP 47, 33150 Cenon-La Morlette.

Viennent par ailleurs d'être publiés:

Postharvest Grain Loss Assessment Methods Manual, édité par K.L. Harris et C.L. Lindblad (American Association of Cereal Chemists)

Postharvest Food Losses in Developing Countries (National Academy of Sciences, Washington)

Appropriate Technology for Grain Storage, A Report on a Pilot Project (The Community Development Trust Fund of Tanzania - Advocate Press, New Haven).

Enfin, une Etude sur le stockage des céréales dans les pays du Sahel a été réalisée à la demande des pays du Club du Sahel sous la direction de M. Grolleaud.

PUBLICATIONS EN COURS

Les réserves de grain à long terme, par F. Sigaut (Editions de la MSH / Publications de l'Université de Lille III, 202 p.), vient de sortir.

Actes de la réunion de Sénanque: les premières épreuves sont à la correction. M. Gast signale les difficultés provoquées par les corrections d'auteur demandées par certains, en contradiction avec les règles habituelles.

Actes de la réunion d'Arudy: 10 communications sur les 16 annoncées sont parvenues; 4 autres sont promises à bref délai; un problème à résoudre est celui de la traduction d'une partie de la thèse inédite de L. Kunz, pour laquelle un financement est nécessaire.

THEMES POUR LA REUNION DE LEVROUX (1980)

Bien qu'il soit loin d'être épuisé, le thème initial — techniques de conservation des grains — demande maintenant à être élargi, et cela, semble-t-il, dans trois directions:

- les modes de gestion des réserves, ou autrement dit les politiques de stockage dans diverses sociétés,
- les techniques de récolte et de préparation alimentaire des grains, c'est-à-dire l'ensemble de la chaîne dont le stockage n'est qu'un maillon,
- le stockage des produits alimentaires dans les sociétés non agricoles.

Il s'agit, dans chacune de ces directions, de définir des sujets de recherche précis, susceptibles de faire l'objet d'exposés par trois à six chercheurs sous la coordination de l'un d'entre eux.

a) Les politiques de stockage.

Un premier texte (cf. annexe 1) a été adressé à S.L. Kaplan et C. Poni. Il vaut surtout pour l'Europe Occidentale moderne (XVI^e - XIX^e siècles). Mais il semble possible d'élaborer une problématique comparable pour d'autres domaines, notamment:

- les pays industrialisés depuis le développement du commerce mondial des grains dans les années 1860-1880 (coord. F. Sigaut)
- l'Afrique du Nord et le Proche-Orient musulmans (coord. J.-P. Digard et C. Lefébure)
- les empires andins précolombiens (suggéré par J. Revel, qui cite les noms de N. Wachtel et C. Morris)

M. Gast insiste sur l'importance des aspects idéologiques (cf. annexe 2). J. Revel souligne qu'il est essentiel, pour des raisons de méthode, d'obtenir la participation d'économistes.

b) Techniques de récolte et de préparation alimentaire des grains.

- techniques de mouture: le manque de synthèse sur les pierres à moudre en archéologie et en ethnologie est rappelé par F. Sigaut, M. Gast et A. Testart; les noms de H. Camps-Fabrer, N. Kraybill et A. Nelken-Terner sont évoqués à ce sujet;
- céréales vêtues en Europe: les céréales vêtues, épeautre, millets, orge, etc., ont joué un rôle prépondérant en Europe de l'Age du Fer au Haut Moyen Age; on sait par des survivances plus récentes que des techniques spéciales de récolte, de stockage et de préparation leur étaient associées; ce sujet sera pris en charge par J. Chapelot, en collaboration avec O. Buchsenschutz.

c) Le stockage dans les sociétés non-agricoles.

La pratique du stockage alimentaire dans certaines de ces sociétés y

introduit des différences dont l'importance n'est sans doute pas moindre que celle qu'on attribue traditionnellement à la domestication. D'autre part, la problématique n'est pas la même suivant qu'il s'agit de produits végétaux, pour lesquels le stockage peut conduire à la domestication, ou de poisson, pour lequel cette éventualité n'existe pratiquement pas. (La viande est plus généralement partagée que stockée, et n'entre guère en ligne de compte ici). Ces deux sujets sont pris en charge respectivement par A. Testart et A. Geistdoerfer.

PROBLEMES MATERIELS

La capacité d'hébergement à Levroux est de plus de 100 personnes, et dépasse donc largement nos besoins. Pour les participants français, il est préférable que, comme auparavant, chacun obtienne lui-même le financement de ses frais de l'institution à laquelle il appartient. Il faut par contre prévoir le financement partiel (séjour + partie des frais de voyage) des participants étrangers, au nombre d'une dizaine environ. Frais de reproduction des communications: seule la reproduction de résumés d'une page, tapés avec ruban-film, peut être envisagée. La diffusion à l'avance des communications n'est possible que si les auteurs eux-mêmes se chargent de les faire parvenir en nombre suffisant d'exemplaires.

