

1979b  
n: 1-13

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

Par F. Sigaut  
Octobre 1977

Un pionnier: Reneaume, 1708.

Pour un Européen d'aujourd'hui, le fait que des grains enfouis dans le sol puissent s'y conserver plusieurs mois, voire plusieurs années, est très difficile à admettre. Pour ma part en tous cas, et comme sans doute la plupart des agronomes actuels, je n'en avais pas le moindre soupçon. En fait, j'étais si loin d'imaginer qu'il pût y avoir d'autres moyens que le séchage et la ventilation pour assurer la conservation du grain en vrac, que je ne songeais même pas à me poser la question. Il est probable que je ne me la serais jamais posée, si je n'avais trouvé un jour le récit suivant.

"Il se trouve dans le Quercy, país abondant en grains, certaines Carrieres de sable dans lesquelles on enfoiit le bled après avoir fait un lit de paille au fond, on y jette le bled qui s'y refoule et s'arrange: lorsque ces Puits sont pleins on y remet de la paille dessus, puis on recouvre le tout de terre. On en use à peu près de même en certains endroits d'Italie, où l'on fait des caveaux de pierre destinez à cet usage. En Pologne et en Hongrie, sans trop choisir on creuse une fosse quarrée dont on bat la terre au fond et aux côtéz, on les garnit ensuite de planches tant pour soutenir les terres que pour tenir le bled à sec, on les recouvre après, & l'herbe croît sur leurs greniers, & ils y labourent. Outre que cette maniere conserve le grain, elle le met encore en sûreté dans les país sujets à de fréquentes révolutions, & il est assez ordinaire qu'on en use de la sorte dans les endroits où on fait la guerre. C'est pour cette raison qu'on trouve quelquefois sous terre des Magazins anciens remplis de bleds dont on n'avoit aucune connoissance, desquels le grain est bien conservé, ainsi qu'on m'a assuré qu'il étoit arrivé il y a quelques années à Saint Quentin dans des ruines de bâtimens, et à Montargis sous des mesures que l'on démolissoit. Le bled ainsi conservé se desseche moins que les autres: mais quand une fois les Magazins sont ouverts & qu'ils sont exposez

à l'air, on est obligé de les vider au plus tôt, & les grains qu'on en tire ont besoin d'être travaillés comme s'ils étoient nouveaux, autrement ils se gâteroient bien-tôt. Il y a encore une différence à remarquer de ces bleds conservez en terre d'avec les autres, c'est que le pain en est plus nourrissant & a plus de goût." (Reneaume 1708)

J'avais deux possibilités devant ce texte. Soit le considérer comme une simple anecdote. Soit le prendre au sérieux, mais alors remettre en cause ce que je croyais savoir, admettre mon ignorance et repartir de zéro. Déjà, le texte de Reneaume (dont la citation ci-dessus ne représente qu'une petite partie) renfermait trop de détails trop circonstanciés pour qu'il soit possible de le traiter à la légère. Mais par la suite, le hasard des dépouillements ne devait pas tarder à m'apporter plusieurs confirmations de sources indépendantes, à partir desquelles il me fallait bien admettre la réalité du problème. L'enfouissement des grains en terre était un procédé de conservation important, reposant sur des savoirs détaillés, précis, et dont j'avais tout à apprendre.

\*

La première chose qu'il me fut donné d'apprendre, c'est que mon étonnement n'avait rien de nouveau. Cela faisait plus de trois siècles que des agronomes occidentaux redécouvraient périodiquement les fosses à grains, avec à chaque fois le même étonnement, tantôt incrédule tantôt émerveillé. "Reste à parler d'une autre sorte de grenier, autant étrange à qui ne l'a vuë, comme il semble la raison contrarier à l'expérience de bonté qu'on y treuve", écrit Olivier de Serres en 1600. Et deux siècles plus tard Simonde de Sismondi: "L'on conserve le blé en Toscane d'une manière avantageuse autant qu'extraordinaire, dans des excavations faites sous terre qu'on appelle des buche. On l'y maintient d'une année à l'autre, parfaitement sain et à l'abri de tous les accidents, sans qu'il exige ni frais ni soins..."

A vrai dire, la connaissance des fosses à blé n'avait jamais été complètement perdue des érudits européens, grâce aux descriptions qu'en avaient données les Anciens, Théophraste, Varron, Columelle et Pline notamment. Mais il est clair que jamais rien de concret ne serait sorti de ces seuls textes, si la tradition ne s'était maintenue vivante dans

certaines régions. C'est aux récits de plus en plus nombreux et convergents des voyageurs que l'on

~~se rend compte que longtemps après.~~

Le premier travail véritablement scientifique sur la question est l'article déjà cité de Reneaume, "Sur la maniere de conserver les grains", paru dans les Mémoires de l'Académie des Sciences en 1708. Dans ce texte, Reneaume n'étudie pas seulement le stockage des grains dans des fosses, mais le problème plus général de leur conservation à très long terme. On venait en effet de découvrir à Metz, dans une salle souterraine de la citadelle en cours de réaménagement, un tas de blé qui s'y trouvait... depuis 1578, c'est-à-dire depuis 130 ans. "Je vous envoie par celui qui vous rendra celle-cy", lui mande son frère, Ingénieur ordinaire du roi à Metz, "du bled qui ne vaut rien pour semer, mais qui est excellent pour faire raisonner un Botaniste". Et après avoir exposé les circonstances de la découverte, il termine: "Examinez donc cecy, & nous rendez compte pourquoy tant de bon bled se gâte avec toutes les précautions des plus avides et des plus industrieux Usuriers, pendant que celui-cy auquel on n'a point touché s'est si bien conservé."

C'est précisément cet examen qu'entreprend Reneaume. Il commence naturellement par rappeler l'importance d'un bon séchage préalable. Mais où sa réflexion devient plus originale, c'est lorsque qu'il s'interroge sur le rôle de l'air, "le destructeur de toutes choses", dans l'altération des grains stockés. Si l'épeautre se conserve mieux que les grains nus, raisonne-t-il en substance, c'est grâce à ses enveloppes. Or, il se forme à la longue une croûte sur les tas de blé vieux. Ne jouerait-elle pas un rôle analogue à celui des enveloppes de l'épeautre?

"Une des choses qui contribue le plus à la conservation du bled", écrit-il, "c'est la croûte qui se forme sur toute la superficie de la couche de l'épaisseur d'un doigt et demi, tantôt plus, tantôt moins: elle est formée de la poussiere qui voltige continuellement dans l'air et de l'humidité de ce même air qui en fait la liaison avec les grains. Cette croûte défend toute la masse des approches de l'air. Celui qui m'a apporté du bled de Metz m'a assuré qu'il s'étoit promené sur le tas sans que la croûte eût obéi, tant elle est forte." [...]

~~Et sur pour plus loin, il ajoute~~ "On est si persuadé de l'utilité de cette croûte qu'on se sert en quelques endroits des moyens suivants pour la former, entr'autres à Châlons [...] Ils choisissent le bled le

plus beau [...] et après l'avoir travaillé ils en font un tas aussi gros que le plancher le peut porter, ils mettent ensuite de la chaux vive en poudre très fine, ils en saupoudrent tout le tas également jusqu'à ce qu'il y en ait trois pouces de haut, puis avec des arrosoirs on humecte cette chaux, laquelle faisant une forte liaison avec le bled forme une croûte, les grains de la superficie germent et poussent une tige d'environ un pied et demi de haut à laquelle on ne touche point, l'hiver survient et elle périt, et on n'y regarde plus que la nécessité ne presse les habitans; et alors on ouvre cette croûte, et l'on trouve à un pied au dessous le grain aussi beau que s'il n'avoit que deux ans."

L'histoire est encore ~~moins croyable, encore~~ plus étonnante s'il est possible que celle des fosses à grain elles-mêmes. Elle fut d'ailleurs vigoureusement mise en doute, près de soixante-dix ans plus tard, par Edme Bégouillet, l'auteur du ~~livre~~ Traité de la connoissance générale des grains et de la mouture par économie (Paris 1775), dans les termes suivants:

"Liger, Auteur de la Maison Rustique, qu'il publia à la fin du dernier siècle, est le premier qui a avancé ce fait sans aucune preuve. M. de Réaume l'a copié dans son Mémoire de 1708, et cette histoire, dont on ne sçait pas un mot à Châlons, a été répétée dans tous les livres."

Mais l'incrédulité de Bégouillet est-elle elle-même vraiment justifiée? Je n'ai pas retrouvé le passage de Liger auquel il fait allusion - il est vrai qu'il y a eu tant d'éditions différentes de la Maison Rustique! En revanche, plusieurs documents viennent à l'appui des dires de Réaume. La conservation des grains en tas, à l'air libre, simplement protégés par une couche de grains germés, est attestée en Egypte (Prosper Alpin 1735, p. 21). Elle l'est aussi, plus près de nous, en Italie du Sud, par l'Abbé Galiani (Inthiéry 1770):

"Dans une partie de la Calabre (en Italie) que l'on appelle la Basilicate, on a coutume de faire porter le grain sur les marines. Les pluies auxquelles le bled se trouve exposé, font germer la superficie des tas que l'on y forme; les grains qui composent la surface germent, et les tiges qu'ils produisent se pourrissent promptement; ils forment cette même croûte dont parle M. Réaume, qui conserve l'intérieur des

tas de bled. Ce grain reste en cet état jusqu'à ce qu'il puisse se vendre et s'embarquer."

En Pologne, c'est le grain qui descend la Vistule en bateaux ouverts qui se protège de cette façon. S'il pleut, la germination des grains de la surface protège le reste du chargement (Rollet 1846). Voici enfin le témoignage de M. Boullenois de Semes, propriétaire dans l'arrondissement de Vouziers (Ardennes), ~~écrit~~ en 1821:

"Quand les Français, lors de la dernière guerre, entrèrent dans la Silésie, ils y trouvèrent dans quelques villes fortes de grands magasins, qui s'y étaient conservés, depuis la guerre de Sept ans, d'une manière peu dispendieuse, et sans exiger aucune manutention. Ce moyen consiste à étendre le blé sur le plancher, de l'épaisseur d'environ deux pieds, et de le couvrir d'une couche de chaux vive peu liquide: la chaux, en se séchant, forme un mastic impénétrable à l'air, aux charançons, aux souris et aux rats; il était aussi sain que si l'on venait de le battre. Je suis persuadé qu'il se conserverait fort longtemps de cette manière. Je suis témoin de ce fait."

Il semble donc bien que les informations de Reneaume étaient sûres, même s'il ne faut pas placer à Châlons l'histoire qu'il raconte. (Il se peut aussi que le souvenir de cette technique ait déjà été perdu à Châlons lorsque Béguillet eut l'occasion d'y passer.) Il n'est pas rare, d'ailleurs, de trouver dans la littérature mention de blé très vieux: on parle de 32 ans à Londres, de 80 ans à Zürich (Merriit 1789). Peut-être s'agit-il d'une tradition plus particulière à l'Europe centrale, du moins au XVIIIe siècle. Quoi qu'il en soit, les témoignages qui précèdent sont trop concordants pour qu'il soit prudent de les refuser en bloc, même si nous comprenons mal comment des conservations d'aussi longue durée sont possibles sur le plan biochimique.

#### Au XVIIIe siècle: voyages et témoignages.

Mais revenons aux fosses à grains. La première moitié du XVIIIe siècle ajoute peu au travail de Reneaume. Un témoignage important de cette époque est celui de Thomas Shaw sur l'Algérie (1738). Il a entre autres l'intérêt de proposer une explication moins courte des fosses à grains

que leur seule fonction de cachette en temps de guerre -- fonction indéniable, certes, mais à laquelle il ne faut pas attribuer trop de poids.

"After the Grain is trodden out, They winnow It, by throwing It up into the Wind with Shovels, lodging It afterwards in Mattamores or subterraneous Magazines, as the Custom was formerly (according to Pliny), of other Nations. I have sometimes seen two to three hundred of them together, the smallest of which would contain four hundred Bushels. Hirtius acquainteth us that the Africans made use of these Pits for the greater Security of their Provisions from an Enemy: but it is more probable, that They were contrived in those earlier Ages, as They continue to this Day, for the greater Ease and Convenience of the Inhabitants. For it cannot be supposed that the ancient Nomades, any more than the present Arabs, would be at the Expense of erecting Storehouses of Stone, when they might, at a much cheaper Rate, be served with These, at every Station, where they encamped to gather in their Harvest."

Comme celui de Reneaume, le texte de Shaw sera cité d'innombrables fois dans la littérature ultérieure, avec ou sans mention de la source. Le terme mattamore en restera comme le nom générique des fosses à grain jusque vers 1820. Il est vrai qu'il était aussi utilisé dans une partie de l'Espagne.

C'est à partir de 1750 que les textes deviennent abondants. Tout le monde connaît la célèbre boutade de Voltaire: "Vers 1750, la nation, rassasiée de vers, de tragédies, de comédies, d'opéras, de romans [...] se mit à raisonner sur les blés." La police des grains est à l'ordre du jour. Le Traité de la conservation des grains et en particulier du froment, de Duhamel du Monceau, paraît en 1753; il est réédité en 1754 et en 1768, et un Supplément est publié en 1765. Des centaines d'ouvrages et d'opuscules sur le commerce des grains seront publiés dans la seconde moitié du XVIIIe siècle.

