

Stockage des semences d'arachide décortiquées en atmosphères contrôlées

I. — Essais préliminaires 1979-1982.

A. ROUZIERE (1)

Résumé. — Le procédé de conservation des graines décortiquées d'arachide a été étudié au Sénégal de 1979 à 1982 à l'occasion de deux expérimentations successives. Dans la première (1979-1980), des semences de la variété Spanish 55-437 ont été emballées dans de grandes poches de polyéthylène épais et soumises à un vide de 650 mm de mercure (87 KPa). A l'issue d'un stockage de près de 12 mois à température ambiante, 80 p. 100 des emballages conditionnés sous vide étaient revenus à pression atmosphérique du fait de défauts au niveau des soudures de fermeture. Les caractères physico-chimiques et le pouvoir germinatif des graines ayant bénéficié d'une conservation sous vide pendant toute la durée du stockage étaient restés inchangés, que le stockage ait eu lieu à température ambiante ou à 6 °C ; par contre, le pouvoir germinatif des graines conservées sous azote à température ambiante avait diminué sensiblement. Deux techniques d'ensachage sous diverses atmosphères contrôlées (vide et vide compensé à l'azote) ont été comparées dans la seconde série d'essais (1981-1982). Il est apparu irréaliste de vouloir conditionner ces types d'emballages sous des vides supérieurs à 300 mm de mercure (40 KPa), les matériaux étanches employés ne résistant pas aux contraintes d'étirement apparaissant pour des valeurs plus importantes. La solution du vide compensé à l'azote doit donc être préférée à celle du vide poussé. Sur le plan de la conservation, les deux techniques utilisées en vide poussé simple ou en vide compensé à l'azote ont permis le maintien parfait pendant 18 mois des qualités technologique et semencière des graines décortiquées stockées à température ambiante. Aucune différence de comportement n'a été notée sur ces critères entre les 3 variétés testées (756 A et 73-33, Virginia ; 55-437, Spanish). Les avantages de ce procédé de conservation, promis à un bel avenir, sont discutés.

INTRODUCTION

La question du stockage des grains, graines et semences s'est posée à l'homme dès les premiers développements de l'agriculture, il y a plusieurs milliers d'années.

Deux problèmes se posaient dès cette époque, avec plus ou moins d'acuité selon les situations locales particulières [Multon, 1982] : le séchage des grains et leur mise à l'abri vis-à-vis des intempéries (cas des régions tempérées), et la protection des récoltes par rapport aux insectes parasites et aux prédateurs des stocks (cas des régions méditerranéennes et tropicales).

A l'échelon du paysan producteur, la solution généralement adoptée a été la mise à l'abri de la récolte sèche et propre dans des greniers, silos ou jarres, et sa surveillance constante tout au long du stockage.

Dans le cas de l'arachide, le problème du stockage s'est posé différemment dès le début du XX^e siècle, avec le développement de cette spéculation comme culture industrielle : la récolte étant vendue très rapidement, c'est aux huileries ou à leurs représentants qu'il incombait de veiller à la bonne conservation des stocks d'arachide avant exportation vers l'Europe ou trituration sur place.

Les spécialistes [Gillier et Bockelée-Morvan, 1979] font observer que la coque d'arachide constitue une bonne protection contre la plupart des insectes, et estiment donc que la conservation des arachides en gousses est relativement aisée en saison sèche dans les principaux pays producteurs africains, moyennant l'adoption de mesures simples destinées à contrôler le développement des insectes parasites des stocks. En pratique, c'est la technique du stockage extérieur des gousses, en vrac, qui a été universellement adoptée par les industriels du Sahel.

Malheureusement, le stockage en vrac ne permet qu'une conservation limitée, et dans le temps et sur le plan de la qualité du produit. Si la baisse de cette dernière est admissible dans le cas de l'huilerie, eu égard aux faibles coûts d'exploitation du stockage en « seccos » installés en plein air, il n'en est pas de même pour les productions plus exigeantes sur le plan de la qualité comme celles des semences ou des arachides de bouche. En effet, dans ces derniers cas, on observe une dégradation continue des qualités technologique et semencière des arachides ainsi stockées jusqu'à des niveaux interdisant leur emploi : diminution de la teneur en eau des graines (jusqu'à moins de 3 p. 100), attaque des amandes par les insectes parasites, fragilisation des graines induisant une forte augmentation des taux de casse et de dépelliculage au cours des opérations ultérieures et, notamment, au niveau du décortilage.

Le décortilage précoce des arachides de bouche ou de semences est donc très vite apparu à la profession comme un système permettant d'améliorer considérablement les rendements en produits finis et leur qualité ; mais son adoption posait immédiatement le problème de la protection des stocks de graines décortiquées. En effet, ces dernières sont beaucoup plus sensibles à tous les facteurs environnementaux pouvant avoir un effet négatif sur leur qualité : température, pression d'oxygène, humidité relative, développement de microorganismes et d'insectes parasites, ces derniers appartenant à un nombre d'espèces bien moins limité que dans le cas de l'arachide en coques.

Les études de procédés adaptés de conservation des graines décortiquées se sont multipliées depuis 30 ans. En 1967, Zink *et al.* vérifiaient la possibilité de stocker les semences décortiquées à température ordinaire et en conditions atmosphériques pendant 12 mois sans baisse importante du pouvoir germinatif, mais soulevaient la question du contrôle du parasitisme. Très rapidement, les spécialis-

(1) Ingénieur de recherche à l'IRHO-CIRAD, détaché à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Kaolack (Sénégal).

TABLEAU III. — Développement *in vitro* des embryons de différentes variétés de Grands
(*In vitro development of embryos from different Tall varieties*)

Variété (<i>Variety</i>)	Embryons en culture non contaminés (<i>Uncontaminated embryos under culturing conditions</i>)	Embryons présentant une gemmule à : (<i>Embryos with gemmule at</i>) :					
		P. 100			P. 100		
		mois (<i>months</i>)			mois (<i>months</i>)		
		3	4	5	3	4	5
Grand Rennell - GRL (<i>Rennell Tall - RLT</i>)	15	12	13	14	80	86,6	93,3
Grand Vanuatu - GVT (<i>Vanuatu Tall - VTT</i>)	15	11	12	13	73,33	80	86,6
Grand Salomon - GSN (<i>Solomon Tall - SNT</i>)	11	7	8	9	63,6	72,7	81,8
Grand Tonga - GTG (<i>Tonga Tall - TGT</i>)	16	9	10	11	56,2	62,5	68,75
Grand Comores - GCO (<i>Comoro Tall - COT</i>)	16	8	10	12	50	62,5	75
Grand Polynésie - GPY (<i>Polynesia Tall - PYT</i>)	12	6	6	6	50	50	50
Grand Nouvelle Guinée - GNG (<i>New Guinea Tall - NGT</i>)	13	6	6	6	46,1	46,1	46,1
Grand des Indes - GND (<i>India Tall - NDT</i>)	16	6	8	11	37,5	50	68,75
Grand Thaïlande - GTH (<i>Thailand Tall - THT</i>)	14	3	4	5	21,4	28,6	35,7
Grand Ouest Africain - GOA (<i>West African Tall - WAT</i>)	15	4	5	5	26,7	33,3	33,3
Moyennes (<i>Means</i>)	14,3	7,2	8,2	9,2	50,34	57,34	64,3

CONCLUSION

Il a été possible d'obtenir, sur un milieu solide de composition simple, le développement d'embryons excisés de cocotier. Les plantules obtenues ont été transférées avec succès aux conditions naturelles de culture.

L'adjonction de charbon actif s'est avéré un facteur indispensable, dans nos conditions de culture, à une organogénèse correcte et rapide. La gemmule apparaît après 2 mois de culture et une plantule présentant plusieurs feuilles bien développées a été obtenue après 5 à 6 mois de culture.

De plus, le milieu et les conditions de culture mis au point pour obtenir le développement d'embryons issus de semences hybrides Nain × Grand ont permis d'obtenir des résultats identiques pour des embryons issus de 10 variétés de Nains différentes. Ces conditions de culture sont également utilisables pour les embryons de variétés de Grands mais, dans ce cas, le développement de la gemmule est plus lent.

Ces résultats permettent dès maintenant d'envisager l'utilisation de la culture *in vitro* d'embryons zygotiques pour faciliter le transport des semences de cocotier et pour résoudre les problèmes de quarantaine. De plus, ils offrent la possibilité d'une nouvelle méthode de collecte de matériel végétal dans les conditions de prospection. Dans cette optique, nous orientons actuellement nos travaux sur l'amélioration des conditions de développement des embryons et nous étudions les conditions de prélèvement et de stockage des embryons en conditions non aseptiques.

Remerciements. — Nos travaux ont été entrepris au laboratoire de physiologie végétale de l'ORSTOM sous la direction de Mme BUFFARD-MOREL ; ils ont été poursuivis au laboratoire de culture *in vitro* de la station IRHO/CIRAD de La Mé en Côte d'Ivoire. Nous remercions Mme AHÉE et Monsieur GUÉNIN pour leurs précieux conseils ainsi que la station Marc-Delorme pour la fourniture du matériel végétal.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ABRAHAM A. et THOMAS K. J. (1962). — A note on the *in vitro* culture of excised coconut embryos *Indian Coconut J.*, 12, 2, p. 84-87.
- [2] BALAGA H. Y. et De GUZMAN E. V. (1971). — The growth and development of coconut « Makapuno » embryos *in vitro*. II. Increased root incidence and growth in response to media composition and to sequential culture from liquid to solid medium. *Philipp. Agric.*, 53, 10, p. 551-565
- [3] CUTTER V. M. et WILSON K. S. (1954). — Effect of coconut endosperm and other growth stimulants, upon the development *in vitro* of embryos of *Cocos nucifera*. *Bot. Gaz.*, 115, p. 234-240.
- [4] De GUZMAN E. V. (1970). — The growth and development of coconut « Makapuno » embryos *in vitro*. I. The induction of rooting. *Philipp. Agric.*, 53, 2, p. 65-78.
- [5] DEL ROSARIO A. G. et De GUZMAN E. V. (1976). — The growth of coconut « Makapuno » embryos *in vitro* as affected by mineral composition and sugar level of the medium during the liquid and solid cultures. *Philipp. J. Sci.*, 105, p. 215-222.
- [6] DEL ROSARIO A. G. et De GUZMAN E. V. (1981). — The status of the plant tissue culture in Philippines. In : Rao A.N. (Ed). *Tissue Culture of Economically Important Plants* (Proc. Int. Symp. Singapore, COSTED, ANBS), p. 292-294.
- [7] FISHER J. B. et TSAI J. H. (1978). — *In vitro* growth of embryos and callus of coconut palm. *In vitro*, 14, 3, p. 307-311.
- [8] FRIDBORG G., PEDERSON P., LANDSTROM L. E., ERIKSSON T. (1978). — The effect of activated charcoal on tissue culture ; adsorption of metabolite inhibiting morphogenesis. *Physiol. Plant.*, 43, p. 104-106.

tes ont préconisé le stockage réfrigéré pour la conservation de longue durée des graines décortiquées d'arachide, la teneur en eau des semences devant être maintenue à une valeur peu élevée mais supérieure à 4 p. 100. Norden *et al.* [Norden, 1981] ont observé le maintien des qualités semencières de graines d'arachide à moins de 6 p. 100 d'humidité pendant 4 ans de stockage à 20-25 °C, les insectes étant contrôlés par un pesticide. Toutes les études menées sur le stockage réfrigéré des semences décortiquées ont confirmé la validité de ce système, à l'exception de celle de Marzke *et al.* [1976], dont les semences décortiquées mécaniquement avaient perdu toute viabilité au bout de quelques mois de stockage à 4,5 °C.