Sources de financement à solliciter:

- CNRS: dossier à établir au 1er juillet 1979, pour présentation à la session d'automne (M. Gast);
- DGRST: le thème "céréales vêtues en Europe" entre dans le cadre d'une action concertée de la DGRST (J. Chapelot)
- MSH: invitation des participants étrangers; aide au point de vue secrétariat;
- EHESS, CRH: aide secrétariat, invitation de certains participants.

Paris, février 1979

LES POLITIQUES DE STOCKAGE DES GRAINS

Place - Objectifs - Fonctionnement - Interprétations

Remarques préliminaires

1. Il existe une politique de stockage de grains (et plus généralement, de tous les produits alimentaires de base) dans toutes les sociétés sédentaires.
2. C'est dans les sociétés hiérarchisées, et notamment dans les sociétés étatiques, que cette politique est la plus visible, car beaucoup de ses mécanismes y prennent la forme d'institutions ad hoc. D'où l'intérêt pratique de commencer la recherche par ces sociétés, ce qui n'exclut pas de la poursuivre ensuite dans les autres.
3. La diversité des politiques de stockage - et de non-stockage - dans les sociétés européennes depuis le Moyen Age offre un champ privilégié pour les études comparatives. Par exemple, on peut se demander pourquoi un pays comme la France, au contraire de tous ses voisins continentaux, n'a jamais réussi à mettre sur pied un système de réserves analogue à celui des villes italiennes, suisses ou allemandes, alors même que l'idée en fut âprement débattue pendant au moins deux siècles.

L'analyse des politiques de stockage peut se faire à partir de plusieurs "entrées" différentes (au sens de : tableau à double entrée). Il nous semble que les quatre entrées suivantes : place, objectifs, fonctionnement et interprétations, sont commodes.

PLACE (Qui stocke ?)

Il s'agit de localiser le stockage :

- dans le tissu social : famille, communauté villageoise, seigneurie, ville, état central ...
- dans le circuit production-consommation (sauf en économie de subsistance, où le circuit est bouclé sur lui-même) : stockage à la ferme, au marché, stockage portuaire (exportation ou importation), stockage chez les meuniers et boulangers, etc.

Remarque : à côté du stockage du produit lui-même, il existe un stockage du travail pour ainsi dire, dans la mesure où l'on prépare en une fois une réserve de produits prêts à cuire pour une longue période : cas du bulgur au Proche-Orient, des pâtes italiennes, de certaines formes de pain en Scandinavie ou dans les pays alpins, de toutes sortes de conserves céréalières en Tunisie (S. Ferchiou). Ce stockage-travail semble surtout important au niveau familial.

OBJECTIFS (Pourquoi on stocke ?)

On peut stocker : pour prévenir les disettes, pour soutenir les cours, pour spéculer à la hausse, pour lutter contre l'usure, pour payer des soldats ou des fonctionnaires, dans un but de prestige ou rituel, etc.

Il faut naturellement distinguer les objectifs avoués ou proclamés des objectifs réels. On peut d'ailleurs se demander si tous ces objectifs ne se ramènent pas à deux : précaution (thésaurisation) et capitalisation. Le stockage de précaution est lié au niveau et à la variabilité des prix (la spéculation n'en est qu'un aspect). Le stockage de capitalisation est lié

au caractère plus ou moins monétaire de l'économie : il est d'autant plus important que le rôle monétaire des grains est grand relativement aux autres formes de monnaie. Bien entendu, précaution et capitalisation ne sont nullement des objectifs indépendants.

FONCTIONNEMENT (Comment on stocke ?)

Les mécanismes du stockage sont à examiner aux niveaux suivants :

- pratique : technique de conservation, pertes, coûts, bilans...
- institutionnel : lois et règlements, personnel (corporation telles que les sfossatori de Foggia ; mode de désignation des responsables), modes de contrôle et de surveillance, répression des vols, etc. ; fonctionnement théorique et effectif de ces institutions ; intentions des pouvoirs et pressions populaires, etc.
- économique : résultats comparés des politiques de stockage dans le domaine des prix et de la prévention des disettes.

INTERPRETATIONS

Il y a deux niveaux auxquels interpréter les politiques de stockage (ou de non-stockage) : l'évaluation des résultats sur la base des faits tels qu'ils nous sont connus actuellement, et cette même évaluation telle qu'elle était faite par les contemporains dans le contexte idéologique de leur époque. Par exemple, la controverse sur les "greniers d'abondance" a joué un rôle important, et probablement sous-estimé, dans la genèse de la pensée économique au XVIII^e siècle (on a encore publié des projets de tels greniers en France vers 1870 !). Cette controverse opposait pour l'essentiel libéraux et dirigistes, les premiers étant partisans d'une liberté absolue du commerce des grains, les seconds d'une certaine intervention des pouvoirs publics, se traduisant entre autres par un système de stockage. Leur querelle nous semble avoir des implications très importantes, et encore actuelles.