Duhamel connaît l'existence des fosses à grains dans certaines régions. Et s'il en parle fort peu, il est sans doute le premier à faire état d'applications expérimentales du procédé, d'ailleurs sans succès.

"J'avois cru d'abord, comme je l'avois dit dans mon premier Ouvrage, qu'en renfermant du froment qui me paroissoit sec dans des lieux bien clos, comme on le pratique à Malthe, en Gascogne, & dans d'autres

Provinces méridionales, il s'y conserveroit; mais le grain de mon expérience s'échauffa, & il auroit été entièrement pourri si je ne l'avois pas retiré. On m'a assuré qu'une pareille expérience avoit déjà été faite il y a longtemps à l'Hôpital-Général de Paris, où l'on avoit construit une citerne, qu'on avoit remplie de grain qui s'y étoit pourri." (Duhamel du Monceau 1765)

Les nombreuses expériences faites au siècle suivant connaîtront aussi beaucoup d'échecs. Car ce n'est pas si simple de conserver les grains dans des fosses. Les essais de Duhamel ne seront pas renouvelés avant 1819. Seuls les témoignages continuent. Ils sont, heureusement, de plus en plus détaillés et fidèles.

Le premier en date de ces témoignages, après le récit de Shaw, est une lettre sans nom d'auteur publiée en 1764 dans la revue anglaise Museum Rusticum. C'est l'histoire d'un certain marquis de Bonaretti, gros négociant en grains, qui achète un domaine dans les environs de Naples pour y prendre sa retraite. Au cours des travaux qu'il y fait faire, les ouvriers découvrent une fosse pleine d'une telle quantité de blé qu'on en charge "plusieurs bateaux" pour Lisbonne, où il vend un bon prix. Apprenant cela, les anciens propriétaires du domaine font un procès au marquis pour avoir leur part dans la découverte de ce trésor. Mais ils sont incapables de prouver que l'existence de la fosse et de son blé leur était connue: ils sont donc déboutés. Sur quoi, les propriétaires précédents tentent leur chance à leur tour, et sont eux aussi déboutés: eux non plus n'avaient pu produire aucun témoignage valable du remplissage de la fosse. Or, les uns et les autres avaient occupé le domaine sans discontinuer depuis 110 ans!

Légende? Peut-être. Mais légende significative, alors. Car ces histoires de trésors de grain sont nombreuses. Celle-ci, en tous cas, sera rituellement reprise par presque tous les auteurs ultérieurs, et méritait donc de l'être ici. Trois autres textes, eux aussi couramment repris dans la littérature ultérieure, sont à citer pour la seconde moitié du XVIIIe siècle. "Sur la conservation et la police des grains à la Chine", un long "Mémoire envoyé de Péking" (135 pages), qui constitue le Ch. V de la 1ère partie du Traité de la mouture par économie, de Béguillet (1775). Oeuvre d'un missionnaire jésuite où perce constamment l'admiration de ces hommes d'ordre pour l'organisation minutieuse de l'Empire chinois, c'est le document le plus

complet que nous ayons sur ce pays. Voici un détail qui pose encore un problème de vraisemblance, et qui montre bien tout ce qui nous reste à apprendre. Après avoir rempli la fosse et bouché l'orifice jusqu'au niveau du sol, nous dit l'auteur, [ "on ajoutoit encore de la terre ordinaire pour former une espee de mamelle, dont la circonférence débordoit l'ouverture du puits. Enfin on plantoit un arbrisseau sur cette butte, pour sçavoir à tems que le bled commençoit à fermenter et à s'échauffer. Ses feuilles jaunissoient, dit-on, au moindre commencement de fermentation dans le grain, & pour peu qu'on fût attentif, on étoit à tems de le retirer avant qu'il fût gâté."

L'existence de fosses à grain en Chine est confirmée par des sources plus récentes, mais malheureusement sans détails (Shih Sheng-Han 1962).

Après la Chine, la Hongrie, avec l'article du baron de Servieres, "Recherches sur l'origine des mattamores", publié dans le Journal de Physique en 1783. L'auteur traite des mattamores en général et reprend la plupart des informations disponibles à son époque. Mais la description qu'il donne des fosses à blé de Hongrie, d'après "le Journal manuscrit d'un habile Observateur" est inédite. La Hongrie est sans doute aujourd'hui le pays du monde où les fosses à grain sont le mieux connues, avec les régions limitrophes de Tchécoslovaquie et d'Autriche, grâce aux travaux récents de L. Kunz (1965), I. Nándor (1966) et E. Füzés (1973). Elles y sont restées en usage jusqu'après la deuxième guerre mondiale.

Le dernier témoignage important publié au XVIIIe siècle (en trichant un peu, car sa date exacte est de 1801) est celui, déjà mentionné, du genevois Simonde de Sismondi, sur les fosses, les buche de Toscane. Plus aucun vestige de merveilleux maintenant, mais une description complète, technique, qui est un modèle de précision.

Ainsi, le XVIIIe siècle finissant savait pas mal de choses sur les fosses à grain. On avait compris que leur principe était l'étanchéité à l'air. On savait qu'il s'y accumulait du gaz carbonique. On connaissait leur existence dans quelques régions de France et d'Italie, en Afrique du Nord, en Hongrie et en Europe Orientale, en Chine, et même en Inde, où l'Abbé Rozier les signale (1784) d'après une source qu'il ne précise pas. L'essentiel du savoir de l'époque sur la "Conservation des grains" est publié sous ce titre par l'Abbé Tessier dans l'Encyclopédie Méthodique en 1793. Mais les fosses à grain n'y ont encore qu'une place secon-

naire. On ne les considère pas comme une alternative réelle. A l'exception de Duhamel, qui n'y avait guère mis de conviction, d'ailleurs, personne ne songe vraiment à les utiliser.

\*

Il faudra les guerres de Napoléon pour qu'on s'y résolve. Pendant quinze ans, des dizaines de milliers de Français de toutes conditions parcourent l'Europe: certains en profitent pour regarder autour d'eux. Beaucoup sont de simples particuliers, comme ce Boullenois de Semes, dont on a vu le témoignage sur les greniers de Silésie. D'autres sont chargés de missions officielles, comme A.P. de Candolle ou A. Thouin, chargés de recueillir tout ce qu'il pouvait y avoir d'intéressant dans les régions occupées. Il est évident que les responsables de l'Intendance militaire ne pouvaient pas ne pas s'intéresser de très près aux méthodes de stockage des grains des pays étrangers. Nous ne connaissons pas le détail de leurs allées et venues. Mais nous avons le résultat: une sorte de Livre Blanc avant la lettre, publié par l'Imprimerie Royale en 1819: Des fosses propres à la conservation des grains et de la manière de les construire, avec différens moyens qui peuvent être employés pour le même objet, par le comte de Lasteyrie. C'est aussi en 1819 que paraît, dans les Annales de l'Agriculture Française, un long article intitulé "Ensilage des grains, par Mr. J... [Jourdain], Ancien directeur des vivres des armées, Adjoint à l'Administrateur du Service des fourrages de Paris. Plus important encore, c'est en 1819 que sont organisées à Paris les premières expériences suivies sur la conservation des grains dans des fosses souterraines, que l'on commence à appeler des silos.

Une parenthèse sur ce terme, qui va maintenant revenir constamment dans cet article, et qui appartient aujourd'hui au vocabulaire technique international, mais avec un sens quelque peu différent. Silo est le mot qui désigne les fosses à grain en espagnol (castillan). Il est utilisé pour la première fois en français par A. de Laborde en 1808 (Itinéraire descriptif de l'Espagne, vol. 4, p. 29). Mais c'est seulement en 1819 qu'il entre vraiment dans la littérature agronomique, en relation avec les expériences qui seront relatées plus loin. Il ne tardera

pas à supplanter son concurrent mattamore, à vrai dire un peu ridicule. (Des lexicographes sont allés jusqu'à raconter que les fosses à grain avaient reçu ce nom en Espagne parce qu'on y jetait les Maures!)

Mais avant de passer à l'histoire des expériences, il faut en terminer avec celle des témoignages. Car jusqu'au XXe siècle, chercheurs français, puis anglais (ces derniers à partir de 1918) continuent à associer, à l'expérimentation, la collecte de données utilisables dans les pays étrangers où on utilise encore les silos souterrains. C'est ainsi que les ouvrages de Jourdain et de Lasteyrie ajoutent à ce qu'on savait déjà des données de première main sur les silos de Russie, de Sicile, de Malte et surtout d'Espagne (Catalogne, Royaume de Valence). D'autres régions d'Espagne, notamment celle d'Almendralejo et Villafraanca de los Barros (province de Badajoz), sont étudiées<sup>en 1852</sup> par Doyère au cours d'une mission officielle qui le conduit aussi à Tanger et en Algérie; c'est à Doyère, on le verra, qu'est due une des plus importantes séries d'expériences faites sur les silos. On a une bonne description des silos de Foggia (Pouilles) par Ch. Yriarte en 1877. En 1918, le Britannique Dendy, entomologiste comme Doyère, et chargé de remédier aux pertes enregistrées dans les arrivages de blé du temps de guerre, rassemble des renseignements sur l'ensilage du grain en Inde. Méthode qui, écrit-il, "est d'une grande importance pratique et forme le point de départ de mes expériences." Bien entendu, les silos du Bihar avaient été signalés par Grierson (1885), mais sans aucun détail. Et la meilleure étude d'ensemble des méthodes traditionnelles de conservation des grains dans le sous-continent est celle des entomologistes Bainbrigge-Fletcher et Ghosh (1921). En 1956, Hall et al., du Pest Infestation Laboratory (Slough, G.B.) signalent l'utilisation de silos souterrains à Chypre, en Somalie et au Bornou (Nigéria), dans une brochure technique publiée par le Colonial Office. Enfin, deux chercheurs du même laboratoire étudient en 1960 les grands silos de Malte, construits par l'Ordre entre 1657 et 1660, et encore employés à l'époque (Hyde et Daubney 1960).

---

Quel est le bilan de tous ces témoignages en définitive? Trois points sont à considérer: les savoirs techniques mis en oeuvre, la distribution géographique des silos, et leur rôle dans le système socio-économique.

Je reviendrai plus loin sur le premier point. En ce qui concerne la géographie des silos, nous avons un assez bon canevas, plus serré en Europe occidentale comme il fallait s'y attendre (Espagne, Italie, Hongrie),

plus lâche ailleurs, mais qui recouvre l'essentiel de l'Ancien Monde, surtout si on y ajoute les récits de voyage, particulièrement fertiles au XIXe siècle. L'Amérique reste ignorée, bien que les silos y soient nombreux dans certaines régions. Curieusement, l'Afrique du Nord et le Proche-Orient restent aussi très imparfaitement connus, bien que (ou parce que?) les silos y soient la chose la plus ordinaire et la plus banale qui soit.

Dans le domaine socio-économique, enfin, les témoignages nous apprennent une foule de choses. Ils nous apprennent par exemple à distinguer les silos paysans, ceux de Hongrie ou de Toscane, des silos marchands, que l'on trouve à Barcelone, à La Valette et dans la plupart des villes et des ports d'Italie du Sud. Silos paysans et silos marchands diffèrent entre eux par leur situation, leur mode de construction, et surtout leur capacité. Derrière les silos eux-mêmes, en outre, nous apercevons tout un ensemble d'usages, de règlements voire de lois, des corporations, des relations commerciales, financières et politiques, etc., bref, pour reprendre l'expression du XVIIIe siècle, toute une "police des grains" infiniment détaillée et complexe.

Naturellement, aucune certitude définitive dans tout cela, si ce n'est l'extrême importance des réserves de grain dans la vie sociale. Ce qui se dégage du bilan, c'est plutôt un ensemble de questions, une problématique.

### Les expériences de l'époque de Ternaux, 1818 - 1830.

Donc, en matière de conservation des grains, l'année 1819 marque le début de l'ère expérimentale. Et ce sont les silos souterrains qu'on expérimente. Non pas qu'aucune expérience n'ait eu lieu au XVIIIe siècle, on l'a dit. (Essais de ventilation et d'étuvage surtout: cf. Duhamel du Monceau 1753 et 1765, Inthiery 1770, Cailleau 1788.) Mais il s'agissait d'expériences isolées, mal contrôlées, et qui restèrent pour la plupart sans suite. A partir de 1819 au contraire, les expériences sont annoncées dans la presse. Des commissions officielles sont nommées pour les contrôler. Les autorités civiles et militaires viennent en corps assister au remplissage ou à l'ouverture des silos. Les blés qu'on en retire sont expertisés, et on en fait de la farine et du pain, lequel est également soumis à la dégustation d'experts. Enfin, toutes ces opérations

font l'objet de procès-verbaux et de comptes-rendus, dont certains sont publiés dans la presse. Une vingtaine d'articles originaux sur les silos, certains très importants, sont publiés entre 1819 et 1830, la plupart dans les Annales de l'Agriculture Française. Cela peut paraître relativement peu aujourd'hui. A l'époque c'était considérable, d'autant plus que ces textes étaient souvent repris par la presse de province et à l'étranger. De 1819 à 1830, les silos sont en bonne place dans l'actualité.