Dès cette époque, certains chercheurs ont étudié la possibilité de stocker les graines décortiquées d'arachide en atmosphères modifiées. Ce procédé consiste à conserver les graines dans un mélange de gaz atmosphériques dont la composition est modifiée par rapport à celle de l'air ambiant par l'utilisation de techniques spécifiques : confinement, extraction ou injection de gaz. Dans un premier temps, les auteurs se sont intéressés à la **conservation en atmosphère confinée**, où les graines sont enfermées dans un récipient hermétiquement clos. Bien que ces études aient pris principalement en compte l'évolution des qualités technologiques et organoleptiques des graines conservées [Pearson *et al.*, 1977 ; Slay *et al.*, 1978 ; Multon, 1982], déjà des auteurs signalaient le maintien des facultés germinatives des semences conservées quelques mois dans ces conditions [Norden, 1981]. Toutefois, le principal avantage de la technique du stockage en atmosphère confinée résidait, selon la littérature s'y rapportant, dans le contrôle total des insectes parasites des stocks, obtenu sans que des résidus toxiques s'accumulent dans les graines. Des études spécifiques [Hyde *et al.*, 1961 ; Oxley *et al.*, 1963 ; Harein *et al.*, 1968 ; Multon *et al.*, 1982] ont montré que cet effet de protection résulte de l'anoxie apparaissant dans les conditions de confinement, les graines et les insectes vivants consommant l'oxygène présent lors de la fermeture du récipient de stockage.

Dans la pratique, le procédé de la conservation en atmosphère confinée s'est avéré difficilement utilisable, du fait de l'impossibilité qu'il y a de réaliser des structures de stockage de grande capacité parfaitement hermétiques ; par ailleurs, la consommation de l'oxygène initialement présent en début de conservation est assez lente dans le cas de populations d'insectes à effectifs réduits, si bien que des dégâts significatifs peuvent être occasionnés avant que les conditions anoxiques n'apparaissent. Pour toutes ces raisons, ce système de stockage n'a jamais été vraiment développé, et l'on a préféré employer les procédés de **conservation en atmosphères contrôlées**.

Ces techniques permettent d'obtenir le maintien des caractéristiques initiales des produits stockés soit par réalisation active de l'anoxie (application du vide ou remplacement de l'atmosphère initiale par un gaz inerte), soit par injection de gaz carbonique, qui a la propriété de bloquer les métabolismes respiratoires aérobies des êtres vivants. Des études avaient été menées dès les années 50 sur d'autres espèces végétales : le coton [Simpson, 1953], le maïs [Goodsell *et al.*, 1955], le tournesol, le colza et le sésame [Bass *et al.*, 1963 ; Masson, 1963 et 1969], et de nombreuses céréales [Shejbal, 1980 ; Multon, 1982]. D'une façon générale, tous les auteurs cités concluent à la validité du stockage en atmosphères contrôlées comme technique de conservation des grains et semences avec, toutefois, une légère préférence pour le stockage sous azote technique : maintien des qualités organoleptique, technologique et

semencière pendant plusieurs mois, voire des années si la teneur en eau des graines ne dépasse pas une certaine limite ; contrôle parfait des microorganismes et insectes parasites des stocks.

Dans le cas de l'arachide, les travaux sont plus récents et parfois contradictoires en ce qui concerne l'effet des conditions de préparation et de conservation des graines sur le maintien de leur qualité semencière ; pour Marzke *et al.* [1976], la faculté germinative des semences stockées en atmosphère contrôlée dépend plus du mode de décortilage et de la température de stockage que du type d'atmosphère utilisée ; Slay *et al.* [1980] ont constaté la supériorité du stockage sous vide ou sous azote, à température ambiante, sur le stockage en réfrigéré dans les conditions atmosphériques pour des périodes allant jusqu'à un an ; Wilson *et al.* [1985] ont obtenu des résultats similaires en ce qui concerne le pouvoir germinatif des semences stockées sous azote à température ambiante pendant un an.

Au Sénégal, c'est à la fin des années 70 que la question du stockage des semences décortiquées d'arachide en atmosphère contrôlée a été abordée. En effet, à cette époque, la sécheresse qui sévissait faisait fortement fluctuer la production arachidière des pays sahéliens producteurs, et seule la constitution de stocks de sécurité de semences semblait pouvoir préserver cette culture d'une disparition catastrophique.

Le stockage réfrigéré, donc l'efficacité avait été prouvée dans les conditions du Sénégal [Lam et Delbosc, 1978], semblait tout indiqué dans ce cadre ; mais avec la forte augmentation du prix de l'énergie observée depuis quelques années, son coût apparaissait prohibitif, interdisant toute généralisation de l'application de ce système de stocks de sécurité. Dans ces conditions, le stockage en atmosphères contrôlées, *a priori* moins coûteux pour des durées de conservation supérieures à six mois, pouvait sembler constituer une alternative intéressante.

En l'absence d'éléments d'information suffisants sur ce procédé nouveau de conservation des graines décortiquées d'arachide, il apparaissait nécessaire de conduire une expérimentation destinée à tester sa validité dans le cas des semences d'arachide. Cette série d'essais devait permettre de vérifier notamment que ce type de stockage assurait le maintien des qualités semencière, marchande et technologique des graines stockées pendant une ou plusieurs années, mais également d'étudier la fiabilité des matériaux d'emballage disponibles ainsi que la praticabilité des techniques proposées par les sociétés spécialisées.

Quatre séries de tests ont été effectués de 1979 à 1985 sur des semences d'arachide décortiquées et d'autres espèces végétales, dont les deux premières font l'objet du présent article.

I. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. — Première expérimentation (1979-1980).

Ce premier essai de conservation, au Sénégal, de semences d'arachide en atmosphère contrôlée a été réalisé en 1979, en collaboration avec la Société Vacuum Capatainer International (1) (V.C.I.) qui désirait promouvoir un procédé de conditionnement sous vide. La technique proposée consistait à emballer les produits à conserver dans de grandes poches cubiques étanches, les « Capatainers », puis à y appliquer le vide avant soudure finale du col de la poche.

(1) Vacuum Capatainer International S.A., 16, place Vendôme, 75001 Paris (France).

Emballages.

Les Capatainers utilisés dans cet essai, d'un volume unitaire de 500 litres, étaient réalisés par soufflage-extrusion d'un copolymère comprenant principalement du polyéthylène basse densité. L'épaisseur de leur paroi variait de 1 à 2 mm, ce qui ne conférait à ces emballages qu'une médiocre étanchéité aux gaz : les perméabilités à la vapeur d'eau et à l'oxygène s'établissaient respectivement à $0,23 \text{ g/m}^2/24 \text{ h}$ et à $280 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ h}$.

Mise en œuvre.

Dans le procédé industriel tel que celui mis au point par la Société V.C.I., le remplissage, la mise sous vide et la soudure du col des Capatainers étaient automatiques. Dans les conditions de l'essai, il a fallu procéder manuellement car il n'était pas envisageable d'importer une machine de plusieurs dizaines de tonnes pour l'ensachage de quelques quintaux de graines. Les Capatainers ont été remplis au seau par le col cylindrique situé sur leur face supérieure (Fig. 1) ; puis ce col a été fermé par collage, et le vide appliqué pendant environ 6 minutes par le biais d'une valve installée sous le collage dans la partie supérieure du col ; ce dernier a été enfin thermosoudé au chalumeau à air chaud au-dessous du niveau de la valve quand le vide désiré a été atteint (650 mm de mercure, soit 86,7 KPa).

Semences.

Seize Capatainers ont été remplis de 290 kg de semences décortiquées chacun ; celles-ci, appartenant à la variété Spanish 55-437, provenaient de la récolte 1978. Ces semences avaient reçu des pluies tardives durant leur stockage intermédiaire avant décortilage et n'étaient pas de très bonne qualité. Elles ont été décortiquées mécaniquement fin avril 1979, quelques jours avant leur conditionnement, et triées à la main. Elles n'ont pas été désinsectisées.

Stockage.

Douze Capatainers ont été stockés sur palettes à l'air ambiant, sous un abri précaire les protégeant seulement du soleil. Parmi ces derniers figurait un Capatainer dans lequel de l'azote technique avait été réinjecté après application du vide, et ce jusqu'au retour à la pression atmosphérique.

Quatre Capatainers ont été stockés en magasin réfrigéré à 6°C , constituant une référence pour le suivi de la conservation.

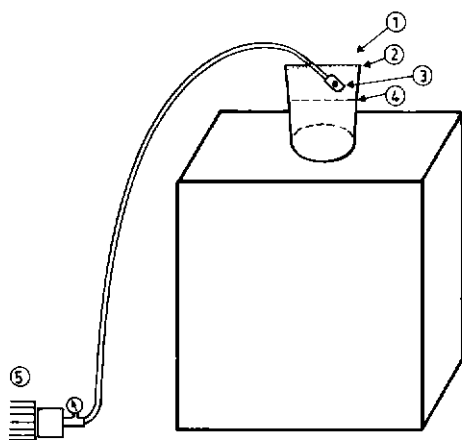


FIG. 1. — Dispositif de mise sous vide d'un Capatainer V.C.I. (V.C.I. Capatainer vacuum device) : (1) Col du Capatainer (Capatainer neck) — (2) Fermeture du col par collage (Neck bonded shut). — (3) Valve d'extraction (Extraction valve). — (4) Zone de soudure finale (Final weld zone). — (5) Pompe à vide (Vacuum pompe).

Le stockage a duré du 5 mai 1979 au 18 avril 1980, date à laquelle deux Capatainers seulement étaient encore en dépression. Au cours de cette période, la température mensuelle moyenne a fluctué sur le site de stockage de $29,7^\circ\text{C}$ (juin 1979) à $22,2^\circ\text{C}$ (janvier 1980), avec une température moyenne de 27°C sur les douze mois concernés (Fig. 2).

Contrôles.

Il était prévu initialement d'ouvrir deux Capatainers tous les deux mois, mais il a été impossible de respecter ce protocole du fait du retour à la pression atmosphérique de la plupart des emballages du dispositif. Les contrôles de qualité n'ont donc été effectués qu'au bout de 6 et 12 mois de stockage. Comme à la mise en route de l'essai, ils ont comporté les analyses ou observations suivantes :

- qualités organoleptiques à l'ouverture de l'emballage ;
- présence d'insectes vivants et mesure du taux d'attaque par la bruche de l'arachide (*Caryedon serratus* Ol.) ;
- caractéristiques physiques : taux de casse, taux de dépelliculage ;
- caractéristiques chimiques : teneur en eau — mesurée selon la norme AFNOR n° NF V 03-902-, et acidité oléique — mesurée selon la norme AFNOR N° NF V 03-906 ;
- pouvoir germinatif, apprécié par des tests de levée en caissettes de sable stérile conduits à température ambiante pendant 21 jours et, en cas de mauvaise germinabilité, par des tests au tétrazolium.

Toutes les analyses physiques et chimiques ont porté sur des prises d'essai de 200 grammes et ont comporté 2 répétitions ; les tests de germination ont été conduits sur deux répétitions de 50 graines.

2. — Seconde expérimentation (1981-1982).