Paris, le 24 novembre 1978

F. SIGAUT

ANNEXE 2

En réponse à la note du 24 Novembre 1978 de F. SIGAUT sur "LES POLITIQUES DE STOCKAGE DES GRAINS", il me paraît nécessaire d'aller plus avant dans un domaine peu exploré jusqu'alors dans nos recherches; c'est celui des idéologies.

Idéologies liées d'une part à des croyances magico-religieuses très anciennes (comme le furent pour les Occidentaux les mystères d'Eleusis, les cultes à Demeter, etc. ou le culte du paddy en Asie) et peut-être aussi, d'autre part, créées par l'esprit des hommes en fonction de l'opportunité d'un climat, d'un écosystème, d'un héritage agronomique et technologique, etc.

- quels sont les rapports entre les qualités (agronomique, boulangère, marchande, culturelle) d'une espèce ou d'une variété de céréale et la place qu'on lui a accordée à une époque donnée au niveau de sa consommation, de sa conservation, dans l'idéologie locale.

- quels sont les rapports entre les critères ci-dessus et la véritable valeur nutritive de la céréale. Comment les techniques de traitement et de conservation sont-elles intervenues au niveau du choix préférentiel d'une espèce ou d'une variété à une époque donnée ? par quels processus historiques, dans quel contexte économique, technologique, culturel ?

N'est-il pas significatif qu'à notre époque où l'on hypervalorise les protéines animales, la consommation des céréales et du pain soit en régression dans les pays industrialisés et qu'on offre aux consommateurs, riches ou pauvres, des produits de plus en plus raffinés, voire dénaturés, pour réserver à l'élevage animal les sous-produits qui, en réalité, représentent les parties les plus importantes de ces céréales afin de les transformer en viande et en lait ?

Quels sont les rapports entre les structures pyramidales de la maîtrise du marché international du grain (production, conservation, distribution), les idéologies régionales ou nationales minoritaires face au monstre fallacieux et gaspilleur du monde occidental qui a su admirablement sécréter des contre-idéologies plus redoutables que ses propres techniques ?

Enfin, à notre époque qui exacerbe la consommation d'énergie fossiles, n'est-il pas significatif que le prix du quintal de blé, qui fut la référence mondiale de tout notre système économique, ait été supplanté par celui du baril de pétrole brut ? Comme si l'on vivait davantage d'électricité et d'automobiles que de pain (voir la panacée du P.N.B. dans les calculs économiques). Comment s'est instaurée cette primauté technologique qui a engendré une pareille inversion dont le premier résultat est d'un côté la pléthore alimentaire dans les pays riches et de l'autre la famine la plus tragique dans les pays pauvres ou non industrialisés ?

Marceau GAST

LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES GRAINS
LEUR ROLE DANS LA DYNAMIQUE DES SYSTEMES DE CULTURE ET DES SOCIETES

SOMMAIRE DU VOLUME I, Actes du séminaire de Sénanque (8-9 mars 1977).
sous presse (parution prévue début 1979).

Introduction, par F. Sigaut

Méthodologie

Bromberger, C., Pour une typologie des réserves alimentaires.

Adrian, J., R. Drapron et M. Gast, Caractéristiques biochimiques d'un grain de sorgho conservé pendant 5 ans dans un silo souterrain au Yémen.

Sigaut, F., La redécouverte des silos à grains en Europe occidentale, 1708-1880.

Mauny, R., Contribution à l'étude des fosses ovoïdes et silos.

Antiquité

Amouretti, M.-C., Les céréales dans l'Antiquité : espèces, mouture, conservation, liaisons et interférences.

Reynolds, P.-J., A general report on underground grain storage experiments at the Butser Ancient Farm Research Project.

Moyen-Age et époque moderne en Europe

Bessac, H., Fosses votives ou silos à grains ?

Beutler, C., De l'approvisionnement en grains de quelques villes européennes au Moyen-Age et à l'époque moderne.

Bolens, L., La conservation du grain en Andalousie médiévale d'après les traités d'agronomie hispano-arabes.

Bruneton-Governatori, A., Des différentes techniques traditionnelles de conservation des châtaignes.

Comet, G., A propos de diverses céréales au Moyen-Age.

Fixot, M., Découvertes récentes de silos médiévaux en Provence (Xe - XIIIe siècles).

Polge, H. (†). Lou cros.