Cependant, nous restons encore assez peu renseignés sur les premières expériences. Quatre silos de formes et de constructions différentes sont creusés dans l'enceinte de l'abattoir du Roule, à Paris. Le 21 juin 1819, "les travaux étant terminés, il a été procédé... en présence de M. le ministre d'état préfet de police, de M. le préfet de la Seine, de plusieurs autres membres du conseil de la caisse syndicale [des boulangers de Paris, dont les deux préfets sont membres de droit], et de M. Busche, directeur de l'approvisionnement, à la pesée et à la jetée des grains dans les quatre souterrains. Chaque souterrain a ensuite été recouvert au niveau du sol, par des enduits différens." (Journal de Paris, 22 juillet 1819.)

Je n'ai pas retrouvé les résultats de cette première série d'essais, ni d'une autre, qui eut lieu à l'Hôpital Saint-Louis (Lasteyrie 1819). Mais peu importe, à vrai dire. Car les expériences les plus célèbres, celles qui marquèrent vraiment l'époque, furent celles de Ternaux, à Saint-Ouen. De 1820 à 1827, les silos de Ternaux défrayent la chronique. On vient en foule assister aux opérations. Parmi les célébrités qui se déplacent, il y a, le 12 octobre 1820, le duc de La Rochefoucault-Liancourt et Jean-Baptiste Say; le 25 avril 1822, le duc Decazes; et le 13 mai 1824, "Monseigneur le duc d'Orléans (le futur Louis-Philippe) et les Princes ses enfants".

Il faudrait pouvoir en dire plus long sur Guillaume-Louis Ternaux (1763-1833). Né à Sedan, héritier d'une manufacture de drap, il doit s'enfuir en 1792 après avoir pris parti pour Lafayette. Il met à profit ses voyages en Allemagne et en Angleterre pour étudier les procédés en usage dans ces pays, ce qui lui permet, lorsqu'il rentre en France après la chute de Robespierre, de faire rapidement fortune. Sa spécialité est la fabrication de châles imités Cachemire. C'est alors qu'il envoie en Asie un orientaliste, Joubert, employé à la Bibliothèque Nationale, avec mission de ramener des chèvres à laine fine du Tibet. Joubert reviendra en France avec 256 animaux vivants. Le 10 octobre 1822, lors d'une vente

publique à Saint-Ouen, "50 chèvres de l'importation primitive, toutes pleines, ont été vendues 80 à 100 f. pièce. 17 chèvres de deux à trois ans ont été adjugées 100 à 120 f. 13 chevrettes de l'année, de jeunes boucs et bouquetins de race pure, nés en France et déjà garnis de leur précieux duvet, ont été vendus 80, 100 et même 225 f." (Le Moniteur, 16 octobre 1822.)

En 1818, Ternaux a été fait baron par Louis XVIII. Il est député, vice-président du Conseil général des Manufactures, membre du Conseil général de la Seine, du Comité pour l'amélioration des Arts et de l'Industrie en France, etc. Le pays sort d'une longue disette, aggravée par l'occupation étrangère. "Depuis quarante ans que j'exploite des Manufactures", écrit Ternaux au début de son Mémoire sur les moyens d'assurer les subsistances de la ville de Paris par l'établissement d'une Compagnie de prévoyance, "j'ai été tellement frappé de l'influence prodigieuse qu'exerçait sur elles le prix des grains, que, par la nature même de mes affaires, j'ai été conduit à m'occuper d'une question qui intéresse à-la-fois et au plus haut degré, non-seulement l'industrie, mais encore l'agriculture, le commerce, la tranquillité publique et l'humanité." Et voici des précisions :

~~Et voici des précisions.~~ ["Les 19/20e de la nation vivent sur des profits si bornés, que leurs dépenses absorbent en totalité leurs gains journaliers. Lorsqu'ils sont obligés d'employer à l'achat d'une denrée indispensable une plus grande portion de ces profits, il faut de toute nécessité qu'ils en emploient une moins grande portion à l'achat des denrées d'une nécessité moins urgente. Ces vérités sont connues, elles sont triviales; mais a-t-on pris la peine de calculer combien de millions sont de cette manière distraits de l'achat des objets manufacturés ou des produits de commerce, pour être employés à une nourriture indispensable?" [...]

["Dans la dernière disette, ces 21 millions de personnes, au lieu de payer le pain sur le pied de 3 sous la livre, prix moyen ordinaire, l'ont payé 6 sous, prix qui a été pour 549 jours, le taux moyen de toute la France. Or, 21 millions de livres de pain à 3 sous d'excédant par livre, ont dû leur causer un surcroît de dépenses de 3,150,000 livres par jour; et pour 549 jours, une dépense extraordinaire de 1,729,350,000 livres. Il a fallu que cette somme, toute énorme qu'elle paraisse, ait été retranchée de la consommation des produits manufac-

Eturés et commerciaux du pays; nos manufactures, par contre-coup, se trouvant moins occupées, ont dû fournir moins d'occupation à la classe ouvrière, et par là augmenter sa détresse."

Dans le but de remédier à cet état de choses, Ternaux propose d'établir une compagnie de prévoyance, au capital de 30 millions de francs en billets au porteur (c'est-à-dire sans intérêt). Le rôle de cette compagnie serait d'acheter des grains, lorsque le froment est à moins de 21 F l'hectolitre, prix auquel l'exportation en est permise, jusqu'à concurrence d'un total de 1.350.000 hl. Inversement, la compagnie revendrait ses grains lorsque le prix du blé atteindrait 31,5 F/hl.

Il n'est pas possible ici d'entrer dans les détails de cette proposition, qui, semble-t-il, n'eut pas plus de suites que les dizaines de propositions semblables qui furent faites avant et après Ternaux (jusque vers 1860, en fait). L'histoire de ces projets malheureux remplirait à elle seule des volumes. Ce qui nous intéresse ici, c'est d'abord que le Mémoire de Ternaux est suivi d'une longue lettre de Jean-Baptiste Say appuyant chaleureusement son projet. Et c'est surtout que la principale difficulté de réalisation que prévoit l'économiste Say est d'ordre technique:

"Le plus grave [inconvéniént] parmi ceux que je prévois, est la difficulté d'avoir des emplacements suffisans pour loger une réserve de 1,350,000 hectolitres de grain, ou leur équivalent en farine. Le grenier d'abondance de l'Arsenal, en supposant qu'il eût été terminé sur le plan qu'on avait adopté d'abord, c'est-à-dire, en supposant que, sur une longueur de 1,067 pieds et 77 pieds de large, il eût été élevé de sept étages, n'aurait encore contenu que le tiers de cette quantité.

Mais plusieurs circonstances changent totalement ce premier aperçu.

[...]

4°. On n'a pas encore fait usage de plusieurs moyens proposés, et même tentés avec succès, pour entasser les grains en beaucoup plus grande quantité qu'on ne l'a fait jusqu'ici dans les greniers, où il y a souvent les sept huitièmes de l'espace qui est perdu."

(Le grenier d'abondance de l'Arsenal aurait lui-même son histoire. C'est un projet de Napoléon, qu'il faut mettre au nombre des projets sans suites auxquels on vient de faire allusion. Sa construction est entre-

prise en 1810 ou en 1811, mais ne sera jamais menée à son terme. L'Administration de la réserve, dont il sera question plus loin, est un héritage de cette tentative avortée.)

Ternaux ne perd pas de temps pour s'attaquer au problème technique. La lettre de Say est datée du 5 septembre 1818. Le 10 décembre 1819, 199 hl de blé de la récolte de 1818 venant de chez M. Oberkampf fils, canton d'Essonne, "de bonne qualité sans être de tête", sont mis dans un premier silo, creusé près de la grille de sa maison de Saint-Ouen. En 1822, on remplit deux autres silos, de 600 et 50 hl respectivement. En 1825, Ternaux signale l'existence de trois nouveaux silos: l'un d'eux sera rempli de 2.200 hl de seigle d'Arcis-sur-Aube cette année-là, il ne sera plus question des autres. Trois documents de première main nous renseignent sur tous ces essais. Les Mémoires de Ternaux publiés en 1820 et en 1825, auxquels sont annexés quatre procès-verbaux relatifs aux essais de 1819-1820. Un recueil de vingt "Procès-verbaux des opérations relatives aux essais de conservation effectués par M. Ternaux dans ses silos de Saint-Ouen, avec des blés appartenant à l'Administration de l'approvisionnement de la réserve de Paris" (1827). Et enfin le "Rapport sur l'état de conservation des grains extraits des silos établis à Saint-Ouen par M. Ternaux", publié dans les Mémoires [...] de la Société Royale et Centrale d'Agriculture, en 1826.

Le premier essai est encourageant, assez en tous cas pour décider Ternaux à continuer. Le blé enfoui le 10 décembre 1819 est extrait le 12 octobre 1820. Il est trouvé assez humide, mais cependant "dans le meilleur état de conservation", sauf 1 hl dans le haut du silo qui a pris de l'odeur. Les essais de mouture et de panification sont plutôt favorables. Mais déjà le problème de l'humidité éveille des inquiétudes. La terre dans laquelle on a creusé le silo, analysée par Bosc, une des personnalités qui suivront de près les essais, a rendu  $\frac{3}{8}$  de son poids d'eau (37,5 %). "Si votre expérience réussit," écrit Bosc dans une lettre adressée à Ternaux et annexée au procès-verbal, "elle prouvera tous ce qu'il est possible de désirer; mais je suis persuadé plus qu'hier qu'il sera prudent de faire visiter votre silo au printemps prochain, pour retirer le blé, s'il est jugé trop humide pour y rester."

Ce blé sera remis dans le silo n° 1, où il restera jusqu'en juin 1826. Nous y reviendrons. En mars 1822, Ternaux passe un traité avec l'adminis-

tration de la réserve. Celle-ci lui avance 600 qx de blé, provenant pour moitié de Chartres et Provins, et pour moitié de Sens et Montereau, de la récolte de 1821. Ternaux s'engage à le restituer intact, ou à le remplacer, après séjour dans ses silos. De son côté, l'administration délègue un inspecteur pour suivre les opérations, et c'est à cette circonstance que nous devons les 20 procès-verbaux contradictoires qui sont la plus importante de nos sources. Le blé de la réserve est ensilé le 25 avril 1822, la majeure partie dans le silo n° 2, le reste dans le silo n° 1, dans l'espace vide qui subsiste au dessus du blé de 1818. Les blés de provenance différente sont séparés par des nattes de paille. Le 10 octobre suivant, le blé du silo n° 2 montre déjà quelques indices d'altération à sa partie supérieure. Le 3 juin 1823, on constate qu'une infiltration s'est produite, et qu'il y a environ 1 hl de blé gâté: on vide alors le silo n° 2, mais les travaux sont ralentis par la présence de gaz carbonique, qui gêne le travail des ouvriers: il faut quatre jours pour sortir la totalité du blé. On le dépose, provisoirement, dans l'orangerie. "M. l'inspecteur, ayant alors examiné ce grain en masse et disposé en couches dans l'orangerie, il a trouvé que ce blé était dur à la main, ne cassait pas net sous la dent, et avait une odeur de commencement de fermentation, ce que d'autres personnes moins exercées n'avaient pas remarqué. Les ouvriers qui l'ont extrait ont déclaré qu'en travaillant ils avaient remarqué que le blé rochait légèrement [on dit un blé roché lorsqu'il est pris en masse], et seulement à environ un pied de distance de la circonférence du silo." Le 12 juillet suivant, un prélèvement d'air dans le silo vide y donnera encore plus de 9 % d'acide carbonique.

Bref, il faut remplacer ce blé. On peut penser toutefois qu'il ne s'agit que d'un accident, dû à l'infiltration. Le 16 septembre, on remplit à nouveau le silo n° 2 de blés d'origines diverses (Gonesse, Dammartin et Saint-Ouen, récoltes 1822 et 1823, une partie du blé de cette dernière étant passé à l'étuve). En mai 1824, le grain est dans un état satisfaisant. Mais en mai 1825, la partie supérieure est très charançonnée, sur 2,5 pieds d'épaisseur: l'inspecteur invite Ternaux à remplacer cette partie, ce qu'il fait avec du seigle. Pendant ce temps, le silo n° 1 a lui aussi commencé à donner des signes d'altération importante dans le haut, sur quatre à cinq pieds d'épaisseur.

Le bilan final a lieu en 1826. Du 30 mai au 15 juin, les grains sont extraits et examinés par deux experts, nommés l'un par Ternaux et

l'autre par l'Administration de la Réserve. Les grains qui n'appartiennent pas à la Réserve sont aussi examinés par une Commission de six membres délégués par la Société Royale et Centrale d'Agriculture.