A la suite des résultats encourageants obtenus à l'issue des essais préliminaires 1979-1980, un nouvel essai de conservation de semences d'arachide et d'espèces diverses en atmosphères contrôlées a été conduit en 1981-1982. Cette seconde campagne d'expérimentation, qui bénéficiait d'un financement de la Caisse Centrale de Coopération Economique, devait permettre, outre l'approfondissement des connaissances sur les performances du procédé, de tester deux techniques différentes d'ensachage en atmosphère contrôlée.

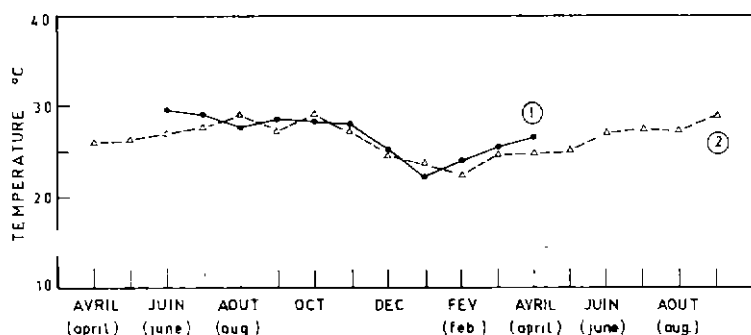


FIG. 2. — Relevé des températures moyennes mensuelles de stockage (Record of mean monthly storage temperatures) :

- (1) Essai 1979-1980 (trial).
(2) Essai 1981-1982 (trial).

a) Technique G.E.C.

Le premier système, proposé par la Société Générale d'Emballage et de Conditionnement (1), devait être testé dans des conditions proches de la réalité industrielle, grâce à l'importation temporaire d'une machine de conditionnement simplifiée.

Process G.E.C. (Fig. 3) :

Dans ce système, le sac devant recevoir le produit à conditionner était placé dans un caisson, qui était refermé hermétiquement après remplissage, et mis sous vide avec son contenu jusqu'à une valeur de 300 à 700 mm de mercure (de 40 à 93 KPa). De l'azote pouvait alors être réinjecté, avant soudure de la gueule du sac par impulsions électriques.

La présence de plaques de formage dans le caisson permettait de donner aux sacs GEC une forme parallélépipédique lors de leur remplissage, forme qu'ils conservaient ensuite après avoir été rendus rigides par leur dépression interne.

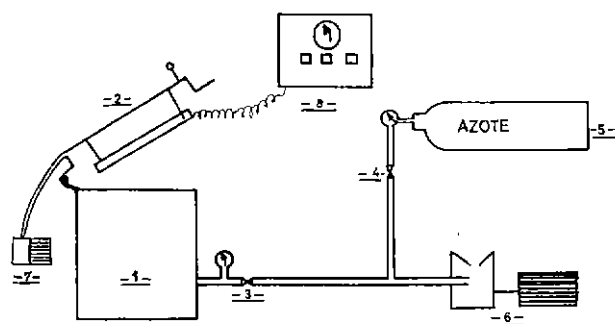


FIG. 3. — Plan d'ensemble de l'installation G.E.C. (General view of G.E.C. installation) : (1) Cuve de mise sous vide G.E.C. (G.E.C. vacuum tank). — (2) Couvercle de la cuve G.E.C. portant les barrettes de soudure (G.E.C. tank cover with welding strips). — (3) Vanne de mise sous vide (Vacuum valve). — (4) Vanne d'injection d'azote (Nitrogen injection valve). — (5) Bouteille d'azote (Nitrogen cylinder). — (6) Pompe à vide (Vacuum pump). — (7) Compresseur d'air (Air compressor). — (8) Armoire de commande des barrettes de soudure (Welding strip control unit).

Saches :

Les sacs G.E.C. employés avaient un volume unitaire de 60 litres, ce qui permettait de conditionner de 15 à 22 kg de semences selon les espèces considérées. Ils étaient constitués en fait de deux saches superposées : un sac intérieur, composé d'un film de polyéthylène de 300 microns d'épaisseur, destiné à assurer la résistance mécanique de l'ensemble, et un sac extérieur réalisé en complexe polyaluminium-polyéthylène de 200 microns d'épaisseur, utilisé pour sa très forte étanchéité aux gaz : les perméabilités à la vapeur d'eau et à l'oxygène de ce matériau s'établissaient respectivement à moins de 0,2 g/m²/24 h (à 38 °C) et moins de 1 cm³/m²/24 h.

b) Technique Bernhardt.

Technique :

Dans le second procédé, proposé par la Société Bernhardt (2), le vide était obtenu par extraction de l'atmosphère interne au moyen de pipettes d'aspiration glissées, après remplissage, au travers de la gueule du sac maintenue hermétiquement fermée par des barrettes de pressage. La

thermosoudure était ensuite réalisée dès que la pression désirée était atteinte, après retrait des pipettes d'aspiration. Ce système permettait lui aussi la réinjection d'azote ou d'autres gaz ; on utilisait dans ce cas le canal des pipettes d'aspiration.

Mise en œuvre :

Le système Bernhardt n'impliquant pas de matériel ni de techniques sophistiqués, les tests ont été réalisés de façon purement manuelle. Cette expérimentation n'a donc porté que sur les emballages Bernhardt et, d'une façon plus générale, sur le procédé de conservation en atmosphère contrôlée ; le matériel de conditionnement proposé par cette société n'a pu être testé.

Pour cet essai, un vide de 700 mm de mercure (93 KPa) a été appliqué par aspiration avec, dans certains cas, réinjection d'azote. L'utilisation d'une installation extrêmement puissante, avec ballon de réserve de vide de plusieurs m³, garantissait l'obtention rapide de dépressions aux niveaux désirés, malgré les fuites d'air se produisant le long de la pipette d'aspiration.

Certains cartons ont reçu une réinjection d'azote technique après application du vide, avant soudure.

Emballages :

Le conditionnement Bernhardt (Fig. 4) comprenait deux emballages superposés : une sache intérieure réalisée en complexe papier Kraft 50 g/m² — aluminium laminé 12 microns — polyéthylène 80 g/m², aux caractéristiques de perméabilité aux gaz très intéressantes (perméabilité à l'oxygène inférieure à 2 cm³/m²/24 h), et une caisse de carton ondulé suremballant la sache intérieure. Cette dernière, livrée à plat, devait être conformée en parallélépipède avant d'être remplie du produit à conditionner. Deux

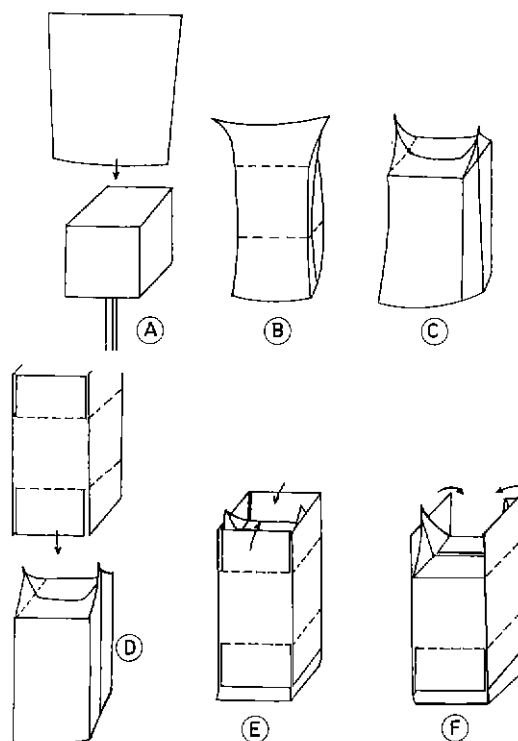


FIG. 4. — Fabrication des cartons Bernhardt (Manufacture of Bernhardt cartons). (A) Présentation de la sache sur la forme (Bag is placed over forming black). (B) Mise en forme de la sache (Bag is shaped). (C) Placage du fond de la sache, apparition de 2 cornes (Bottom of bag is flattened, 2 points appear). (D) Présentation du carton au-dessus de l'emballage (Carton is placed over inner packing). (E) Mise en place du carton (End flaps are folded down). (F) Fermeture du fond (Bottom is fastened down).

(1) Générale d'Emballage et de Conditionnement, 5, rue Denis-Papin, 77390 Verneuil-l'Étang (France)

(2) Société Bernhardt, rue Haignère, 62101 Boulogne-sur-Mer (France).

autres types de saches ont été fournis par le constructeur pour être testés à l'occasion de cet essai : l'un était réalisé à partir d'un complexe Kraft-aluminium-polyéthylène comprenant un papier plus épais ; dans le second modèle, le papier Kraft avait été remplacé par une feuille polyester. La capacité unitaire des emballages Bernhardt était de 10 litres.

c) Déroutement des essais.

Arachides mises en œuvre :

Trois variétés d'arachide ont été employées pour cette seconde expérimentation :

- 756 A, grosse Virginia de bouche, issue de la récolte 1980 de la région de Casamance ;
- 73-33, variété Virginia à potentialité de confiserie, issue de multiplications semencières 1980 de la Recherche agronomique du Centre-Sénégal ;
- 55-437, variété Spanish issue de multiplications semencières paysannes 1980 du Nord-Sénégal.

Les deux premières variétés avaient été désinsectisées après tarage lors des traitements post-récolte ; la troisième, mal protégée par poudrage superficiel d'insecticides durant son stockage intermédiaire, avait subi des attaques importantes de bruches au moment du démarrage de l'essai.

Ces semences ont été décortiquées manuellement fin février-début mars 1981. Les graines décortiquées devant être utilisées pour le test du système Bernhardt ont été stockées pendant un mois et demi dans des fûts métalliques hermétiquement clos.

Les ensachages ont eu lieu en avril 1981 pour le procédé G.E.C. et en mai suivant pour l'essai Bernhardt. Les quantités de semences conditionnées selon ces deux systèmes sont indiquées dans le tableau I.

Il est à noter que d'autres types de semences (céréales et niébé) ont été conditionnés à l'aide du procédé G.E.C., ce qui a permis de porter le nombre d'emballages suivis pendant stockage à un niveau suffisant pour que cette partie de l'étude soit significative.

Témoins de référence :

— 50 kg de graines de chaque variété utilisée ont été stockés en chambre froide à 2 °C en sacs de polypropylène tissé ; l'hygrométrie à l'intérieur du magasin était réglée entre 60 et 70 p. 100 de façon à être en équilibre avec la teneur en eau des graines (3,5 p. 100) ;

— 2 sacs G.E.C. au moins par variété ont été stockés en magasin réfrigéré à 6 °C ; aucun carton Bernhardt n'a été conservé à basse température.

Stockage (Tabl. I) :

Les sacs G.E.C. ont d'abord été stockés en piles à l'extérieur, avec une exposition quotidienne au soleil, de la date de leur confection (fin du conditionnement : 28 mars 1981) au 15 juin suivant ; puis ils ont été placés avec les cartons Bernhardt, sous un abri sommaire les protégeant de la pluie et de l'insolation directe, jusqu'à la fin de l'essai (15 septembre 1982).

Durant cette période, la température moyenne mensuelle a varié de 29° (août 1981) à 22,5 °C (février 1982), avec une température moyenne de 26,4 °C sur les 18 mois concernés (Fig. 2).

Contrôles :

L'essai a été suivi régulièrement durant le stockage, à raison d'une intervention tous les 6 mois. A l'occasion de ces contrôles, les emballages attaqués par les rongeurs et ceux ayant repris l'air pour d'autres raisons étaient systématiquement dénombrés, avant d'être évacués avec les sacs prélevés pour échantillonnage vers le laboratoire. Ce dernier étant situé à 350 km du site de stockage, auquel il était relié par une mauvaise piste, il arrivait que certains sacs prélevés reprennent l'air au cours du transport, si bien qu'un second dénombrement des sacs ayant perdu leur étanchéité était effectué à l'arrivée au laboratoire.