Triantafyllidou-Baladie, Y., Greniers publics et familiaux en Grèce du XVIe au XXe siècle.

Afrique du Nord et Proche-Orient

Bromberger, C., Notes sur les granges à riz du Gilan (Iran) : stratification sociale et technique de conservation.

Digard, J.P., Note sur les rapports entre techniques de conservation du grain et structure sociale chez les nomades Baxtyâri d'Iran.

Ferchiou, S., Conserves céréalières et rôle de la femme dans l'économie familiale en Tunisie.

Gast, M., Réserves à grain et autres constructions en République arabe du Yémen.

Louis, A., La conservation à long terme des grains chez les nomades et semi-sédentaires du Sud de la Tunisie.

Vignet-Zunz, J., Les silos à grains souterrains dans trois populations arabes : Tell algérien, Cyrénaïque et Sud du Lac Tchad.

Conclusion, par Marceau Gast.

SOMMAIRE DU VOLUME II, Actes du séminaire d'Arudy (2-4 juin 1978), en préparation (la disposition finale du volume n'étant pas encore arrêtée, la liste des contributions est donnée par ordre alphabétique d'auteurs).

Introduction, par M. Gast et F. Sigaut.

Avrilleau, S., (titre non définitif), Les silos à blé de Foggia (Italie) et les silos à riz de Meuong-Ngan (Laos).

Barraud, C., Le stockage à très long terme du millet dans une communauté villageoise des Moluques.

Beutler, C., Traditions et innovations dans les techniques de conservation des grains à la ville et à la campagne, Europe occidentale, XVe-XVIIIe siècles. Examen critique des sources.

Bray, F., Les réserves publiques de grains en Chine impériale.

Buchsenschutz, O., Eléments bibliographiques sur les silos de l'Age du Fer en Europe.

Fournier, D., Deux types de grenier du plateau central mexicain.

Garine, I., Greniers à mil dans l'arrondissement de Thienaba, région de Thiès, Sénégal.

Gomez Tabanera, J.M., Les greniers sur pilotis en Espagne septentrionale (en Espagnol).

Füzes, E., La conservation traditionnelle des grains dans le bassin des Carpathes (en Allemand).

Kunz, L., (titre non définitif), Les silos souterrains de la plaine de Moravie et des régions voisines.

Lassure, J.M., Un groupe de silos médiévaux découvert en 1964 à Saint-Michel de Touch (Haute-Garonne).

Lefébure, C., (titre non définitif), Les silos souterrains du Maroc.

Reynolds, P.J., Economie agricole et structures des réserves de grain dans le Nord-Ouest de l'Espagne (en Anglais).

Sigaut, F., Silos et hórreos : pertinence d'une opposition en fonction des autres éléments du système de culture (titre non définitif).

Testard, A., Note sur la conservation des produits végétaux chez les chasseurs-cueilleurs.

Villes, A., Etude des silos des sites d'habitat du Bronze et du Fer en Champagne crayeuse.

LA REDECouverte DES SILOS A GRAINS EN EUROPE OCCIDENTALE, 1708-1880

(Ce texte fait partie du 1er volume que nous co-éditons avec M. Marceau Gast aux Editions du CNRS de Marseille, et dont le sommaire figure plus haut. Il est actuellement sous presse, aussi n'en donnons-nous ici que le résumé. Il sera adressé au CORDES lors de sa parution.)

RESUME

Depuis près de trois siècles, des agronomes européens ne cessent de découvrir et de redécouvrir les silos souterrains, avec à chaque fois le même étonnement, tantôt incrédule, tantôt naïf. Aujourd'hui, c'est leur étonnement — qui fut aussi le nôtre — qui nous étonne. Comment était-il possible d'ignorer à ce point un procédé de conservation des grains utilisé couramment depuis des millénaires dans une bonne moitié des régions cultivées de la planète?

Mais en un sens, cet étonnement nous est utile, par le fossé qu'il révèle entre savoir scientifique et connaissances populaires, dans un domaine où pourtant il n'y a pas de limite nette entre l'un et les autres. Il est utile aussi par les recherches auxquelles il a donné lieu: les unes descriptives, qui sont souvent pour nous d'excellentes sources ethno-historiques; et les autres expérimentales, aujourd'hui bien oubliées, mais qui ont précédé de plus d'un siècle le développement des recherches actuelles. Les deux courants, descriptif et expérimental, se rejoignent dans les travaux de Doyère (1850-1862), dont les observations en Espagne sont d'un intérêt exceptionnel pour comprendre le fonctionnement des méthodes traditionnelles. Quinze ans après Doyère, Müntz (1878-1880) inaugure l'ère des travaux de laboratoire. Mais plus rien ne sera fait ensuite jusqu'en plein vingtième siècle.