Les résultats ne sont guère favorables. Le blé de 1818, qui était "d'une qualité rare", est devenu après six ans et demi de séjour en silo en partie impropre à la consommation humaine. Du seigle, qui n'a passé qu'un an en silo est déjà forcé (rougi par la fermentation). Ce qui reste du blé de 1821, étuvé en 1822, et qui avait servi à compléter le remplissage des silos n° 1 et 2, est reconnu hors de conservation et refusé par la Réserve. Enfin, le blé de Dammartin et Gonesse 1822, qui a séjourné trois ans et huit mois dans le silo n° 2, est fortement détérioré sur une épaisseur d'un pied le long des parois. Dans tous les cas, le grain a quasi-intégralement perdu sa faculté germinative. Une infiltration s'est produite à nouveau dans le silo n° 2, gâtant une partie du grain. Dans ce silo, le dégagement d'acide carbonique est tel que les ouvriers qui travaillent à l'extraction du grain doivent se relayer toutes les demi-heures; un dégagement comparable est noté dans le silo qui contient le seigle.

Le blé le moins endommagé est celui de Dammartin et Gonesse 1822, du silo n° 2, qui appartient à la Réserve. Mais comme les experts ne se sont pas mis d'accord sur son évaluation, on en prélève 25 qx pour mouture et panification.

La farine obtenue "a une couleur éteinte et rousse". Elle est "un peu piquée" et a conservé "la petite pointe d'odeur que le blé avait". Elle est "un peu poudreuse, n'ayant pas le moelleux de celle de blé nouveau". Le grain a en effet donné trop peu de farines premières, trop peu de son et trop d'issues fines ("remoulages et soufflures"), et il a fallu remoudre ces dernières une fois de plus qu'on ne le fait d'habitude pour obtenir un rendement en farine convenable. Mise en vente à la Halle de Paris le 16 novembre 1826, cette farine ne fait que 40 f. le sac, contre 52,30 f. cours du jour.

Quant au pain, fabriqué par M. Dreux, boulanger à Saint-Denis, il est soumis à la dégustation de neuf experts. Voici leurs réponses:

- fabrication: bonne (9 réponses);
- nuance: grise (2 réponses); rougeâtre (2); gris-rougeâtre; rouge; très terne; beau bis-blanc (2);
- odeur: de blé échauffé (4 réponses, dont: odeur prononcée, assez pro-

noncée, faible); sans odeur; peu d'odeur, mais désagréable; odeur presque insensible; un peu d'odeur;

- goût: âcre et désagréable; amer et désagréable; légèrement amer; fade et sans saveur; amer; de pain bis-blanc; amer; d'âcreté; désagréable.

Cet essai avait été fait par la méthode de la mouture économique. Un second essai, avec mouture "à l'anglaise" ou "à l'américaine", donne des résultats semblables. Le pain qu'on en tire est, au rapport des commissaires de la Société d'Agriculture, "d'une nuance légèrement supérieure à celle du pain du premier essai; mais l'odeur était au moins aussi désagréable: un autre pain de 2 kg, qui nous a été adressé par M. le Directeur de la réserve, et que nous avons ouvert le lendemain de la cuisson, ... avait perdu de sa blancheur et aussi de son goût à l'odorat; mais il avait toujours la même âcreté à la gorge."

Ici s'arrête l'histoire des expériences de Ternaux. Sans doute y en eut-il d'autres. 4000 qx métriques lui sont livrés par l'Administration pour renouveler le contenu de ses silos. Mais le 21 novembre 1826, les commissaires de la Société d'Agriculture trouvent que si les blés de 1825 (d'une qualité exceptionnelle, comparable à 1818) sont en bon état, les blés de 1823 et 1824 donnent déjà des signes d'un début d'altération. Aucun résultat de ces nouveaux essais ne sera publié, ce qui n'est rien moins qu'un indice de réussite. Quant à l'effet de toutes ces expériences sur l'opinion des professionnels, sans doute pouvons-nous nous en faire une assez bonne idée d'après ce qu'en dira Doyère, un quart de siècle plus tard:

"On peut dire sans exagération et sans injustice que la condamnation qui pèse aujourd'hui sur l'ensilage, en France, a son origine dans les désastres éprouvés par M. Ternaux, dans ses silos de Saint-Ouen, près Paris. C'est le seul argument positif que l'on puisse mettre en avant, et on le rencontre dans la bouche de tous les agriculteurs. C'est donc un devoir pour moi de montrer combien ces essais furent déplorables, à tous les points de vue." (Doyère 1852)

#### Doyère et Müntz, 1850 - 1880.

Bien entendu, il y a tout de même quelque exagération et quelque injustice dans le propos de Doyère. Car d'autres expériences eurent lieu après

TABLEAU 1.

	Froment		Chartres, Pro
Espèce	Froment		
Origine	Canton d'Essonne		
Année de récolte	1818		
Quantité	199 hl / 159 qx	14 hl / 10,35 qx	574 hl /
N° du silo	1	1	2
Date d'entrée	10 décembre 1819	25 avril 1822	25 avril
Date de sortie	juin 1826	10 octobre 1822	3-7 juin
Temps passé en silo	6 ans 6 mois	5 mois 1/2	13 mois
Poids spécifique (kg/hl) - à l'entrée	80	74	74
- à la sortie	68 à 70 (mai 1825)		71,2
Quantités éliminées en cours d'expérience	335 kg pour essai de panification en nov. 1820	...	...
Appréciation des experts ou de la commission de la Société Royale et Centrale d'Agriculture	"Les blés de la récolte de 1818, d'une qualité rare, ... se trouvaient à la superficie complètement détériorés et tout-à-fait impropres à... la consommation des hommes. Ils avaient un goût très-fort, et leur couleur était devenue rouge foncée ... A la profondeur de 9 pieds, le blé que ramenait la sonde était excessivement humide, dur à la main et d'une odeur désagréable, mais moins détérioré que celui de la superficie. Avec des travaux bien entendus..., on eût pu encore en tirer parti à la mouture et à la panification."	"Grain gourd, un peu humide, ayant de l'odeur, susceptible d'être ramené par la manipulation."	"Dur à l'usage pas net de commutation." Légèrement parois s'écroulent. 1 hl de "ri" et 5 détérioration.
Destination finale des blés	...	...	...
Observations	...	...	La présence d'ouvriers le grain

# 1. EXPÉRIENCES DE TERNAUX -

Froment Chartres, Provins, Montereau et Sens 1821	Froment Saint-Ouen 1823	Froment Saint-Ouen 1823	Froment Saint-Ouen 1823
574 hl / 425 qx 2 25 avril 1822 3-7 juin 1823 13 mois	47,9 hl / 37,5 qx 3, puis 1 et 2 11 mai 1822 7 et 10 juin 1826 4 ans 1 mois	47,5 hl / 34,2 qx 2 16 septembre 1823 2 juin 1826 3 ans 8 mois 1/2	520 2 16 s 7-15 3 an
74 71,2 ...	78,4 (après étuvage) 72,6 23,2 qx; causes diverses	72 70,7 7,8 qx charançonnés	78 74,7 ...
"Dur à la main, ne casse pas net sous la dent, odeur de commencement de fermentation." Légèrement <u>roché</u> près des parois sur 1 pied d'épaisseur. 1 hl de grain "presque pourri" et 50 à 60 kg fortement détériorés par une infiltration.	"Dur à la main, rougi par la vétusté, ayant de l'odeur, mais cassant assez bien sous la dent." (Silo n° 1.) Hors de conservation (silos n° 1 et 2); refusé par la Réserve.	Hors de conservation; refusé par la Réserve.	A 9 le b au c une fé, et c en s circ deve sati mide mucr coul fard
...	Après nettoyage, pelletages, etc. (comportant 7 % de déchet) chez Désobry, négociant à Saint-Denis, le blé restant est vendu 22 f/ql.		L'ex time perc à ur cont cons out tés par
La présence de CO2 gêne les ouvriers chargés d'extraire le grain.	...	Continuels dégagements de CO2; obse relayer dans le silo toutes le le matin.	Les me

	<p>Froment Dammartin, Gonesse 1822 520 hl / 405 qx 2 16 septembre 1823 7-15 juin 1826 3 ans 8 mois 1/2</p> <p>78 74,7 ...</p>	<p>Seigle Arcis-sur-Aube 1824 ? 2 200 hl ... 1825 juin 1826 environ 1 an  ... ... ...</p>
<p>on; refu-</p>	<p>A 9 pieds de profondeur, le blé était "en bon état au centre, ayant cependant une petite odeur d'échauffé, mais coulant à la main et cassant sous la dent; en se rapprochant de la circonférence, son état devenait de moins en moins satisfaisant; il était humide, portait une odeur de <u>mucre</u> prononcée, et sa couleur était devenue blafarde."</p> <p>L'expert de la Réserve estime que le corps du blé a perdu 5 f/ql (par rapport à un prix initial de 25 f) contre 2 f s'il avait été conservé en grenier. En outre, il y a 10,5 hl gâtés et 18 hl détériorés par une infiltration.</p>	<p>Grain <u>forcé</u> (rougi et détérioré); échauffé en surface; odeur de <u>mucre</u> en surface et vers les parois. En mauvais état de conservation.</p>
<p>% de dé- blé res-</p>	<p>Les 18 hl sont vendus comme ci-contre (22 f/ql).</p>	<p>...</p>
<p>ements de CO2; obligent les ouvriers à le silo toutes les demi-heures, surtout</p>		<p>Abondant dégagement de CO2</p>

celles de Ternaux, avec des résultats plus favorables certes, mais pas plus concluants. C'est la cas, par exemple, des silos en plomb proposés par le comte Dejean, où l'on voyait sans doute une arme absolue en matière d'étanchéité. En 1826, l'Administration de la Réserve fait tapisser de plomb une pièce de 80 m<sup>3</sup> dans un de ses magasins, quai de l'Hôpital. On la remplit de blé les 1er et 2 août 1826. Trois ans plus tard exactement, à l'ouverture, on trouve dans le revêtement de plomb une fissure d'un mètre de long, et cinq perforations ponctuelles révélées par de petites agglomérations de blé avarié. Cela a suffi pour introduire dans le silo un peu d'humidité, et assez d'air pour permettre une activité non négligeable des charançons. L'atmosphère du silo à l'ouverture contient 16 % de gaz carbonique, 2 % d'oxygène et 82 % d'azote, ce qui est en principe léthal pour le charançon; mais il faut tenir compte de l'incertitude des mesures, et surtout des différences de répartition des gaz à l'intérieur du silo. Le blé charançonné est en effet nettement localisé le long de la paroi fissurée. En définitive, le bilan de l'expérience est le suivant. Sur 656,25 qx de blé de 1825, donc de qualité exceptionnelle, on récupère après trois ans de séjour en silo 650,09 qx de blé en bon état (mais un peu moins beau que le même blé conservé en grenier par les moyens ordinaires), 2,65 qx de blé avarié ou charançonné et 1,07 ql de criblures et résidus divers (plus une perte de poids de 2,44 qx). C'est un assez bon résultat, mais qui a coûté cher — l'aménagement du silo a coûté 5.036 f., dont 1.913 f. pour le plomb seul — et qui n'est pas assez sûr. Le plomb, en outre, présente un risque de toxicité.

Tout cela n'est guère convaincant, on le voit, et il en est de même des autres essais de l'époque. (Le lecteur en trouvera la liste au tableau n° 2.)

L'idée de l'ensilage des grains n'est pas abandonnée pour autant. Elle est reprise en 1841 par d'Arcet, un ingénieur hydraulicien, qui pour résoudre le problème de l'étanchéité propose d'utiliser un enduit hydrofuge mis au point pour réparer la coupole du Panthéon (100 de cire jaune, 300 d'huile de lin cuite avec 30 de litharge). Contre les charançons, d'Arcet propose en outre des fumigations à l'acide sulfureux (SO<sub>2</sub>), moyen assez brutal à vrai dire. D'Arcet proposait de construire des silos dans les fortifications de Paris en cours de réalisation. Une expérience est annoncée à Vincennes, mais nous n'en avons pas le résultat.

C'est à Doyère qu'il appartenait de relancer la question.

Il est malheureusement tout à fait impossible d'analyser les expériences de Doyère avec le même détail que nous l'avons fait pour celles de Ternaux. La place nous manque. Doyère revendiquait pour sa méthode le qualificatif de "rationnelle", qu'il opposait à l'"empirisme" de ses prédécesseurs - vieille illusion bien cartésienne, car les expériences de Doyère nous paraissent bien entachées d'empirisme à nous aujourd'hui, comme assurément les expériences d'aujourd'hui paraîtront bien empiriques dans quelques décennies. Doyère travaillait en vraie grandeur, comme Ternaux, d'où les mêmes difficultés <sup>pour</sup> interpréter des résultats globaux où les facteurs en cause sont mal individualisés. Les comptes-rendus d'expériences sont toujours des procès-verbaux officiels, avec les qualités et les défauts du genre (Doyère fit la plupart de ses essais sous le couvert des administrations de la guerre et de la marine). C'est sur le plan des critères expérimentaux que la contribution de Doyère innove. Aux critères employés du temps de Ternaux, odeur, couleur, maniement du grain, poids spécifique, etc., il ajoute systématiquement le taux d'humidité du grain, et déjà quelques mesures de température à l'intérieur des silos. C'est à lui qu'on doit la première détermination de la limite supérieure d'humidité des grains pour une bonne conservation sous nos climats - qu'à vrai dire il situe à 16 %, ce qui est un peu trop haut.