A l'ouverture des emballages prélevés aux fins d'analyse, la présence d'insectes vivants était recherchée, l'aspect et l'odeur des graines étaient notés. Puis un échantillon représentatif de 2 kg était prélevé sur toute une section du sac, à

TABLEAU I. — Modes de conditionnement et de stockage des semences pratiqués lors des essais des procédés G.E.C. et Bernhardt
(Seed packing and storage methods used in GEC and Bernhardt process trials)

Procédé (Process)	Variété (Variety)	Mode de conditionnement et (mode de stockage) (Packing method and (storage method))		
		Sac polypropylène tressé (Woven polypropylene bag)	Sac ou carton (Bag or carton)	
			sous vide (under vacuum)	sous azote (in nitrogen)
G.E.C.	756 A	1 sac (bag) (2 °C)	17 sacs (bags) (t° ambiante) (ambient temp.)	(3 sacs (bags) (t° ambiante) (ambient temp.)
	73-33	1 sac (bag) (2 °C)	2 sacs (bags) (8 °C) 18 sacs (bags) (t° ambiante) (ambient temp.)	—
	55-437	1 sac (bag) (2 °C)	5 sacs (bags) (8 °C) 17 sacs (bags) (t° ambiante) (ambient temp.)	2 sacs (bags) (t° ambiante) (ambient temp.)
	Espèces diverses (Miscellaneous species)	4 sacs (bags) (2 °C)	2 sacs (bags) (8 °C) 50 sacs (bags) (t° ambiante) (ambient temp.)	8 sacs (bags) (8 °C)
Bernhardt	756 A	—	29 cartons (t° ambiante) (ambient temp.)	9 cartons (t° ambiante) (ambient temp.)
	73-33	—	—	—
	55-437	—	29 cartons (t° ambiante) (ambient temp.)	4 cartons (t° ambiante) (ambient temp.)

partir duquel toutes les analyses déjà répertoriées pour l'essai précédent V.C.I. ont été réalisées (à l'exception de la teneur en eau et de l'acidité oléique).

Les emballages ayant repris l'air pendant l'intervalle de temps séparant deux prélèvements d'échantillons ont été systématiquement ouverts et leur contenu analysé selon le protocole prévu ; mais les résultats obtenus à partir de ces sacs n'ont pas été confondus avec ceux obtenus à partir des emballages restés étanches.

II. — RÉSULTATS — DISCUSSIONS

1. — Première expérimentation (1979-1980).

a) Tenue des emballages en cours de stockage.

La plupart des Capatainers mis en œuvre pour cet essai sont rapidement revenus à la pression atmosphérique (Tabl. II).

Les causes de ces reprises d'air n'ont pu être déterminées avec exactitude, sauf dans un cas où le fond de la poche avait été découpé par des rongeurs. Les observateurs ont cependant estimé qu'un certain nombre de reprises d'air pourraient être dues à la mauvaise qualité des soudures réalisées lors du conditionnement de l'essai, alors que dans d'autres cas les pliures de la paroi du Capatainer apparues au niveau de la face supérieure lors de sa mise sous vide

auraient entraîné son affaiblissement et une augmentation de sa perméabilité aux gaz.

En tout état de cause, on notera que la valeur non négligeable de la perméabilité aux gaz du matériau utilisé n'autorisait pas des durées de stockage (sans retour à la pression atmosphérique) supérieures à 16 mois.

Par ailleurs, l'extrême propension de ces emballages à prendre l'air, ainsi que la réduction importante du nombre de Capatainers disponibles pour l'étude qui s'en est suivie, ont entraîné l'annulation des tests de manutention et de transport initialement prévus.

b) Contrôle du parasitisme.

Présence d'insectes :

Des cocons de bruches (*Caryedon serratus* Ol.) ont été observés à la surface des lots de graines lors de l'ouverture des Capatainers stockés à température ambiante et revenus très rapidement à pression atmosphérique après leur conditionnement. Mais aucun insecte vivant (larve, nymphe, imago) n'a pu être détecté.

Evolution du niveau des dégâts d'insectes (Tabl. IV) :

Le taux de bruchage a été complètement stabilisé par la conservation sous vide ou sous azote, ce qui indiquerait que ce mode de conditionnement induit l'arrêt immédiat de l'activité des insectes parasites des stocks.

TABLEAU II. — Evolution du nombre des reprises d'air au cours du stockage des Capatainers V.C.I.
(Evolution of the number of air leaks during VCI Capatainer storage)

	Durée de stockage (<i>Length of storage</i>) (mois - months)			
	0,5	3,0	6,7	11,5
Nbre de Capatainers stockés (<i>Numb. of Capatainers stored</i>)	14	14	14	11
Nbre de reprises d'air (<i>Numb. of air leaks</i>)	7	9	11	9
Taux cumulé des reprises d'air (<i>Cumulated total of air leaks</i>) - p. 100	50,0	64,3	78,6	78,6

TABLEAU III. — Evolution de quelques caractéristiques chimiques de l'arachide au cours du stockage sous vide.
(Evolution of certain groundnut chemical characteristics during vacuum storage.)

Paramètre (<i>Parameter</i>)	Durée du stockage sous vide — en mois (<i>Length of storage under vacuum-months</i>)							
	à (at) 6 °C				à température ambiante (<i>at ambient temp.</i>)			
	0	3,0	6,7	11,5	0	3,0	6,7	11,5
Teneur en eau (<i>Moisture content</i>)	3,6	3,4	—	3,5	3,6	3,7	3,5	3,4
Acidité oléique (<i>Oleic acidity</i>)	0,45	0,42	—	0,46	0,45	0,72	0,67	0,83

TABLEAU IV. — Evolution des caractéristiques technologiques de l'arachide au cours du stockage sous vide V.C.I.
(Evolution of groundnut technological characteristics during V.C.I. vacuum storage.)

Paramètre (<i>Parameter</i>)	Durée du stockage sous vide — en mois (<i>Length of storage under vacuum-months</i>)								
	à (at) 6 °C				à température ambiante (<i>at ambient temp.</i>)				
	0	3,0	6,7	11,5	0	3,0	6,7	11,5	11,5 (N ₂)
Taux de dépelliculage (<i>Skinning rate</i>)	4,9	6,8	—	6,3	4,9	9,1	9,2	7,5	9,5
Taux de casse (<i>Splitting rate</i>)	1,0	0,8	—	0,7	1,0	0,4	0,4	0,5	0,5
Taux de bruchage (<i>Weevil damage rate</i>)	0,7	0,3	—	0,4	0,7	0,5	0,7	0,8	0,5

c) Evolution des caractéristiques chimiques (Tabl. III).**Teneur en eau :**

Elle est restée constante tout au long de l'essai et égale à 3,5 p. 100 sur matière humide.

Acidité oléique :

Elle a progressé faiblement à température ambiante, alors qu'elle restait constante dans les graines stockées à 6 °C. Cette légère augmentation d'acidité n'est pas proportionnelle à la durée du stockage sous vide.

d) Evolution des caractéristiques technologiques (Tabl. IV).

Odeur : forte à l'ouverture, mais revenant à la normale quelques dizaines de minutes après ouverture.

Couleur : les téguments des graines de la couche au contact des parois du Capatainer ont beaucoup foncé au cours du stockage ; mais les graines sous-jacentes avaient une couleur normale.

Dépêliculage : le taux de dépêliculage a paru augmenter dès le début du stockage, pour se stabiliser ensuite aux environs de 9 p. 100. Le phénomène n'a pu être expliqué.

Quoi qu'il en soit, il faut noter que la variété 55-437 utilisée dans cet essai est certainement la plus facilement dépêliculable de toutes celles vulgarisées au Sénégal.

Casse : le taux de casse n'a pas semblé être affecté par le stockage.

On n'observe aucune différence au niveau de l'évolution de ces paramètres entre le stockage sous vide et le stockage sous vide compensé à l'azote. Par contre, l'abaissement de la température de stockage semble limiter l'augmentation du taux de dépêliculage.

e) Evolution de la germinabilité (Tabl. V).

Les semences utilisées étaient de médiocre qualité ; à titre de comparaison, les potentiels germinatifs mesurés 6 mois après la récolte sur des graines de cette variété issues d'une campagne normale dépassent toujours 95 p. 100.

Les graines examinées à l'occasion des tests au tétrazolum montraient pour la plupart de nombreuses lésions au niveau de la radicule et de l'hypocotyle, et des taches nécrotiques à la surface des cotylédons. Lors des tests de levée en caissettes, des plantules non émergées au bout de 21 jours ont été récupérées ; elles présentaient de nombreuses malformations : absence de l'axe hypocotylé, nécrose de la radicule, etc.

Il faut noter d'autre part que des attaques de rongeurs sur les plantules lors des tests de levée en caissettes ont fortement minoré les résultats obtenus.

Il est apparu néanmoins très nettement que le stockage sous vide a permis une bonne conservation de la germinabilité des semences d'arachide, que le stockage ait eu lieu à température ambiante ou en magasin réfrigéré.

Par contre, les graines conservées sous azote semblent avoir perdu une partie de leur pouvoir germinatif durant le stockage ; mais il est difficile de parler d'effet dépressif de l'azote à partir des résultats obtenus sur un seul emballage.

2. — Deuxième expérimentation.**a) Tenue des emballages.**

Des reprises d'air ont été observées tout au long de cet essai, les deux premières étant survenues quelques jours après le conditionnement des semences (Tabl. VI).

L'analyse chronologique de ces reprises selon une loi du type de celles que l'on emploie pour le calcul des intérêts

TABLEAU V. — Evolution de la germinabilité des graines d'arachide au cours du stockage sous vide V.C.I.
(*Evolution of groundnut seed germinability during V.C.I. vacuum storage.*)

Paramètre (Parameter)	Durée du stockage sous vide — en mois (<i>Length of storage under vacuum-months</i>)									
	à (at) 6 °C					à température ambiante (<i>at ambient temp.</i>)				
P. 100	0	3,0	6,7	11,5	0	3,0	6,7	11,5	11,5 (N2)	
Levée en caissettes (<i>Emergence in boxes</i>)	65	67	—	76	65	64	57	75	61	
Faculté germinative (<i>Germinating capacity</i>)	85	—	—	83	85	81	73	80	72	

TABLEAU VI. — Evolution du taux cumulé des reprises d'air au cours du stockage en p. 100.
(*Evolution of the cumulated rate of air leaks during storage in p. 100.*)

Procédé (Process)	Variété (Variety)	Durée de stockage (<i>Length of storage</i>) (mois-months)			
		3	6	12	18
G.E.C.	756 A	13,6	40,9	47,5	58,0
	73-33	4,8	23,8	39,0	75,6
	55-437	14,3	28,6	54,6	72,7
	Autres espèces (<i>Other species</i>)	31,0	43,1	69,3	73,1
	Total	20,5	36,9	58,3	69,7
Bernhardt	756 A	44,7	76,3	83,1	100,0
	55-437	63,6	66,7	77,8	95,9
	Total	53,5	71,8	80,6	96,1
Total général		32,6	49,7	66,5	79,4

composés a montré — avec une bonne corrélation : $r = 0,98$ — que ces retours à la pression atmosphérique se produisaient avec un taux constant, de 7 p. 100 (1) par mois écoulé pour les emballages G.E.C. Il n'a pas été possible de calculer le taux de reprise mensuel dans le cas des cartons Bernhardt, leur suremballage rendant leur suivi beaucoup moins aisé.