Quoi qu'il en soit, on ne peut dénier à Doyère un bon degré de réussite. Appuyé sur les résultats de ses voyages d'étude en Espagne et en Algérie, ainsi que sur ses résultats expérimentaux, il établit:

1° Que les grains, pour se conserver dans des silos ou ailleurs, doivent être dans un certain état de siccité;

2° Que les silos ne doivent donner accès ni à l'humidité, quelle que soit son origine, ni à l'air atmosphérique;

3° Que les silos doivent être souterrains, parce qu'une température basse comme celle des caves et des puits ne favorise ni le développement de la fermentation, ni l'activité et la multiplication des insectes."

Sur le point 2, il faut ajouter que Doyère avait bien compris que la maçonnerie ou le béton, étant perméables aux gaz, n'offraient pas de garanties suffisantes. C'est ce qui le conduisit à la solution du revêtement intérieur en tôle. Nous savons aujourd'hui que seules des tôles soudées sont rigoureusement étanches à l'air. Il n'en était pas question

à l'époque. Mais le fait d'avoir enterré ses silos contribua certainement, sans peut-être que Doyère en eût clairement conscience, à corriger des défauts d'étanchéité qui lui auraient donné des mécomptes à l'air libre.

Cela dit, Doyère parvint à conserver intact pendant six ans du blé raisonnablement sec (à 14,2 et 13,4 % d'eau). Ce fait, et la lecture des procès-verbaux publiés en 1862, témoignent qu'il était parvenu à une bonne maîtrise des conditions opératoires. Doyère mourut en 1863.

Il est difficile d'apprécier l'importance que prit son procédé dans la pratique. L'emploi des silos métalliques était devenu "général" en 1880, d'après l'agronome A. Müntz. Mais il y avait une certaine proportion de silos non hermétiques - les silos Huart, par exemple, employés à la Manutention Militaire de Paris (quai Debilly), et qui reposaient sur la mécanisation du pelletage. Du reste, le nombre total de silos en France à cette époque devait être minime: le véritable équipement du pays en silos-tours ne commencera que dans les années 1930. En fait, les exemples étudiés par Müntz ne sont pas des silos à blé, mais des silos à avoine et maïs appartenant à la Compagnie des Omnibus, à Paris.

Cela s'explique. Les voitures et tramways de la Compagnie étaient tirés par des chevaux. L'expansion du trafic était fantastique. En 26 ans, de 1854 à 1880 (y compris deux années de guerre et d'occupation), le nombre de chevaux était passé de 1.501 à 18.837. Soit une multiplication par 12,6, et une croissance réelle de 10,2 % par an! Naturellement, toute cette cavalerie consommait des grains, exactement 7,783 kg par tête en 1879, dont plus de la moitié d'avoine, le reste en orge, maïs et féveroles. Ces grains (sauf le maïs) sont plus légers que le blé, c'est-à-dire plus volumineux à poids égal. Ce qui signifie qu'il fallait à chaque cheval près de 15 litres de grain par jour, le même volume que pour vingt Parisiens. A quoi s'ajoute, bien sûr, l'énorme capacité nécessaire pour les foins, les pailles, l'eau... En 1880, la Compagnie des Omnibus avait huit dépôts, dont quatre, les plus anciens, équipés de greniers (Panthéon, Montmartre, Saint-Martin, Plaisance), et quatre, les plus récents, équipés de silos (Monge, Wagram, Bastille et Alfort). Rapporté à l'hectolitre de grain stocké, le coût des constructions s'était élevé à 53,8 f. en moyenne pour les premiers, contre seulement 27,4 f. pour les seconds. Ceci, terrain non compris, et on imagine facilement ce que cela pouvait représenter dans une ville comme Paris (Müntz 1881).

Il n'est donc pas étonnant que la Compagnie ait choisi les silos métalliques pour ses dépôts les plus récents, construits en 1878, après que des essais satisfaisants eurent été faits au dépôt de Monge dès 1871. La capacité totale de stockage des dépôts parisiens était en 1880 de 265.900 hl, dont 210.000 en silos, et 55.900 en greniers.

Néanmoins, le grain ensilé présentait quelquefois des avaries. A. Müntz, chargé d'y porter remède, n'a pas grand mal à en trouver les causes: grain trop humide (les avoines de Suède, en particulier, font couramment 18 et 19 % d'eau), défauts d'étanchéité, et surtout condensations de l'humidité sous les bouches de remplissage, d'où l'eau retombe sur les grains de la surface qu'elle fait germer et moisir. C'est un effet classique de paroi froide, les couvercles en métal n'étant pas protégés contre le refroidissement comme les autres parois du silo. Tous ces défauts sont facilement évitables. Les silos de Monge, par exemple, en sont exempts, grâce à une construction plus soignée et à une meilleure isolation thermique.

Sur le plan scientifique, le grand mérite de Müntz est d'avoir inauguré les expériences en laboratoire, qui seules peuvent permettre de distinguer les divers phénomènes biochimiques dont la masse de grains stockés est le siège. Son point de départ était que la quantité d'acide carbonique dégagé durant le stockage donne la mesure des pertes en substances nutritives. Il est sans doute le premier à avoir mesuré avec précision l'intensité de la respiration des grains dans des conditions contrôlées (température, humidité, atmosphère confinée ou renouvelée). Une autre de ses innovations est d'avoir pris le nombre de grains comme base d'échantillonnage pour comparer des lots de même origine conservés dans des conditions différentes. Cela permet en effet d'éliminer les sources d'erreurs que sont les variations de poids spécifique, de volume et d'humidité. Müntz put ainsi établir que 100 grains d'avoine conservée en grenier pendant 30 mois renfermaient 7,2 % de matière sèche en moins que 100 grains de la même avoine conservée le même temps en silo. La majeure partie de la perte portant sur l'amidon (7,1 %). Avec du maïs conservé 16 mois, les chiffres correspondants étaient de 10,9 % et 7,7 %.

Müntz, enfin, signale qu'il apparaît parfois une production d'alcool dans le grain ensilé: "Lorsque l'échauffement du grain est notable, et que l'avoine est du reste saine et pas assez humide pour que

les organismes étrangers l'envahissent, cette production d'alcool devient sensible; elle est alors généralement accompagnée d'une odeur de levain assez agréable et les chevaux la mangent avidement. Cependant la proportion d'alcool que nous avons dosée, dans les avoines ensilées, n'a jamais dépassé 1 ou 2 millièmes, mais suffit cependant pour donner une certaine odeur alcoolique."

Avec Müntz se termine la période expérimentale du XIXe siècle. Rien de plus ne sera fait jusqu'à la première guerre mondiale (sauf peut-être en Allemagne, où les recherches sur le séchage semblent avoir été développées plus tôt que dans les autres pays). "J'ai le sentiment très net que nos connaissances actuelles en ces matières reposent sur des bases bien fragiles", écrit E. Schribaux dans la Revue de l'Intendance militaire en 1912. Et voici en quels termes il caractérise la situation de l'époque:

"Bon an mal an, c'est par des millions et des millions qu'en France seulement, se chiffrent les pertes que nous éprouvons du fait des déperditions et des altérations que subissent les grains de nos céréales; la technique de la conservation des grains a fait très peu de progrès à cet égard: elle est restée à peu près aussi routinière qu'il y a des siècles, et les étrangers sont logés à la même enseigne. On demeure confondu lorsqu'on apprend que, dans des pays d'initiative et de progrès, comme les Etats-Unis et la République Argentine, exportant des millions de tonnes de maïs en Europe, au moins un navire sur deux, débarque du grain plus ou moins avarié. Les risques de perte sont si grands que la plupart des compagnies se refusent à assurer ces marchandises."

Dans sa conclusion, en outre, Schribaux pose une question qui, généralisée, est à la base de toute notre problématique sur la conservation des grains:

"S'il est vrai que le séchage du grain combiné avec la méthode de conservation dans l'air confiné présente tant d'avantages pour les approvisionnements importants, comment expliquer que ce procédé soit aussi peu répandu? Je vous ferai remarquer qu'à Paris, la Compagnie des Omnibus et la Compagnie des Petites Voitures ont installé des silos fermés qui leur rendent les plus grands services.

Les particuliers, négociants, directeurs de greniers coopératifs,

- Tableau 2 -

## Projets et expériences de conservation des grains en silos, 1819-1900.

Auteur	Date et Endroit des expériences	Caractéristiques techniques	Sources
Busche (Admin. de la Réserve)	1819-1821 Paris, Abattoir du Roule	4 fosses de dimensions et de constructions différentes	<u>Journal de Paris</u> , 22 juillet 1819
Clément et Hachette	1819 ...	Silos en fonte	Lasteyrie 1819
Dejean (Dir. Gén. des Subs. militaires)	1819-1822 Paris, 36 rue du Cherche Midi	3 fûts en plomb de 8 m <sup>3</sup> chacun	Dejean 1819
Ternaux	1819-1827 Saint-Ouen	4 silos souterrains non revêtus (garniture de paille seult.) et 1 glacière aménagée	Ternaux 1820; <u>AAF</u> 1820-1827; <u>SRCA</u> 1826
Lasteyrie	1820-1822 Paris, Hôpital Saint-Louis	3 silos souterrains	Lasteyrie 1819; <u>AAF</u> 1821
Rigny	1821-1828 Chateau de Palerne près Ennezat (Puy-de-Dôme)	Silo souterrain maçonné, environ 40 m <sup>3</sup>	Doyère 1852
Demarçay	1822-1827 Le Breuil, près Poitiers	2 silos souterrains revêtus de maçonnerie, env. 10 et 30 m <sup>3</sup>	<u>AAF</u> 1823 et 1827
Delacroix	1822- ? Ivry-sur-Seine	Tonneaux en bois bitumé avec garniture intérieure de papier, dans anciennes carrières souterraines	<u>AAF</u> 1825 et 1826
Busche (Admin. de la Réserve)	1826-1829 Paris, Quai de l'Hôpital	Pièce de 80 m <sup>3</sup> d'un bâtiment existant, revêtue de feuilles de plomb soudées	<u>AAF</u> 1829 et 1830
D'Arcet	1841- ? Vincennes	Pour essai d'un enduit hydrofuge sur maçonnerie	<u>AAF</u> et <u>SRCA</u> 1841
Doyère	1852-1862 Asnières, Cherbourg, Alger, Toulon, Brest, etc.	Silos souterrains revêtus de tôle	Doyère 1852 à 1862
Haussmann	1855 ...	Silos mobiles en tôle sous atmosphère d'azote ou de gaz carbonique	Haussmann 1855
Louvel	1861-1872 Paris	Silos en tôle, sous vide	Louvel 1861-1872
Müntz	1879-1880 Paris	Silos en tôle de la Cie. des Omnibus et expériences en laboratoire	Müntz 1881

fussent-ils convaincus que les produits séchés et ensilés hermétiquement sont d'une conservation plus facile et sensiblement améliorés comme qualité à leur sortie du séchoir, ne manifesteraient aucun empressement, il faut le reconnaître, à soumettre au séchage les grains même très compromis par l'humidité. La raison est bien simple: le grain se vendant au poids, ils ne sont pas disposés à prendre à leur charge la perte de 5 % et plus qui en résulte."

(Il a toujours été si avantageux de vendre de l'eau au prix du blé, du charbon ou de la viande..!)

La première guerre mondiale donnera une nouvelle impulsion aux recherches, notamment en Angleterre où les travaux de Dendy et Elkington sont publiés dans les Reports of the Grain Pests (War) Committee (1918-1921). Mais pour ce qui est de la pratique professionnelle, le grand tournant ne sera pris que dans les années 1950. C'est en effet dans les années 1950 que la moissonneuse-batteuse se généralise en Europe Occidentale. Or, le nouveau mode de récolte pose des problèmes d'une ampleur complètement inconnue auparavant. Toute la récolte de l'année (et, en Europe du Nord-Ouest, son volume est 2, 3, 5 fois ce qu'il était au XIXe siècle) arrive aux magasins en quelques semaines, dans les pires conditions pour la conservation puisque le grain est en général à la fois humide et chaud.

J'essaierai de rendre compte de l'histoire de cette période dans un autre travail. Car nous n'en avons pas tout à fait fini avec le XIXe siècle. Il nous reste à évaluer les faits et les opinions tels qu'ils ont été rapportés. Et pour cela, il faut encore une fois revenir à Doyère. Non pas Doyère l'entomologiste et expérimentateur, mais Doyère le voyageur et l'ethnographe en quelque sorte. Car c'est à ce dernier que nous devons la seule étude technique approfondie d'un système d'ensilage traditionnel qui ait été faite à ce jour. Il s'agit des silos de la Tierra de los barros, en Estremadure.

#### Les silos de la Tierra de los barros (Estremadure).

"A Madrid, des savants distingués et compétents dans tout ce qui

concerne l'agriculture espagnole m'avaient déclaré que mes recherches étaient sans objet actuel dans la péninsule, que l'ensilage n'y était plus nulle part une pratique de quelque importance, et que j'aurais peine à y trouver des traces reconnaissables de silos romains ou d'anciens silos maures." Heureusement, Doyère, qui rapporte ce propos, savait par les récits de Jourdain et du Comte de Lasteyrie toute l'importance qu'avait l'ensilage en Espagne encore quarante ans plus tôt. "On verra", ajoute-t-il, "tout ce que j'eusse perdu, si ces renseignements si décourageants m'eussent détourné de la ligne de recherches que je m'étais primitivement tracée."

Notons au passage la discordance. Partout, le XIXe siècle est l'époque où la "science" s'écarte des savoirs paysans qu'elle méprise de plus en plus et qu'elle va jusqu'à nier. Ne nous y trompons pas. Doyère est une exception. Et malgré leur succès éphémère, les silos paysans n'ont jamais trouvé place dans les sciences agronomiques modernes, aujourd'hui pas plus qu'hier.

Ce que Doyère aurait perdu, et que nous aurions perdu avec lui, s'il s'était rendu au scepticisme de ses collègues madrilènes, c'est de savoir qu'en 1852,

"Almendralejo possède cinq sileras, dans l'une desquelles j'ai compté trois cent dix-sept petites éminences en terre, toutes récentes, destinées à faire reconnaître plus tard les orifices d'autant de silos qui ont été remplis au mois d'août dernier. Le nombre total de silos, dans cette silera seulement, est de plus de huit cents. Il en existe aussi dans les habitations et dans les cours. L'alcade d'Almendralejo, qui est en même temps l'un des riches propriétaires, el señor D. Candido Chumacero, estime que la ville en possède au moins trois mille, qui ne doivent pas contenir, en totalité, moins de 400.000 fanègues de froment (220.000 hectolitres). Ces quantités sont peut-être plus élevées encore à Villafranca, où j'ai compté par approximation, dans une seule silera, mille de ces petits tumulus dont j'ai parlé, qui, élevés au-dessus de la bouche des silos, les font reconnaître et servent en même temps à écouler les eaux pluviales."

Mais pourquoi pareille accumulation de silos dans ces deux localités relativement obscures de la province de Badajoz? La géographie de

l'ensilage pose quantité de problèmes de ce genre. En l'espèce, l'explication que propose Doyère paraît complète. Tout d'abord, la Tierra de los barros est située "au milieu d'une province dont la fécondité en céréales est proverbiale, et qui en exporte, par Séville, des quantités considérables". Ensuite, le sol lui-même (los barros) est un dépôt argilo-sableux, ferrugineux, à peu près totalement imperméable: c'est uniquement dans ce sol, et seulement là où il atteint une profondeur de 8 à 10 mètres, qu'on creuse des silos. Or, Almendralejo et Villafranca sont les deux seuls points où ces conditions sont réunies:

"On ne m'a indiqué, dans le voisinage, que sept autres pueblos où il existe des silos, et, dans plusieurs, ils sont en très-petit nombre, et ne donnent que de très-médiocres résultats. Beaucoup de tentatives ont été faites pour en établir ailleurs, et tout récemment encore; mais elles n'ont abouti qu'à faire trouver du blé pourri dans la terre, ou au moins très-avarié, après deux ou trois ans. Tout autour de la Tierra de los barros, à Zafra, à Llerena, on n'a pas d'autres moyens de garder les blés que ceux que nous employons en France, et ils n'y sont pas plus efficaces pour empêcher la fermentation ou les ravages des charançons."

Il serait peut-être concevable, cependant, de faire des silos dans d'autres types de sol, à condition de les revêtir de maçonnerie. Le grand avantage des barros, c'est précisément qu'un revêtement de maçonnerie n'y est pas indispensable. Le blé n'y est protégé du contact avec la terre des parois que par une simple garniture de paille.

"Les huit nouveaux silos... n'ont coûté qu'environ 700 francs, ce qui se conçoit sans peine, puisqu'il n'y a eu qu'un travail de terrassement, et que ce travail... se trouve payé à raison de 1 fr. 60 c. le mètre cube. La capacité nécessaire pour loger 1 hectolitre de blé n'a donc pas coûté plus de 16 centimes, une fois payés. Il est évident qu'il y a là un argument de bon marché devant lequel échoueront longtemps, si ce n'est toujours, les tentatives que l'on pourrait faire pour améliorer la construction des silos dans ces contrées."

Argument de bon marché d'autant plus déterminant que le but de l'ensilage est explicitement spéculatif. La Tierra de los barros...

"... offre cet exemple, peut-être unique dans le monde entier,

de n'en exporter couramment [du blé] que pour satisfaire à ses besoins de numéraire les plus pressants, et de garder le reste pour les époques de vente favorables, qui s'y renouvellent tous les cinq ou six ans. Elle doit ce privilège à l'ensilage des grains. Il a dû s'y faire et il s'y est fait par l'ensilage des fortunes considérables. Quelques chiffres suffiront pour en fournir la preuve.

Il est de notoriété publique à Almendralejo qu'une seule maison a vendu, en 1847, plus de 27.000 fanègues de froment (15.000 hectolitres) retirées de ses silos. La récolte de 1846 avait été magnifique, et le prix de la fanègue de froment était de 14 réaux (environ 6 fr. 50 c. l'hectolitre) avant l'arrivée des commissionnaires étrangers; il monta jusqu'à 70 réaux (32 francs l'hectolitre). [...] On m'a montré à Villafranca de los Barros, ... un vieux prêtre renommé pour sa richesse, et qui la doit également à l'ensilage. Il aurait réalisé, s'il faut en croire le bruit public, plus de 1 million de réaux (260.000 francs) par la vente de ses blés en 1847."

Mais venons-en maintenant aux problèmes spécifiquement techniques. Deux conditions sont nécessaires à la réussite de l'ensilage des grains: "l'extrême siccité des grains et le peu de perméabilité des terrains spéciaux des sileras pour l'air et pour l'humidité." Mais ces conditions nécessaires ne sont pas suffisantes. Car en silo, le grain absorbe lentement l'humidité du sol, et il faut pouvoir arrêter ce processus avant qu'il ne devienne dangereux. Il y a pour cela tout un ensemble de pratiques.

On visite les silos chaque année. On extrait à peu près le quart supérieur du grain. Et comme l'altération commence toujours par le haut, si ce grain est intact, on le réensile immédiatement après un bref séchage. Sinon, le silo est entièrement vidé, on étend le grain au soleil, on l'aère par plusieurs pelletages, et on le réensile: pour un silo moyen de 500 fanègues (275 hl), l'opération demande six hommes et dure trois jours. Mais on la pratique aussi sur le blé de ~~l'année précédente~~ l'année, qu'on doit enfouir dans des silos neufs ou qui sont restés vides un certain temps. Ce blé est jeté dans le silo sans aucune précaution, au fur et à mesure du dépiquage, et on l'extrait un mois plus tard pour le sécher et l'aérer, après quoi on

le réensile avec cette fois toutes les précautions d'usage. "Cette première introduction du blé dans les silos est évidemment une pratique qui a pour but d'en préparer les parois par une dessiccation dont l'agent est le blé lui-même." Il arrive même, lorsque le silo est particulièrement humide, qu'on doit renouveler deux fois l'opération avant l'ensilage définitif.

"L'extrême siccité des grains" dont parle Doyère n'est pas une simple conséquence du climat espagnol. Elle est liée aux moissons tardives, elles-mêmes en relation avec les techniques de dépiquage et l'utilisation de la paille comme fourrage. Il y a là un magnifique exemple d'interconnexion entre les techniques d'un même système agricole, qui mérite d'être cité :

"Les grains ont en Espagne un degré de siccité plus élevé que partout ailleurs en Europe, probablement, et même qu'en Algérie. Cette particularité se rattache à l'usage général que l'on y fait de la paille réduite presque en poussière et même passée au crible, pour la nourriture du bétail. Mélangée avec de l'orge, cette paille pulvérisée constitue l'unique fourrage, si ce n'est dans toute l'Espagne, au moins dans toutes celles de ses provinces que j'ai visitées. Elle passe pour avoir une valeur nutritive d'autant plus grande qu'elle est plus fine. On l'obtient dans cet état, dont la paille découpée par nos hache-paille ne peut donner aucunement l'idée, en la broyant sous le trillo. C'est une opération qui diffère assez des dépiquages usités en France pour que je croie utile de la faire connaître.

Le trillo est une sorte de traîneau formé par des planches assemblées et relevé en avant. Après l'avoir fait fortement sécher, on le garnit en dessous de silex tranchants comme des lames de couteau, disposés longitudinalement, en losanges, et distants, entre eux, de 12 à 15 centimètres. Pour fixer les silex dans le bois, après les y avoir implantés, on laisse tremper le trillo dans l'eau pendant un jour ou deux. C'est dans cet état qu'il sert à dépiquer le grain et à broyer la paille. Mais pour que celle-ci soit aussi fragile que possible, on attend qu'elle soit entièrement sèche avant de couper les blés. Aussi la moisson se fait-elle tard en Espagne. J'ai vu des blés encore sur pied le 16 août en traversant la Castille vieille, et les dépiquages n'étaient pas entière-

ment<sup>terminés</sup> depuis plus de quinze jours en Estramadure lorsque j'y suis allé, le 10 septembre. [...] On ne peut pas s'étonner après cela d'y rencontrer des grains qui ne contiennent que 6 à 7 pour 100 d'eau, tandis que ceux que nous appelons secs en France en contiennent au moins le double."

Mais une fois en silo, l'humidité du grain augmente lentement. Doyère note un taux de 10,74 % après un an d'ensilage, et de 12,21 % après deux ans. Il s'agit toutefois du grain du centre, car le blé du fond et des parois s'humecte bien davantage; les teneurs atteignent 15, 17 et même 19 %. Parallèlement, le poids spécifique diminue. De 81,5 à 84 kg/hl au dépiquage, il descend à 78-79 kg, et jusqu'à 72-73 kg dans les situations les plus défavorables. De plus, le grain ensilé trop longtemps ou dans de mauvaises conditions acquiert une odeur spéciale,

"qui n'est point celle de moisi, ni l'odeur que le blé contracte lorsqu'il séjourne longtemps en couches dans les greniers ordinaires. Cette odeur est désignée, dans le pays même, sous le nom d'odeur de silos (olor de silos). Je la crois due à la décomposition de la couche de blé en contact avec la paille, et de la paille elle-même. Peut-être aussi est-elle le produit d'une fermentation particulière. Ce qui permettrait surtout de le croire, c'est sa ténacité. Dès qu'elle est arrivée à un certain degré, il est impossible de la faire disparaître complètement. Les marchands de blé de Séville la reconnaissent parfaitement dans ceux qui ont passé seulement deux ans en silos, et elle est la cause d'une dépréciation qui va, même pour les blés d'ailleurs bien conservés, jusqu'à 4, 5, 6 réaux par fanègue, ce qui fait 2 à 3 francs par hectolitre."

Terminons par la conclusion de Doyère lui-même, qu'accompagnent quelques données supplémentaires sur une petite ville des environs de Cadix:

"La conservation des grains dans de simples cavités creusées en terre ne se prolonge nulle part au delà de six ou huit ans. Les blés y perdent leur faculté de germer au bout d'un, deux ou trois ans, et contractent après trois ou quatre un goût et une odeur qui les font toujours reconnaître, et leur ôtent de la valeur. Mais cette durée est beaucoup plus longue à Rota, petit port sur la terre ferme, en face de Cadix; au dire des habitants, elle y serait

[même tout à fait illimitée. Les silos de Rota sont des caves en maçonnerie excellente, établies au sein d'un dépôt argilo-siliceux rouge (barro rubro) comme celui de la Tierra de los Barros; l'imperméabilité du terrain et celle de la construction se complètent l'une par l'autre. La plupart de ces caves sont sous les rues de la ville, et protégées contre l'infiltration des eaux pluviales par une couche épaisse de mortier de chaux recouvert lui-même d'un excellent pavage. Un tampon en pierre scellé à la chaux en ferme l'orifice. Leur nombre ne s'élève qu'à quatre-vingt-dix ou cent, par suite du peu d'étendue et de l'épaisseur variable du dépôt, qui n'occupe qu'une partie de l'espace recouvert par la ville elle-même, de sorte que, dans une petite cité de huit ou dix mille âmes, on voit l'ensilage pratiqué avec succès à l'une des extrémités, impossible à l'extrémité opposée."

### Pourquoi des silos souterrains ?

Nous pouvons maintenant essayer de répondre, au moins partiellement, à quelques unes des questions que nous posent l'existence des silos souterrains et la série de tentatives malheureuses pour les implanter en France.

Et d'abord, pourquoi des silos souterrains? Il est clair que deux facteurs importants sont en cause: l'économie, et la recherche de l'étanchéité.

Il est inutile de revenir sur le premier point. "L'argument de bon marché", noté par Doyère, avait déjà été compris par Thomas Shaw longtemps auparavant. C'est aussi celui qu'avancent Jourdain, Lasteyrie, Ternaux et bien d'autres. Il faudrait naturellement l'appuyer par l'analyse des données quantitatives dont nous disposons. C'est matériellement possible, cela sera fait un jour. Pour l'instant, on peut dire que cet argument de bon marché est sans doute plus pertinent et plus général que celui qui veut que les silos fussent avant tout des cachettes contre les voleurs ou les ennemis. Cachettes assez peu sûres en réalité. Et de toutes façons, l'un n'empêche pas l'autre.