Si certaines causes du phénomène, évidentes, ont pu facilement être identifiées, d'autres ne peuvent être présentées que sous forme d'hypothèses fondées sur l'analyse des données et, surtout, sur les observations faites lors du suivi de l'essai.

Malfaçons :

Sous cette dénomination sont regroupés les vices de fabrication des matériaux constituant les emballages, et les erreurs commises au moment de leur mise en œuvre lors du conditionnement (soudure des saches, notamment).

C'est ainsi que l'on a observé de fortes variations du taux de réussite du conditionnement selon les journées considérées : la fiabilité des emballages G.E.C. a considérablement progressé du 25 mars 81 (premier jour de conditionnement) au 28 mars, le taux des reprises d'air survenues au 15 juin suivant passant de 47 p. 100 (25 mars) à 30 (26 mars), 15 (27 mars) et 0 p. 100 (28 mars) ; pour les cartons Bernhardt, les fluctuations ont été encore plus fortes, faisant passer le taux de reprises de 40 à 100 p. 100 (cas de la variété 28-206, qui a dû être éliminée du dispositif).

Mais rappelons que la mise en œuvre de l'essai Bernhardt ayant été très artisanale et entièrement manuelle, ses résultats ne peuvent être comparés avec ceux de l'essai G.E.C.

Attaques de rongeurs :

Contrairement à ce qui avait été annoncé par les promoteurs de ces nouveaux systèmes de conditionnement, les emballages mis sous vide ont été assez fréquemment attaqués par les rats : 25 p. 100 des emballages G.E.C. ayant repris l'air ont été attaqués par des rats ; le phénomène était moins fréquent avec les cartons Bernhardt : 7 p. 100 environ. Rapporté aux emballages stockés, le rythme mensuel d'attaque des emballages G.E.C. s'est élevé à 1,5 p. 100.

Le problème s'est posé de savoir si les attaques de rats étaient à la base de la rupture d'étanchéité des emballages retrouvés rongés, ou bien si elles ne se produisaient que sur des emballages ayant déjà repris l'air. Bien qu'aucune observation décisive n'ait été faite dans ce domaine pour apporter une réponse à cette interrogation, il est probable que la seconde proposition soit la bonne ; en effet, malgré l'évacuation systématique tous les six mois des emballages ayant repris l'air, il y a toujours eu sur le lieu de stockage des sacs et cartons revenus à pression atmosphérique par suite de micro-fuites ou de déchirure survenues lors des manipulations effectuées à l'occasion du dernier contrôle périodique. Il semble bien que les rongeurs aient été très sensibles aux effluves des denrées stockées dans des emballages présentant des déchirures ou des petites fuites. D'ailleurs, il est remarquable que les attaques de rongeurs aient essentiellement affecté les légumineuses, arachide notamment, alors que des attaques effectuées au hasard auraient concerné des fractions représentatives des diverses espèces stockées.

Résistance des emballages :

— Effet des manutentions : il a été constaté durant l'essai que la fréquence d'apparition des reprises d'air était maximale au cours des quinze jours qui suivaient les visites de contrôle, à l'occasion desquelles les emballages subissaient de nombreuses manipulations pour faciliter leur observation et le prélèvement des sacs ou cartons devant être évacués ; 15 à 20 p. 100 des sacs G.E.C. ayant été utilisés deux fois pour confectionner une pile reprenaient l'air dans les jours suivants. Il était plus difficile de suivre l'évolution des cartons Bernhardt, mais il est probable que leur manipulation a entraîné des ruptures d'étanchéité.

— Effet des transports : à chaque évacuation, 20 p. 100 des sacs G.E.C. transportés du site de stockage vers le laboratoire situé à 350 km reprenaient l'air au cours du transport ou dans les heures suivantes.

Résistance au déchirement :

20 p. 100 des sacs G.E.C. revenus à la pression atmosphérique s'étaient déchirés sur les têtes de pointes dépassant des palettes de stockage. Sur ce plan, le suremballage de la sache Bernhardt par un carton lui confère une bonne protection contre les accrocs.

L'interprétation de cette fragilité des emballages sous vide lors des manipulations, transports et autres situations pendant lesquelles ils peuvent être soumis à des efforts anormaux, est simple : les matériaux des saches subissent d'énormes contraintes d'étirement du fait de l'existence d'un fort différentiel de pression entre leurs deux faces, ce qui amoindrit considérablement la résistance des matériaux. Cette interprétation est corroborée par la meilleure tenue des emballages conditionnés sous des vides moins poussés, ou réalisés à l'aide de matériaux plus résistants :

— le taux des reprises cumulées, qui s'élevait à 68 p. 100 dans le cas des saches G.E.C. conditionnées sous un vide de 700 mm de mercure (93 KPa), passait à 40 et 17 p. 100 quand les vides appliqués ne se montaient qu'à 500 et 300 mm de mercure (respectivement 67 et 40 KPa) — toutes espèces confondues ;

— le taux de reprise sur un an des cartons Bernhardt passait de 87 à 70 et 44 p. 100 quand on employait des saches comprenant comme support d'aluminisation respectivement, un papier léger (50 g/m²), un papier Kraft lourd (80 g/m²) et un film polyester souple mais indéchirable.

b) Contrôle du parasitisme.

Aucun insecte vivant, sous quelque forme macroscopique que ce soit, n'a jamais été retrouvé à l'ouverture d'un emballage resté sous vide ou sous azote, quelle que soit la température de stockage ; il en a été de même pour tous les emballages revenus à la pression atmosphérique après leur conditionnement, à l'exception de ceux ayant subi l'attaque des rongeurs. Ce dernier constat semblerait indiquer que l'application d'un vide poussé pendant quelques jours tue les insectes parasites de l'arachide présents dans le lot conditionné, à tous les stades de développement : œufs, larves, pupes et imagos.

Le taux de graines bruchées, dont l'évolution aurait pu marquer la trace d'une brève activité avant leur mort des insectes parasites présents dans les graines au moment du conditionnement, n'a pas varié au cours du stockage, quelles que soient la nature de l'atmosphère de conservation et la température de stockage (Tabl. VII)

(1) Taux exprimé en nombre de reprises sur nombre de sacs stockés encore sous vide.

TABLEAU VII. — Evolution des caractéristiques technologiques des graines d'arachide au cours du stockage sous atmosphère contrôlée à température ambiante, et à 2 °C — en p. 100.
(*Evolution of groundnut seed technological characteristics during storage in a controlled atmosphere at ambient temperature, and at 2 °C — in p. 100.*)

Procédé (Process)	Caractéristique P. 100 (Characteristic)	Variété (Variety)	Durée de stockage — mois (<i>Length of storage — months</i>)			
			0	12 à (at) t° amb.	12 à (at) 2 °C	18 à (at) t° amb.
G.E.C.	Taux de dépelliculage (<i>Skinning rate</i>)	756 A	1,9	5,8	1,0	1,2
		55-437	3,8	7,3	5,0	0,7
		73-33	2,8	4,0	6,0	—
	Taux de casse (<i>Splitting rate</i>)	756 A	0,9	2,2 —	1,0	0,9 —
		55-437	0,4	1,0 (1,0)	1,0	0,2 (0,7)
		73-33	1,0	1,0 (1,2)	2,3	— (1,1)
Taux d'attaques par les bruches (<i>Rate of weevil attacks</i>)	756 A	1,3	0 —	0	0,9 —	
	55-437	5,4	0 (0)	0	0,1 (2,7)	
	73-33	1,2	0 (1,5)	1,3	— (0)	
Bernhardt	Taux de dépelliculage (<i>Skinning rate</i>)	756 A	1,9	0,9	1,0	—
		55-437	3,8	1,2	5,0	1,3
	Taux de casse (<i>Splitting rate</i>)	756 A	0,9	2,8	1,0	—
		55-437	0,4	1,3	1,0	0,4
	Taux d'attaque par les bruches (<i>Rate of weevil attacks</i>)	756 A	1,3	0	0	—
		55-437	5,4	1,6	0	1,4

c) Evolution des caractéristiques technologiques des graines.

Aspect, couleur et odeur à l'ouverture : sur tous ces critères, l'arachide est restée dans l'état où elle se trouvait lors du conditionnement : l'aspect et la couleur étaient inchangés ; l'odeur était forte à l'ouverture, mais redevenait normale après quelques minutes.

Taux de casse : il est resté constant au cours du temps quelles que soient les conditions de stockage (Tabl. VII). Les taux, initialement faibles, n'ont pas été accrus par l'application de la très forte contrainte atmosphérique. Au contraire, il a été constaté que les graines des sacs ayant repris l'air ou celles des témoins de référence ensachés à 2 °C en sacs polypropylène présentaient des taux de casse légèrement supérieurs à celles des emballages sous vide. Ceci s'explique par le fait que dans ces derniers les graines sont immobilisées par la pression qui s'exerce sur elles, et ne sont donc soumises qu'à des contraintes statiques, lors des manipulations et des transports.

Taux de dépelliculage : les taux mesurés en mars 82 étaient anormalement élevés, et n'ont donc pas été pris en

compte. On constate par ailleurs que les taux de septembre 82 sont inférieurs à ceux de départ : cette variation peut s'interpréter comme résultant de la modification du mode d'échantillonnage entre ces deux dates (suppression de l'emploi d'un diviseur-échantillonneur qui endommageait les graines).

Donc, là encore, la conservation sous vide ou sous azote assure le maintien des caractéristiques de départ.

d) Evolution du pouvoir germinatif (Tabl. VIII).

La faculté germinative des graines est restée à son très haut niveau de départ pendant toute la durée de l'essai, et ceci quelles que soient les espèces ou variétés considérées.

La température de stockage et la nature de l'atmosphère de conservation n'ont eu aucune influence sur les résultats des tests.

Enfin, les graines des emballages ayant repris l'air et éliminés du dispositif à l'occasion des contrôles périodiques ont montré des facultés germinatives tout à fait comparables. Les emballages revenus à pression atmosphérique ayant été éliminés tous les six mois, on peut considérer que

TABLEAU VIII. — Evolution de la faculté germinative des graines décortiquées d'arachide au cours du stockage sous atmosphère contrôlée à température ambiante, et à 2 °C en p. 100.
(*Evolution of shelled groundnut seed germinating capacity during storage in a controlled atmosphere at ambient temperature — and a 2 °C — in p. 100.*)

Procédé (Process)	Variété (Variety)	Durée de stockage — mois : à température ambiante, et à 2 °C (<i>Length of storage — months : at ambient temp., and at 2 °C.</i>)				
		0	6	12	18	12 à (at) 2 °C
G.E.C.	756 A	84	76	88 (—)	92 (—)	92
	55-437	98	95	99 (97)	100 (97)	98
	73-33	80	92	97 (98)	— (97)	95
Bernhardt	756 A	84	80	93	—	92
	55-437	98	92	97	95	98

les graines qu'ils contenaient sont restées en présence d'oxygène plusieurs mois sans que cela n'affecte leur viabilité. Concrètement, cela montre que des semences stockées sous vide et ramenées à pression atmosphérique pourraient être utilisées sans problème pendant quelques mois au minimum.