La recherche de l'étanchéité à l'air est plus déterminante encore peut-être que celle de l'économie. Avant l'époque contemporaine en effet, le stockage en atmosphère confinée était le seul moyen de lutte contre les insectes qui fût à la mesure de volumes de grains importants, et les silos souterrains étaient le seul moyen pratique de réaliser une atmosphère au moins approximativement confinée. Or, le danger des insectes est fonction des conditions climatiques. Il est à son maximum dans les pays tropicaux humides, où la conservation des grains est extrêmement difficile. Il est considérable dans les pays méditerranéens, avec leurs hivers doux, leurs étés chauds, et une humidité atmosphérique qui reste élevée une bonne partie de l'année (toute l'année, même, au voisinage de la mer). En Algérie, note Doyère, "il n'y a pas d'autre grenier possible que le silo, pour une conservation d'une certaine durée, et la raison n'en est pas seulement dans la rapidité prodigieuse avec laquelle le charançon pullule, mais aussi dans la tendance qu'a le grain à s'échauffer lorsqu'on veut le conserver à l'air libre." (En réalité, ces deux causes n'en font qu'une: c'est précisément la pullulation des charançons qui provoque l'échauffement du grain. Doyère ne l'avait semble-t-il pas compris.)

Il existe indéniablement des déterminismes climatiques en matière de conservation des grains. Mais il faut bien voir qu'il ne s'agit nullement d'une causalité simple climat sec → silos souterrains. Car parler de climat sec à propos des pays méditerranéens n'a aucun sens. Certes, les habitants de l'Estremadure mettent à profit les conditions climatiques de leur pays pour obtenir des grains très secs au dépiquage. Mais ni du point de vue des charançons, ni du point de vue du sol, le climat méditerranéen n'est "sec".

Paradoxalement, il s'avérera ~~beaucoup~~ plus difficile d'obtenir un bon degré d'étanchéité avec les techniques "modernes" du XIXe siècle qu'avec les techniques traditionnelles. Avec celles-ci, en effet, le degré d'étanchéité obtenu dépendait surtout de la nature du sol, Doyère le montre assez. Il y a sur ce point précis un certain effet positif de l'humidité, lorsqu'elle n'est pas excessive naturellement: un sol rigoureusement sec laisserait passer l'air, tandis qu'une certaine humidité, dans l'argile notamment, contribue à freiner la circulation des gaz. Lorsque les conditions de sol sont favorables, le seul point faible est la bouche du silo. C'est juste au dessous d'elle que se

se produisent le plus souvent les avaries. Dans les silos d'Estremadura et de Toscane comme dans ceux de Ternaux, l'altération commençait toujours par le haut, hormis la couche de grains de quelques centimètres touchant le fond et les parois.

Dans les silos construits au dessus du sol, la réalisation d'une bonne étanchéité à l'air exclut la maçonnerie ou le béton, matériaux bien trop poreux. Cela avait été déjà vu par Doyère, et des études plus récentes l'ont confirmé (Chabrolin et Montlaur 1939). Il faut en fait, soit une construction en tôles soudées (et non simplement rivetées ou boulonnées), soit un système de régulation qui permette d'équilibrer automatiquement la pression intérieure du silo avec la pression atmosphérique. Ces deux solutions ne sont disponibles à l'échelle industrielle que depuis les années 1950. En 1940 encore, la question n'avait guère avancé par rapport à l'époque de Müntz. Dans ses expériences du Chesnoy (Loiret) avec un silo en tôle de 200 qx, A. Blanc éprouva les accidents mêmes signalés par Müntz soixante ans plus tôt. Notamment la condensation sous la plaque de fermeture par effet de paroi froide. Ce n'est que très récemment que ce phénomène a fait l'objet d'études approfondies (Disney 1969).

C'est certainement au fait qu'il enterrait ses silos en tôle que Doyère doit en grande partie ses succès. Mais au delà du problème de génie civil qu'est la réalisation de l'étanchéité, il y a celui, infiniment plus complexe, de la qualité du grain.

Les difficultés de l'appréciation du grain conservé se situent à deux niveaux. Le premier est celui des critères permettant cette appréciation, nous allons y revenir. Le second, moins évident, mais non moins important, est celui de la signification comparative des résultats expérimentaux. Il est clair, en effet, qu'une technique de conservation ne doit pas être jugée seulement en elle-même, mais par comparaison avec les autres techniques existantes. Or, aucune des expérimentations du XIXe siècle (ni du XXe, d'ailleurs, avant 1950 tout au moins) ne permet d'établir une telle comparaison de façon rigoureuse. Concrètement, cela signifie que lorsqu'une expérience d'ensilage s'achève, lorsque le grain a été examiné, qu'on en a fait de la farine et du pain, et qu'on commence à discuter les résultats, des facteurs interviennent auxquels on n'avait pas songé au départ. C'est alors, et alors seulement, qu'on s'aperçoit que le blé ensilé était

d'une qualité différente de la moyenne. Ou bien qu'il avait voyagé trois jours sous la pluie avant d'être ensilé. Ou bien que l'échantillon de comparaison a été gâté par les rats, faute d'une surveillance suffisante... Le jour de la mouture d'essai, le moulin manque d'eau, c'est-à-dire de puissance. Et encore, le boulanger chargé de l'essai de panification n'a pas assez de farine pour faire plusieurs fournées; or, la première fournée qu'il fait avec une farine qu'il ne connaît pas a toujours un caractère expérimental, et ne permet donc pas de juger la fabrication. Lors des expériences de Blanc, en 1938, plusieurs experts trouvent au pain une légère odeur de "paille mouillée"; mais selon l'un d'entre eux, cette odeur serait caractéristique de tous les blés de 1936, quelque soit la façon dont ils ont été conservés...

On n'en sort pas. On voudrait bien, dans ce domaine comme dans d'autres, pouvoir prononcer la phrase traditionnelle, qui commence par "toutes choses égales d'ailleurs..." Il semble bien qu'il faille y renoncer. Dans les expériences de conservation des grains, il y a toujours quelque chose d'imprévu qui vient compliquer l'interprétation des résultats. Notre désir de certitudes simples et absolues ne sera sans doute jamais satisfait.

Mais il ne faut pas pour autant jeter le manche après la cognée. Les résultats expérimentaux sont tout de même des éléments d'information non négligeables. Nous allons le voir en réfléchissant sur le problème des critères de qualité des grains.

Bien entendu, ces critères dépendent avant tout de l'utilisation qu'il est prévu de faire des grains. Ils dépendent en second lieu, d'un point de vue plus quantitatif, des méthodes de mesure dont on dispose et de leur précision. Nous n'allons pas nous étendre sur ce dernier point. Il est évident que l'arsenal des méthodes de mesure s'est immensément enrichi depuis le XIXe siècle. Mais il n'est peut-être pas inutile de souligner que l'odeur reste un des indices les plus sensibles dont nous disposons; c'est du moins ce qui a été constaté récemment à propos des graines oléagineuses (Poisson et al.). Si cela se vérifiait pour les céréales, alors il faudrait admettre que les critères de qualité appliqués pour juger des expériences de Ternaux, par exemple, n'étaient guère moins rigoureux que ceux que nous leur appliquerions aujourd'hui.

Cela dit, quelles sont les relations entre formes d'utilisation des grains et critères de qualité? On peut, semble-t-il, distinguer quatre grands types d'utilisation, suivant les exigences de qualité qu'ils comportent: 1, les grains de semence et de brasserie; 2, les céréales panifiables; 3, les grains à bouillies, galettes, gruaux, etc.; et enfin 4, grains fourragers.

Les grains de semence doivent évidemment conserver intacte leur capacité germinative. Il est rare qu'on les conserve en silo, sauf dans les régions arides (Asie centrale, Sud tunisien...). Quant aux céréales de brasserie, elles sont assimilables aux semences lorsque la bière se fait à partir du malt (grains germés et séchés). Ce n'est bien sûr pas le cas lorsqu'elle se fait à partir de grains mâchés ou cuits, etc.

C'est pour les céréales fourragères, à l'inverse, que les exigences de qualité sont naturellement les moins élevées. Cependant, il y a une grande différence entre le grain détérioré qu'on abandonne à la volaille, par exemple, et l'avoine que les chevaux refusent ou n'acceptent qu'avec répugnance lorsqu'elle a une odeur qui leur déplaît. Tous les zootechniciens connaissent bien ces problèmes d'appétence.

Mais ce qui nous intéresse davantage ici, ce sont les différences de qualité entre grains destinés à la panification, et grains destinés à être consommés sous d'autres formes, notamment celle de gruau (nous sommes mal renseignés sur les exigences de qualité propres à la consommation sous forme de bouillies, galettes, pâtes alimentaires, etc.). Il se pourrait bien, en effet, que le grain conservé en silo, même dans de bonnes conditions, subisse des modifications qui altèrent ses qualités boulangères, mais n'altèrent pas, voire même peut-être améliorent, ses qualités comme gruau.

Par gruau, nous entendons ici le grain entier ou concassé, débarrassé seulement de ses enveloppes si c'est un grain vêtu (riz, orge, avoine, millets, etc.), ou de la partie la plus extérieure de son épiderme s'il s'agit d'un grain nu (froment, maïs). Or, avant de réduire le grain en gruau, on lui applique souvent un traitement préalable appelé étuvage. Cet étuvage, en anglais parboiling, n'a rien à voir avec le séchage à l'étuve proposé par Duhamel du Monceau au XVIII<sup>e</sup> siècle. Il consiste en un trempage du grain dans l'eau chaude,

précédé ou suivi d'un traitement à la vapeur. Le grain est ensuite séché et conservé en l'état jusqu'à l'usinage. Ce procédé est surtout connu pour le riz (il semble originaire de l'Inde). Mais on l'emploie aussi pour le maïs et pour le blé. Le bulgur ou burgul, universellement connu de l'Inde du Nord-Ouest à l'Afrique du Nord, est du blé étuvé, séché et concassé (Gariboldi 1974, Haley & Pence 1960).

Quelles sont les conséquences de l'étuvage?

Le pouvoir germinatif du grain est évidemment détruit. Les insectes leurs oeufs et leurs larves sont tués, ainsi sans doute qu'une grande partie des micro-organismes nuisibles. D'où une meilleure conservation que le grain non étuvé. Au Proche-Orient, le bulgur est une des formes sous laquelle on conserve le blé de préférence: il est fréquent que chaque famille en fasse provision pour toute l'année, au moment de la moisson.

Mais l'étuvage détermine aussi deux importantes modifications biochimiques dans le grain: une gélatinisation de l'amidon, qui améliore la tenue du grain à la cuisson (le riz étuvé ne "colle" pas), et une migration des éléments minéraux et des vitamines hydrosolubles des couches externes du grain vers l'intérieur. Ce deuxième phénomène est important sur le plan nutritionnel, car il réduit les pertes en ces éléments au décorticage (notamment en vitamine B1, antibéribérique, dans le cas du riz). Quant à la gélatinisation de l'amidon, elle est incompatible avec la production de farine, et donc, s'il s'agit de blé, avec la panification.

Or, il semble bien que ~~le blé conservé en silo subisse~~ les modifications que subit le blé conservé en silo souterrain ne soient pas sans rapport avec celles que provoque l'étuvage.

C'est ainsi qu'en Afrique du Nord, le grain qui a fermenté en silo n'est pas déprécié par rapport au grain ordinaire. On note qu'il se conserve bien en sacs, qu'il est apprécié pour la confection du cous-cous, et qu'il se vend plus cher que le blé ordinaire. En Inde, le "mûrissement" (curing) du riz en silo n'est pas seulement toléré, il est recherché (Ramiah 1937). On se souvient par ailleurs que le blé du silo n° 2 de Ternaux donna à la mouture moins de farine, moins de son et plus de gruaux que les blés ordinaires: il fallut le remoudre une fois de plus qu'à l'accoutumée pour obtenir un rendement normal

en farine. De même, il fallut resserrer les meules et moudre deux fois au lieu d'une les blés du silo expérimental de Doyère, à Brest, qui étaient restés en silo 18 mois à 15-17 % d'humidité. Enfin, dans les expériences de Blanc, en 1936-1938, on observa un enrichissement de la farine en matières minérales, et un appauvrissement du son, d'autant plus grands que la conservation avait été plus défectueuse.

En définitive, il semble bien que ce soient les exigences de la panification, conjuguées avec une technique encore incertaine, qui aient fait échouer les tentatives pour implanter les silos hermétiques en France au XIXe siècle et dans la première moitié du XXe. La contre-preuve étant l'exemple de la Compagnie des Omnibus. Aux termes de son traité avec la Réserve, Ternaux devait rendre du blé "de première qualité de commerce, loyale et marchande", et "propre à confectionner les farines premières, telles qu'on les emploie dans la boulangerie de Paris". Il ne faut pas sous-estimer la sévérité de ces exigences. Elles correspondaient à un pain blanc que seuls les riches pouvaient consommer régulièrement, et qui à l'époque n'existait sans doute nulle part ailleurs qu'à Paris, si ce n'est peut-être dans des villes comme Vienne ou Londres.

Mais ce pain blanc a moins de valeur, sur le plan nutritionnel, que le blé consommé presque entier sous forme de bulgur. Les critères de la qualité nutritionnelle et ceux de la qualité gustative sont souvent contradictoires, on le sait. L'analyse approfondie de ces critères est certainement une des voies qui nous conduira à la solution des multiples problèmes que nous posent les techniques de conservation des grains.