CONCLUSION

Bien que réalisé dans des conditions défavorables et inadaptées, l'essai préliminaire mené en 1979-1980 a conduit les techniciens du Sénégal à se pencher sur les procédés de conservation en atmosphère contrôlée. Les résultats obtenus, non significatifs, mais prometteurs, semblaient indiquer que le stockage en faible pression d'oxygène pouvait constituer un procédé de conservation des semences décorchées d'arachide aussi performant que le stockage à basse température dont il devenait le principal concurrent.

L'essai de 1981-1982 avait pour objectifs de confirmer l'efficacité du stockage en atmosphère contrôlée utilisé pour la conservation des semences d'arachide et de tester deux techniques de mise en œuvre du procédé. Cette campagne d'expérimentation a été couronnée de succès :

— Le stockage en atmosphère contrôlée garantit le maintien des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des graines décorchées d'arachide pendant au moins 18 mois, à température ambiante, que le conditionnement soit fait sous vide ou sous azote. On n'observe aucun arrière-effet au niveau des semences ainsi stockées. Notamment, leur viabilité se maintient pendant plusieurs mois après déstockage. Par ailleurs, ce procédé assure un contrôle total des insectes parasites des stocks ainsi qu'une protection efficace contre les réinfestations qui pourraient survenir après le conditionnement. Cependant, il ne semble pas garantir totalement les graines stockées contre les attaques de rongeurs ; mais il n'est pas prouvé que ces dernières ne soient pas secondaires par rapport à une perte d'étanchéité préalable de l'emballage.

— Les tests de 1981-1982 ont également été fort instructifs sur les conditions de mise en œuvre du procédé. D'une manière générale, il a été constaté que les complexes métalliques utilisés pour assurer l'étanchéité des emballages pendant une longue période étaient trop fragiles pour qu'on puisse appliquer des vides très poussés (supérieurs ou égaux à 300 mm de mercure, soit 40 KPa). Dans ces conditions, la diminution de la pression partielle d'oxygène est insuffi-

sante pour assurer le contrôle du parasitisme. Dans la pratique, la solution consiste à utiliser le vide compensé à l'azote : après l'application d'un vide poussé abaissant fortement la pression partielle d'oxygène, la réinjection d'azote casse le vide jusqu'à une valeur supportable par le matériau.

Il est apparu souhaitable de maintenir le contenu des emballages en dépression, même légère, ce qui assure l'immobilisation des graines à l'intérieur des saches et leur bonne tenue aux chocs mécaniques.

— Par rapport aux autres systèmes de conservation, le stockage sous vide ou sous azote présente bien des avantages :

- le procédé ne nécessite pas d'investissements lourds, coûteux et inamovibles comme les magasins réfrigérés ;
- le stockage peut être réalisé sur un autre site que celui où les arachides ont été conditionnées, et peut être effectué dans n'importe quelle construction adaptée à cet usage ;
- le procédé consomme peu d'énergie, comparativement au stockage réfrigéré ; son coût, qui se confond pratiquement avec celui du conditionnement, ne croît pas avec le temps, ce qui le rend très concurrentiel, en cas de stockage de longue durée (en première approximation plus de six mois) ;
- la conservation en atmosphère contrôlée présente l'avantage sur tous les autres systèmes de garantir dès le début du stockage le contrôle du parasitisme, ce qui rend inutile une désinfection préliminaire. Ce n'est pas le cas de la conservation en atmosphère confinée, où l'on doit admettre une certaine perte due à l'activité des parasites en début de stockage, avant l'installation des conditions anoxiques.

Pour toutes ces raisons, le procédé de conservation en atmosphère contrôlée apparaissait en 1982 convenir particulièrement bien au cas des stocks de sécurité de semences d'arachide que devaient constituer les pays sahéliens pour se garantir contre les effets d'éventuelles catastrophes climatiques. Toutefois, la proposition de ce système aux autorités compétentes de ces pays ne pouvait être faite avant que soient vérifiées en conditions réelles d'exploitation la valeur semencière au champ des graines ainsi stockées, et la fiabilité des techniques correspondantes de conditionnement. Cela a constitué l'objectif principal des essais de pré vulgarisation menés en 1984 et 1985, qui feront l'objet de la deuxième partie de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BASS L. N., CLARK D. C., JAMES E. (1963). — Vacuum and inert gas storage of safflower and sesame seeds. *Crop Sci.*, 3, N° 3, p. 237-240.
- [2] GILLIER P. et BOCKELEE-MORVAN A. (1979). — La protection des stocks d'arachide contre les insectes. *Oléagineux*, 34, N° 3, p. 131-137.
- [3] GOODSSELL F., HUEY G., ROYCE R. (1955). — Effect of moisture and temperature during storage on cold test reaction of *Zea mays* seed stored in air, carbon dioxide or nitrogen. *Agronomy J.*, 47, p. 61-64.
- [4] HAREIN P.-K., PRESS A. F. (1968). — Mortality of stored peanut insect exposed to mixtures of atmospheric gases at various temperatures. *J. Stored Prod. Res.*, 4, p. 77-82.
- [5] HYDE M. B., BURRELL N. J., WICKENDEN G., BROWN J. (1961). — Airtightness and insect control. Tests in a glass fiber bun. *Pest Infestation Research for 1960*, 20 p.
- [6] LAM M. et DELBOSC G. (1978). — Conservation des semences d'arachide en magasins réfrigérés. « Conseils de l'IRHO N° 181 » (trilingue fr.-angl.-esp.). *Oléagineux*, 33, N° 3, p. 123-128.
- [7] MARZKE F. O., CECIL S. R., PRESS A. F., and HAREIN P. K. (1976). — Effect of controlled storage atmospheres on the quality, processing and germination of peanuts. USDA, U.S.A., ARS-S-114, June 1976, 12 p.
- [8] MASSON C. G. (1963). — Le comportement de certaines graines oléagineuses en atmosphère de gaz carbonique CETIOM, Paris, 184 p.
- [9] MULTON J. L. coordonnateur (1982). — Conservation et stockage des graines et produits dérivés. APRIA-Lavoisier Ed., Paris, 1982, 2 tomes, 1 155 p.
- [10] NORDEN A. J. (1981). — Effect of preparation and storage environment on lifespan of shelled peanut seed. *Crop Sci.*, 21, N° 2, p. 263-266.
- [11] OXLEY T. A., and WICKENDEN G. (1963). — The effect of restricted air supply on some insects with infested grain. *Ann. Appl. Biol.*, 51, N° 2, p. 313-324.
- [12] PEARSON J. L., SLAY W. O. and HOLADAY C. E. (1977). — Effects of packaging material, atmosphere, moisture, temperature and time on peanut food quality and germination. *Proc. Am. Peanut Res. Ed. Assoc.*, p. 63.
- [13] SHEJBAL J. (1980). — *Controlled atmosphere storage of grains*. Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam, Netherl., 577 p.

- [14] SIMPSON D. M. (1953). — Cotton seed storage in various gases under controlled temperature and moisture. University of Tennessee, *Bull.*, N° 228, Feb. 1953.
- [15] SLAY W. O., PEARSON J. L., HOLADAY C. E. (1978). — Effect of low oxygen atmosphere in maintaining grade and germination quality of shelled peanuts. *Proc. Am. Peanut Res. Ed. Assoc.*, p. 79.
- [16] SLAY W. O., HOLADAY C. E., PEARSON J. L. and POMPLIN J. A. (1980). — Low oxygen atmospheres as a practical means of preserving the quality of shelled peanut. USDA, U.S.A., AATS-16, September 1980, 9 p.
- [17] TROUDE M. et GUILLAUMAUD M. (1979). — Possibilités de conditionnement et stockage sous vide de produits agricoles en grains ou pulvérulents au Sénégal. Ministère de la Coopération, GERDAT, Fr., 72 p.
- [18] WILSON D. M., JAY E., and HILL R. A. (1985). — Microflora changes in peanuts (groundnuts) stored under modified atmospheres. *J. Stored Prod. Res.*, 21, N° 1, p. 47-52.
- [19] ZINK E., CORAL F. J. et TELLA R. de (1967). — Etude sur la conservation des graines d'arachide. *Oléagineux*, 22, N° 11, p. 679-681.

SUMMARY

Storage of shelled groundnut seed in controlled atmospheres. I. — Preliminary trials 1979-1982.

A. ROUZIERE, *Oléagineux*, 1986, 41, N° 7, p. 329-344.

The shelled groundnut conservation process was studied in Senegal from 1979 to 1982 in the course of successive experiments. In the first experiment (1979 to 1980), seed of the Spanish 55-437 variety was packed in large thick polyethylene bags to which a vacuum of 650 mm of mercury (87 kPa) was applied. After storage of around 12 months at ambient temperature, 80 p. 100 of the vacuum packs had returned to normal atmospheric pressure, due to a defective sealing weld. The physicochemical properties and the germinating capacity of the seeds which had remained under vacuum for the entire duration of storage remained unchanged, whether they had been stored at ambient temperature or at 6 °C; however, the germinating capacity of seeds stored in nitrogen at ambient temperature had significantly decreased. A comparison was made of two bagging techniques in different controlled atmospheres (vacuum and nitrogen compensated vacuum) in the second series of tests (1981-1982). It seemed unrealistic to vacuum pack these packages at more than 300 mm of mercury (40 kPa) as the leakproof materials used were not resistant to the stretching stress occurring with higher vacuums. The nitrogen compensated vacuum solution is therefore to be preferred over a high vacuum. From a conservation point of view, the two techniques used under a simple high vacuum or under a nitrogen compensated vacuum made it possible to maintain perfectly the technological and germinating qualities of shelled seeds, stored at ambient temperature, for 18 months. No difference in performance was noted with respect to these criteria for the 3 varieties tested (Virginia 756 A and 73-33 and Spanish 55-437). The advantages of this conservation process, which has a promising future, are discussed.

RESUMEN

Almacenamiento de las semillas de maní descascarado bajo atmósferas controladas. I. — Ensayos preliminares 1979-1982.

A. ROUZIERE, *Oléagineux*, 1986, 41, N° 7, p. 329-344.

De 1979 a 1982, se estudió en Senegal, en dos experimentaciones seguidas, el procedimiento de conservación de semillas descascaradas de maní. En la primera experimentación (1979-1980), se envasó en grandes bolsas de polietileno espeso semillas de la variedad Spanish 55-437, someténdolas a un vacío de 650 mm de mercurio (87 KPa). Después de almacenarse durante casi 12 meses a la temperatura ambiente, un 80 p. 100 de envases acondicionados al vacío habían vuelto a la presión atmosférica, debido a unos defectos en las soldaduras de los cierres. Los caracteres fisicoquímicos y el poder germinativo de las semillas conservadas al vacío durante todo el tiempo que duró el almacenamiento se conservaban sin modificación, tanto en el caso de un almacenamiento a la temperatura ambiente como a 6 °C; en cambio, el poder germinativo de las semillas conservadas en nitrógeno a la temperatura ambiente había disminuido notablemente. En la segunda serie de ensayos (1981-1982) se comparó dos técnicas de embolsamiento bajo diversas atmósferas controladas (vacío y vacío compensado con nitrógeno). Resultó poco realista el querer acondicionar estos tipos de envases bajo vacíos mayores de 300 mm de mercurio (40 KPa), por ser éste el valor máximo más allá del cual los materiales estancos empleados no resisten a las tensiones de estiramiento. La solución del vacío compensado con nitrógeno debe preferirse por lo tanto a la del vacío forzado a fondo. Desde el punto de vista de la conservación, las dos técnicas utilizadas con vacío forzado a fondo sencillo o con vacío compensado con nitrógeno permitieron que las cualidades tecnológicas y reproductoras de las semillas descascaradas almacenadas a la temperatura ambiente se mantuvieran perfectamente durante 18 meses. No se notó ninguna diferencia de comportamiento desde el punto de vista de estos criterios entre las 3 variedades probadas (756 A y 73-33, Virginia y 55-437, Spanish). Se discuten las ventajas de este procedimiento de conservación que ofrece perspectivas muy favorables.

Storage of shelled groundnut seed in controlled atmospheres

I. — Preliminary trials 1979-1982

A. ROUZIERE (1)

INTRODUCTION

Since the first developments in agriculture, which go back several thousand years, man has had to consider the question of grain, seed and seednut storage.

From the very beginning, two more or less acute problems arose, depending on local and specific conditions [Multon, 1982]: the drying of grain and its protection from bad weather (in temperate zones) and the protection of harvests from insects, parasites and predators (Mediterranean and tropical zones).

(1) Research Agronomist at the IRHO/CIRAD, on detachment to the Senegal Institute of Agricultural Research, Kaolack (Senegal).

On the small farmer scale, the solution generally adopted was to store the dry, clean harvest stocks in lofts, silos or large earthenware jars, and make constant checks throughout the entire storage period.

In the case of groundnut, a different storage problem arose as early as the turn of this century, resulting from the commercial development of this crop: as the harvest was sold quickly, it was the mills or their representatives who had to take charge of the proper storage of groundnut stocks, before exporting them to Europe or crushing them on site.

Two specialists [Gillier and Bockelée-Morvan, 1979] pointed out that the groundnut shell ensures good protection against most insects, and hence consider the storage of groundnut in the pods

as being relatively easy in dry seasons in the principal producing countries of Africa, on condition that simple measures are taken to control insect and parasite development in the stocks. In practice, it is bulk storage in the open air which has been most widely adopted by Sahel industrialists.

Unfortunately, bulk storage only offers limited conservation possibilities with respect to both time and quality ; whilst a drop in quality is acceptable for oil groundnuts, considering the low exploitation costs for dry open-air storage, it is not acceptable for more demanding production such as that of seed or edible groundnut. In effect, a continuous degradation of technological and seed quality can be observed on bulk stored seed or edible groundnut, up to levels preventing their use : reduction of the moisture content of seeds down to less than 3 p. 100, insect and parasite attacks on the kernel, increased seed fragility inducing considerable increases in splitting and skinning during later operations, particularly shelling.

Hence, the early shelling of edible groundnut seed was quickly considered by the profession to be a system enabling considerable improvement of end product yield and quality, though its adoption immediately posed the problem of protecting shelled seed stocks. In effect, these stocks are much more sensitive to environmental factors which can have a negative effect on quality : temperature, atmospheric pressure, relative humidity, development of microorganisms and parasitic insects, the latter including a much larger number of species than those affecting unshelled groundnuts.

Studies of processes adapted to the conservation of shelled groundnut have multiplied over the last 30 years. In 1967, Zink *et al.* examined the possibility of storing shelled seed at normal temperature and under normal atmospheric conditions for a period of 12 months without a significant drop in germination capacity, but raised the question of parasite control. Very quickly, specialists advocated cold storage for the long-term conservation of shelled groundnut seed, with seed moisture content maintained at a relatively low level, but more than 4 p. 100. Norden *et al.* [Norden, 1981] observed the maintenance of germinating qualities of groundnut seed stored at less than 6 p. 100 humidity for 4 years at 20-25 °C, with pesticides to control insects. All studies carried out on the cold storage of shelled seed confirmed the validity of this system, except for that by Marzke [1976], where mechanically shelled seed lost all viability after a few months' storage at 4.5 °C.

At that time, certain researchers were already studying the possibility of storing shelled groundnut seed under modified atmospheric conditions. This process consisted in conserving the seeds in a mixture of atmospheric gases whose composition is modified, compared to that of normal air, by means of special techniques : confinement, extraction or injection of gas. Initially, researchers were interested in **conservation in a confined atmosphere** where seeds were stored in hermetically sealed containers. Although these studies took mainly into account the evolution of technological and organoleptic qualities of stored seed [Pearson *et al.*, 1977 ; Slay *et al.*, 1978 ; Multon, 1982], already the authors pointed out that seed stored a few months under these conditions maintained their germination capacity [Norden, 1981]. Nonetheless, the principal advantage of storage in a confined atmosphere resided, according to the corresponding literature, in the complete control of parasitic insects, achieved without toxic residues accumulating in the seed. Specific studies [Hyde *et al.*, 1961 ; Oxley *et al.*, 1963 ; Harein *et al.*, 1968 ; Multon *et al.*, 1982] showed that this protection effect results from anoxia occurring under confinement conditions, the seed and living insects consuming the oxygen present at the time the storage container is closed.

In practice, the confined atmosphere storage procedure proved difficult to apply due to the impossibility of constructing perfectly leaktight large capacity storage structures ; furthermore, consumption of the oxygen present at the beginning of storage is quite slow in the case of insect populations which are few in number, so that significant damage can be caused before the anoxia conditions occur. For all these reasons, this storage system has never really been developed and preference has been given to **controlled atmosphere** storage procedures.

These techniques make it possible to maintain the initial characteristics of the product stored, either by the active introduction of anoxia (creation of a vacuum or replacement of the original atmosphere by an inert gas), or by the injection of carbon dioxide, which has the property of blocking the aerobic respiratory metabolisms of living creatures. Studies were carried out in the 1950s on other plant species : cotton [Simpson, 1953] ; maize [Goodsell *et al.*, 1955] ; sunflower, rapeseed and sesame [Bass *et al.*, 1963 ; Masson, 1963 and 1969] ; and numerous

cereals [Shejbal, 1980 ; Multon, 1982]. Generally speaking, all the authors mentioned conclude that storage in a controlled atmosphere is a valid technique for conserving grain and seeds, with, however, a slight preference for the nitrogen storage technique : maintenance of organoleptic, technological and germinating qualities over several months, or even years if the seed moisture content does not exceed a certain limit ; perfect control of micro-organisms and parasitic insects in the stocks.

As regards groundnuts, the work carried out is more recent and sometimes contradictory with respect to the effect seed preparation and storage conditions have on the maintenance of germinating quality ; for Marzke *et al.* [1976], the germinating capacity of seed stored in a controlled atmosphere depends more on the shelling method and the storage temperature than on the type of atmosphere used ; Slay *et al.* [1980] observed that storage under vacuum or in a nitrogen atmosphere at ambient temperature was superior to cold storage under normal atmospheric conditions for periods up to a year ; Wilson *et al.* [1985] obtained similar results concerning the germinating capacity of seed stored in nitrogen at ambient temperature for one year.

In Senegal, it was at the end of the 1970s that the question of shelled groundnut seed storage in a controlled atmosphere was given consideration. In effect, the drought which was prevalent at that time caused groundnut production to fluctuate greatly in the producing countries of the Sahel and the creation of emergency seed stocks seemed the only way of saving this crop from catastrophic disappearance.

In this case, everything pointed to cold storage, the effectiveness of which had been proved under Senegal conditions [Lam and Delbosc, 1978] ; however, with the heavy increase in the price of energy observed over the last few years, the cost of such storage seemed prohibitive, preventing any general application of this emergency stocks system. Under these conditions, storage in controlled atmospheres, which, *a priori*, is cheaper for storage periods under six months, could seem to be an interesting alternative.

In the absence of sufficient information about this new shelled groundnut seed conservation process, it appeared necessary to conduct an experiment intended to test its validity in the case of groundnut seed. The aim of this series of trials was particularly to check whether this type of storage ensured maintenance of the germinating, commercial and technological qualities of seed stored over one or several years, and also to study the reliability of the packaging materials available and the practicality of the techniques proposed by specialized companies.

Four sets of tests were carried out from 1975 to 1985 on the shelled seeds of groundnut and other plant species ; the first two sets of tests are covered by this article.

I. — MATERIALS AND METHODS

1. — First experiment (1979-1980).

This first trial to be carried out in Senegal concerning the conservation of groundnut seed in a controlled atmosphere was undertaken in 1979 in collaboration with the Vacuum Capatainer International (V.C.I.) company (1) which wished to promote a vacuum packing process. The technique proposed consisted in packing the products to be conserved in large cubic leaktight bags, called « Capatainers », to which a vacuum was applied. The neck of the bag was then welded shut.

Packaging.

The Capatainers used in this trial had a unit volume of 500 litres and were produced by the blowing-extrusion of a copolymer basically consisting of low density polyethylene. The thickness of their walls varied from 1 to 2 mm, which only rendered these containers moderately gastight : steam and oxygen permeability was 0.23 g/m²/24 hrs and 280 cm³/m²/24 hrs respectively.

Operation.

In the industrial process developed by the VCI company, Capatainer filling, vacuum creation and neck welding were carried out automatically ; under trial conditions this had to be done manually as it was not possible to import a machine weighing several tens of tonnes to pack a few hundred kilograms of seed. The Capatainers were filled from a bucket through the

(1) Vacuum Capatainer International S.A., 16, place Vendôme, 75001 Paris (France).

cylindrical neck at the top (Fig. 1). The neck was then bond-sealed and the vacuum was applied for approximately 6 minutes using a valve fitted under the bonding in the upper part of the neck ; the neck was then heat-welded with a hot air gun below the level of the valve once the desired vacuum was reached (650 mm of mercury, i.e. 86.7 KPa).

Seed.

Sixteen Capatainers were filled with 290 kg of shelled seed each ; this seed, which belonged to the Spanish 55-437 variety was from the 1978 harvest. It was subjected to late rain during its intermediate storage before shelling and was not of very good quality. It was shelled mechanically at the end of April 1979, several days before it was packed, and hand sorted. It was not disinfected.

Storage.

Twelve Capatainers were stored on pallets in the open air under a rough shelter merely protecting them from the sun. Amongst these there was one Capatainer into which technical nitrogen had been re-injected, after application of the vacuum, until atmospheric pressure was reached.

Four Capatainers were stored in a cold store at 6 °C, to be used as a reference for storage monitoring.

Storage lasted from 5th. May 1979 to 18th. April 1980, on which date two Capatainers only were still under partial vacuum. During this period, the mean monthly temperature fluctuated at the storage site between 29.7 °C (June 1979) and 22.2 °C (January 1980), with a mean temperature of 27 °C over the twelve months in question (Fig. 2).

Checks.

It was initially planned to open two Capatainers every two months, but it was impossible to stick to this protocol due to the return to atmospheric pressure of most of the packages in the experiment. Quality control checks were therefore only carried out after 6 and 12 months' storage. As at the time the test was set up, the checks included the following analyses or observations :

- organoleptic qualities on opening of the package ;
- presence of living insects and measurement of the rate of attack by the groundnut weevil (*Caryedon serratus* Ol.) ;
- physical characteristics — splitting rate, skinning rate ;
- chemical characteristics — moisture content, measured in accordance with AFNOR standard N° NF V 03-902 and oleic acidity, measured in accordance with AFNOR standard N° NF V03 — 906 ;
- germinating capacity, judged through emergence tests in small cases of sterile sand, conducted at ambient temperature for 21 days and, in the event of bad germinability, through tests using tetrazolium.

All the physical and technical analyses were carried out on 200 g test samples and involved 2 replications ; germination tests were carried out on 2 replications of 50 seeds.

2. — Second experiment (1981-1982).

Subsequent to the promising results obtained at the end of the preliminary trials in 1979-1980, a new conservation trial involving the seed of groundnut and various species in controlled atmospheres was carried out in 1981-1982. This second set of experiments, which benefitted from Central Economic Cooperation Fund financing, was to enable the testing to two different packaging techniques in a controlled atmosphere, in addition to providing more in-depth knowledge of the procedure's performance.

a) GEC technique.