### Conclusion.

Le point de départ de ce travail était l'étonnement, devant un procédé de conservation des grains presque inconnu. Son point d'arrivée est encore l'étonnement, mais cette fois devant le fait que ce procédé soit si peu connu. Car enfin, les silos souterrains ont été le principal procédé de stockage des grains dans plus de la moitié des régions céré-

alières du globe, et ce depuis peut-être le Néolithique! Comment expliquer le grand silence qui les entoure? Bien sûr, il y a des documents, et même assez nombreux. Mais nous ne devons pas nous leurrer: la place qui est faite aux silos souterrains dans la littérature est infime par rapport à celle qui est la leur dans la réalité. Et les agronomes ne sont pas seuls en cause dans cette espèce de conspiration du silence. Les historiens, les ethnologues et les géographes n'ont guère fait mieux. En Afrique du Nord, où il y a des silos presque partout, personne ne s'était donné la peine de les étudier sérieusement jusqu'à présent. En France, malgré la récente synthèse de H. Polge (1976), la plupart des archéologues en sont à commencer à se demander si quelques unes des ~~ombres~~ fosses ovoïdes trouvées en grand nombre un peu partout ne pourraient pas être des silos. Et bien entendu, les travaux de leurs collègues britanniques sur ce sujet leur sont inconnus.

Les silos ne sont pas seuls dans leur cas. Il y a d'autres exemples de cette espèce de cécité collective touchant des aspects majeurs de l'activité économique des sociétés. A notre avis, cela fait problème. C'est ce problème que nous voudrions poser, en terminant, à tous ceux que préoccupe l'avenir des sciences humaines.

\*

\* \*

BIBLIOGRAPHIE

Abréviations

A.A.F. = Annales de l'Agriculture Française; le titre a subi de légères modifications; il y a plusieurs séries de numérotation des volumes, qu'on a indiqué entre parenthèses: (2) = 2e série.

S.R.C.A. = Mémoires [...] de la Société Royale et Centrale d'Agriculture; le titre exact a changé à de nombreuses reprises en fonction des changements de régime politique; toutefois, la numérotation des volumes est continue depuis le premier empire.

- 
- "A Letter to the Editors, from an Old Member of the Society, recommending the Establishment of Magazines of Wheat at Gibraltar and Mahon", Museum Rusticum et Commerciale, 1764, 1, 31: 154-158.
- ALPINI, P., Prosperi Alpini Historiae Aegypti Naturalis, Leyde, G. Pottliet, 1735.
- BAINBRIGGE FLETCHER, T., & C.C. GHOSH, "Stored Grain Pests", Agricultural Research Institute of Pusa Bulletin n° 11, Calcutta, Superintendent Government Printing, 1921.
- BEGUILLET, Edme, Traité de la connoissance générale des grains et de la mouture par économie, Paris, Pankoucke, 1775, 2 vol., et Dijon, L.N. Frantin, 1778, 1 vol.
- BLANC, A., "Essais de conservation de blé en atmosphère confinée", Académie d'Agriculture de France, Compte-rendu des séances, 1938, 24: 625-630, et Supplément portant le même titre paginé à part dans le même volume (71 pp).
- BOULLENOIS DE SEMES, "Observations de M. de Boullenois de Semes, propriétaire dans l'arrondissement de Vouziers, sur ses cultures et leurs produits", A.A.F. (2) 13, 1821: 166-179.
- CAILLEAU, "Expériences faites au Port-Louis, Isle de France", S.R.C.A., 1788, vol. 1.
- CHABROLIN, Ch., & MONTLAUR, L., "Contribution à l'étude de l'ensilage hermétique des grains", Annales du Service botanique et agronomique de Tunisie, 1937-1938, 14-15: 33-42 (publié en 1939).
- "Conservation des grains", A.A.F. (2) 15, 1821: 310-313.
- D'ARCET ou DAR CET, Note sur la construction et l'emploi des silos dans le Nord de la France, Paris, L. Bouchard-Huzard (et publié également dans A.A.F. (4) 3, 1841: 124-136).
- DEJEAN, Description d'un nouveau moyen proposé par le Directeur Général des subsistances militaires, et mis en essai à la manutention des vivres, pour la conservation illimitée des grains, Paris, C. Ballard, s.d. (1820).
- DEMARÇAY, "Notice sur un silo creusé aux environs de Poitiers, et observations sur le blé qui y a été déposé", A.A.F. (2) 24, 1823: 295-306.
- DEMARÇAY, "Lettre adressée à M. le Rédacteur [...] relative à de nouvelles expériences sur les silos", A.A.F. (2) 37, 1827: 273-300.

- DEMARÇAY, "Nouveau procédé pour la conservation des grains", A.A.F. (3) 22, 1838: 5-11.
- DENDY, Arthur, "Report on the effect of air-tight storage upon grain insects, Part I", Reports of the Grain Pests (War) Committee, London, Harrison & Sons, 1918, n°1: 6-23.
- DISNEY, R.W., "The formation of dew on a cooled surface in contact with wheat", Journal of Stored Products Research, 1969, 5, 4: 281-288.
- DOYERE, L., Recherches sur l'alucite des céréales, l'étendue de ses ravages et les moyens de les faire cesser, suivies de quelques résultats relatifs à l'ensilage des grains, Paris, Dusacq et Librairie agricole de la Maison Rustique, 1852 (a paru aussi dans les Annales de l'Institut National Agronomique, 1852-1853: 269-380).
- DOYERE, L., Conservation des grains par l'ensilage, Paris, Guillaumin & Cie, 1862.
- DUHAMEL DU MONCEAU, H.-L., Traité de la conservation des grains, et en particulier du froment, Paris, H.L. Guérin & L.F. Delatour, 1753.
- DUHAMEL DU MONCEAU, H.-L., Supplément au Traité de la conservation des grains, Paris, H.L. Guérin & L.F. Delatour, 1765.
- "Expériences importantes sur la conservation des grains", Journal de Paris, 22 juillet 1819.
- FÜZES, Endre, "A gabonás vermek problematikájához (1 térképpel)", Ethnographia, 1973, 84, 4: 462-481.
- GARIBOLDI, F., L'étuvage du riz, Rome, F.A.O., 1974 (Collection F.A.O. Progrès et mise en valeur - Agriculture, n° 97).
- "Greniers et silos du dépôt de la Bastille, Compagnie Générale des Omnibus", Nouvelles Annales de la Construction, 1879, 3, 4, n° 298.
- GRIERSON, George A., Bihar Peasant Life, Calcutta, The Bengal Secretariat Press, 1885.
- HALEY, W.L., & J.W. PENCE, "Bulgur, an ancient wheat food", Cereal Science Today, 1960, 5, 7: 203-207, 214.
- HALL, D.W., HASWELL, G.A., & T.A. OXLEY, Underground storage of grain, London, Colonial Office, H.M.S.O., 1956 (Colonial Research Studies, n° 21).
- HAUSSMANN Père, Mémoire présenté à l'Académie des Sciences sur un nouveau système de conservation des céréales remédiant à l'inconstance des récoltes, Paris, Henri Plon, 1855.
- HUZARD Fils, "Exposition de l'état actuel des silos de M. Ternaux aîné, à Saint-Ouen, ainsi que des bêtes à duvet de Cachemire", A.A.F. (2) 38, 1827: 332-338.
- HYDE, Mary B., & C.G. DAUBNEY, "A study of grain storage fossae in Malta", Tropical Science, 1960, 2, 3: 115-128.
- INTHIERY, B. [pseudonyme de l'Abbé Galiani], L'art de conserver les grains, Paris, Saugrain, 1770.
- JOURDAIN, "Ensilage des grains", A.A.F. (2) 7, 1819: 325-365.
- KUNZ, Ludvik, "Historické zprávy o zemních silech v zóně mediteránního a eurosibiřského obilnárství (Getreidegruben in der eurosibirischen und mediterrannen Zone)", Časopis Moravského Musea (Acta Musei Moraviae), 1965, 50: 143-182.

- LABORDE, Alexandre de, Itinéraire descriptif de l'Espagne, Paris, H. Nicolle et Lenormant, 1808, 5 vol. (vol. 4, p. 29).
- LASTEYRIE, Ch.-P. de, Des fosses propres à la conservation des grains et de la manière de les construire, avec différens moyens qui peuvent être employés pour le même objet, Paris, Imprimerie Royale, 1819.
- LOUVEL, Dr. A., De l'application du vide par la vapeur ou au moyen d'une pompe à double effet dans des cylindres métalliques à la conservation des grains et farines, Saint-Denis, Impr. de A. Moulin, 1861.
- LOUVEL, Dr. A., Conservation des grains au moyen du vide, Paris, Librairie agricole de la Maison Rustique, 1863.
- LOUVEL, Dr. A., Système de la conservation des grains, graines et farines au moyen du vide, Saint-Denis, Impr. de A. Moulin, 1870.
- MERRIT, Dr., "Greniers de Londres, Article traduit de l'anglais du docteur Merrit", Introduction à la Feuille du Cultivateur, Paris, An 3, 2e édition: 257-258.
- MUNTZ, A., "Etudes sur la conservation des grains par l'ensilage", Annales de l'Institut National Agronomique, 1878-1879, 3: 19-73 (publié en 1881).
- NÁNDOR, Ikvai, "Földalatti gabonatórolás Magyarországon", Ethnographia, 1966, 77, 3: 343-377.
- POISSON, J. et al., Conservation du colza en atmosphère confinée, s.l. n.d. (publication du C.E.T.I.O.M.)
- POLGE, Henri, "Lou cros", Bulletin de la Société archéologique, historique, littéraire et scientifique du Gers, 1976, 77, 1: 34-44.
- "Procès-verbal de l'ouverture des foudres contenant de la farine déposée depuis un an dans les souterrains de M. Delacroix, à Ivry, près Paris, et des silos pour la conservation des grains creusés dans les mêmes souterrains", A.A.F., 1825 (2) 31: 275-278.
- "Procès-verbal de dépôt de grains froment dans un silo en plomb, construit d'après le système du comte Dejean, pour essai de conservation", A.A.F. (3) 2, 1829: 181-187.
- "Procès-verbaux des opérations relatives aux essais de conservation effectués par M. Ternaux dans des silos à Saint-Ouen, avec des blés appartenant à l'Administration de l'approvisionnement de la réserve de Paris", A.A.F. (2) 37, 1827: 9-109.
- "Procès-verbaux constatant les ouvertures faites les 4, 7 août, 1er septembre et 10 octobre 1829, d'un silo en plomb construit d'après le système du comte Dejean", A.A.F. (3) 6, 1830: 76-93.
- RAMIAH, K., Rice in Madras, A popular handbook, Madras, Government Press, 1937.
- "Rapport sur l'état de conservation des grains extraits de silos établis à Saint-Ouen par M. Ternaux", S.R.C.A., 1826, 31: 374-412.
- RENEAUME, "Sur la manière de conserver les grains", Histoire de l'Académie royale des sciences, Mémoires de mathématique et de physique, 1708: 63-86.
- ROLLET, Augustin, Mémoire sur la meunerie, la boulangerie et la conservation des grains et des farines [...], Paris, Carillan-Goeury et V. Dalmont, 1846.
- ROZIER, Abbé François, "De la conservation du Froment dans les greniers", in Cours complet d'agriculture [...], ou Dictionnaire uni-

- versel d'agriculture, Paris, 1785, tome 5: 186.
- SCHRIBAU, E., "Conservation des grains", Revue du Service de l'Intendance militaire, 25, 1912: 97-131.
- SERRES, Olivier de, Le théâtre d'agriculture et mesnage des champs, Paris, 1600.
- SERVIERES, Baron de, "Recherches sur l'origine des mattamores", Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [Journal de Physique], 23, 1783: 426:433.
- SHAW, Thomas, Travels, or Observations relating to several parts of Barbary and the Levant, Oxford 1738.
- SHIH SHENG-HAN, A preliminary survey of the book Ch'i Min Yao Shu, Pékin, Science Press, 1962.
- "Silos", A.A.F. (2) 35, 1826: 81-86.
- SIMONDE [de SISMONDI], J.C.L., Tableau de l'agriculture toscane, Genève, J.J. Paschoud, 1801.
- TERNAUX, G.L., Mémoire sur les moyens d'assurer les subsistances de la ville de Paris, par l'établissement d'une compagnie de prévoyance, Paris, C. Ballard, 1818.
- TERNAUX, G.L., Mémoire sur les expériences faites à Saint-Ouen près Paris pour la conservation des grains dans un silo ou fosse souterraine[...], Paris, Delaunay, 1820.
- TERNAUX, G.L., Mémoire sur la conservation des grains dans les silos ou fosses souterraines, d'après les expériences faites à Saint-Ouen près Paris[...], Paris, Carpentier-Méricourt, 1825 (également publié dans les A.A.F. (2) 30, 1825: 257-307).
- TESSIER, Abbé, "Conservation des grains", in Encyclopédie Méthodique, Agriculture, Vol. 3, Paris, Pankoucke, 1793: 454-472.
- YRIARTE, Charles, "De Ravenne à Otrante", Le Tour du Monde, 1877, 2: 209-288.