The first system, proposed by the « Générale d'Emballage et de Conditionnement » (1) company was to be tested under conditions similar to industrial reality through the temporary importation of a simplified packing machine.

GEC process (Fig. 3) :

In this system, the bag taking the product to be packed was placed in a box which was hermetically sealed after filling and subjected, with its contents, to a vacuum of 300 to 700 mm of mercury (from 40 to 93 KPa). Nitrogen could then be injected before the neck of the bag was welded by pulsation welding.

The existence of moulding plates in the box made it possible to give GEC bags a parallelepipedic shape on filling, a shape which they kept thereafter, being kept rigid by their internal partial vacuum.

Bags :

The G.E.C. bags used had a unit volume of 60 litres, making it possible to pack 15 to 22 kg of seed, depending on the species in question. They comprised, in fact, two superposed bags : an inner bag consisting of 300 micrometer thick polyethylene film, intended to ensure the mechanical resistance of the assembly and an outer bag made of a 200 micrometer thick polyane-aluminium-polyethylene compound, used for its very high gas-tightness : water vapour and oxygen permeability values for this material were less than 0.2 g/m²/24 hrs (at 38 °C) and less than 1 cm³/m²/24 hrs respectively.

b) Bernhardt technique.

Technique :

In the second process, proposed by the Bernhardt company (2), the vacuum was obtained through extraction of the internal atmosphere using suction-pipettes, slipped, after packing, through the neck of the bag which is kept sealed by pressure bars. Heat welding was then carried out as soon as the desired pressure was reached, after withdrawal of the suction pipettes. This system also enabled re-injection of nitrogen or other gases via the channel of the suction pipette.

Operation :

As the Bernhardt system involves no sophisticated equipment or techniques the tests were carried out entirely manually. This experiment therefore only included Bernhardt packages and, more generally, the controlled atmosphere storage process ; it was not possible to test the packing equipment proposed by this company.

For this test, suction was applied to create a vacuum of 700 mm of mercury (93 KPa), with, in certain cases, re-injection of nitrogen. The use of an extremely powerful installation with a vacuum reserve tank of several m³ guaranteed that partial vacuums at the desired levels were obtained rapidly despite air leaks occurring along the suction pipettes.

Technical nitrogen was re-injected into certain cartons after application of the vacuum and before welding.

Packages :

Bernhardt packaging (Fig. 4) consisted of two superposed packages : an inner bag made of a 12 micrometer thick 50 g/m² Kraft paper-laminated aluminium - 80 g/m² polyethylene compound with very good gas permeability characteristics (oxygen permeability less than 2 cm³/m²/24 hrs), along with a corrugated cardboard carton over the inner bag. The latter, which is supplied flat, had to be formed into a parallelepiped before being filled with the product to be packed. Two other types of bags were supplied by the manufacturer for testing at the same time : one was made of a Kraft-aluminium-polyethylene compound comprising a thicker paper ; in the second model the kraft paper was replaced by a polyester sheet. The unit capacity of the Bernhardt packages was 10 litres.

c) Organization of tests.

Groundnut used :

Three varieties of groundnut were used for this second experiment :

- 756 A, large edible Virginia, from the 1980 harvest in the Casamance region ;
- 73-33, confectionary potential Virginia variety obtained from 1980 seed multiplications from Central Senegal Agronomical Research ;
- 55-437, Spanish variety from North Senegal, 1980 peasant seed multiplication.

The first two varieties had been disinfected after grading when post-harvest treatments were carried out ; the third variety, which was poorly protected by surface dusting with insecticides during its intermediate storage, had suffered from heavy weevil attacks at the start of the test.

This seed was shelled by hand at the end of February-beginning of March 1981. The shelled seeds which were to be used for

(1) Générale d'Emballage et de conditionnement, 5, rue Denis-Papin, 77390 Verneuil-l'Étang (France).

(2) Société Bernhardt, rue Haignère, 62101 Boulogne-sur-Mer (France).

testing the Bernhardt system were stored for 1 1/2 months in hermetically sealed metal drums.

Packing took place in April 1981 for the G.E.C. process and the following May for the Bernhardt test. The quantities of packed seed per system are given in Table I.

It should be noted that other types of seed (cereals and cowpeas) were packed using the G.E.C. procedure, making it possible to bring the number of packages monitored during storage to a sufficient level to render this part of the study significant.

Control samples :

— 50 kg of seed from each variety used were stored in a cold store in woven polypropylene sacks at 2 °C ; the relative humidity inside the store was kept between 60 and 70 p. 100 to provide a balance with the moisture content of the seeds (3.5 p. 100) ;

— at least 2 G.E.C. bags per variety were stored in a cold store at 6 °C ; no Bernhardt cartons were stored at low temperature.

Storage (Table I) ;

The G.E.C. bags were initially stored in piles outside with daily exposure to the sun, from the date they were packed (packing ended 28th. March 1981) up to the following 15th. June ; they were then placed with Bernhardt cartons under an improvised shelter protecting them from rain and direct sunlight up to the end of the trial (15th. September 1982).

During this period, the mean monthly temperature varied between 29 °C (August 1981) and 22.5 °C (February 1982), with a mean temperature of 26.4 °C over the 18 months in question (fig. 2).

Checks :

The trial was regularly checked every 6 months during storage. When these checks were made, packages which had been attacked by rodents and those which air had gotten into for other reasons were systematically counted, removed and taken to the laboratory along with bags which were taken for sampling. As the laboratory was 350 km from the storage site, to which it was connected by a track in very poor condition, air got into certain of the bags taken for sampling in transit, hence a second count was made of bags which were no longer sealed on arrival at the laboratory.

When the sample bags were opened for analysis, a search was made for living insects and the appearance and smell of the seeds was noted. Next, a representative 2 kg sample was taken from a complete section of the bag, on which all the analyses listed previously for the V.C.I. trial were carried out (with the exception of moisture content and oleic acidity).

Packages which air had gotten into between two sampling operations were systematically opened and their contents analyzed as per the planned protocol ; however, the results obtained from these bags were not combined with those obtained for bags which remained airtight.

II. — RESULTS AND DISCUSSION

1. — First experiment (1979-1980).

a) Performance of packages during storage.

Most of the Capatainers used in this trial rapidly returned to atmospheric pressure (Table II).

It was not possible to determine accurately how the air had seeped back into them, except in one case where the bottom had been slit by rodents. The observers estimated, however, that in a certain number of cases, the air could have returned due to the poor quality of the welds made when the trial samples were packed, whereas in other cases, the pleats which appeared in the surface of the top of the Capatainer when the vacuum was applied might have weakened it and increased its permeability to gas.

In any case, it will be noted that the not inconsiderable gas permeability of the material used did not allow storage periods (without return to atmospheric pressure) of more than 16 months.

Further, the excessive susceptibility of these packages to air leaks, as well as the considerable reduction which arose in the number of Capatainers available for the study, led to the cancellation of the handling and transport tests originally planned.

b) Parasitism check.

Presence of insects :

Weevil (*Caryedon serratus* Ol.) cocoons were observed on the

surface of the batches of seeds when opening the Capatainers stored at ambient temperature which rapidly returned to atmospheric pressure after packing. Nevertheless, no living insects (larva, pupa, imago) were detected.

Evolution of insect damage levels (Table IV) :

The weevil damage rate was completely stabilized by vacuum storage or storage in nitrogen, which would seem to indicate that this type of packaging induces the immediate halt to parasitic insect activity in the stocks.

c) Evolution of chemical properties (Table III).

Moisture content :

This remained constant throughout the trial, equal to 3.5 p. 100 of damp matter.

Oleic acidity :

This increased slightly at ambient temperature, whilst remaining constant in seeds stored at 6 °C. This slight increase in acidity is not proportional to the duration of vacuum storage.

d) Evolution of technological characteristics (Table IV).

Smell : strong on opening, but returning to normal a short while afterwards.

Colour : the seed coat of seeds in the layer in contact with the walls of the Capatainer became considerably darker during storage ; however, the seeds beneath this layer were normal in colour.

Skinning : the skinning rate seemed to increase right from the start of storage, to stabilize subsequently at around 9 p. 100. It was not possible to explain this phenomenon.

Whatever the case, it should be noted that the 55-437 used in this test skins far more easily than all the others used in Senegal.

Splitting : The splitting rate does not appear to be affected by storage.

As regards the level of evolution of these parameters, no difference was observed between vacuum storage and storage in a nitrogen compensated vacuum. Moreover, reduction in storage temperature seems to limit the increase in skinning rate.

e) Evolution of germinability (Table V).

The seed used was of mediocre quality ; in comparison, the germinating potential recorded 6 months after harvest on seeds of this variety obtained from a normal season always exceeds 95 p. 100.

The seeds examined at the time of tetrazolium tests revealed, for the most part, numerous lesions on the radicle and the hypocotyl and necrotic patches on the surface of the cotyledons. During emergence tests in boxes, seedlings which had not emerged after 21 days were removed ; they had numerous malformations : absence of hypocotyl axis, necrosis of the radicle, etc.

Further, it should be noted that rodent attacks on seedlings during the emergence tests in boxes greatly reduced the value of the results obtained.

Nonetheless, it very clearly appeared that vacuum storage enabled good conservation of groundnut seed germinability, whether storage took place at ambient temperature or in a cold store.

However, the seeds stored in nitrogen seem to have lost part of their germinating capacity during storage ; nonetheless, it is difficult to speak of the nitrogen having a depressive effect from the results obtained on a single package.

2. — Second experiment.

a) Performance of packages.

Air leaks were observed throughout this test, the first two occurring several days after the seeds were packed (Table VI).

The chronological analysis of these leaks, in accordance with a type of law similar to those used for calculating compound interest, showed that, with good correlation ($r = 0.98$), the return to atmospheric pressure occurred at a constant rate of 7 p. 100 (1) per month passed for G.E.C. packages. It was not possible to calculate the monthly leak rate for Bernhardt cartons as their outer-packing made monitoring much less easy.

(1) Rate expressed in number of leaks over the number of stored bags remaining vacuum packed.

Although certain evident causes of the phenomenon could be easily identified, others can only be put forward in the form of hypotheses based on the analysis of data and, particularly, on observations made during the monitoring of the trial.

Defects :

Under this heading are grouped manufacturing defects in the materials used for packaging and errors made at the time they were filled (welding of the bags in particular).

It was thus that considerable variations were observed in the packing success rate depending on the work day in question : the reliability of G.E.C. bags progressed considerably from the 25th. March 1981 (first packing day) to 28th. March, with the rate of air leaks occurring by 15th. June dropping from 47 p. 100 (25th. March) to 30 p. 100 (26th. March) to 15 p. 100 (27th. March) and finally 0 p. 100 (28th. March) ; for Bernhardt cartons, fluctuations were even greater, with the air leak rate moving from 40 p. 100 to 100 p. 100 (as the case of variety 28-206, which had to be eliminated from the test).

It should be remembered, however, that the Bernhardt test was carried out in a very basic way, entirely manually and that its results cannot therefore be compared with those of the G.E.C. trial.

Rodent attacks :

Contrary to the claims of the sales promoters of these new packing systems, the vacuum packed packages were frequently attacked by rats ; 25 p. 100 of G.E.C. packages into which air had returned had been attacked by rats ; this phenomenon was less frequent in the case of Bernhardt cartons : approximately 7 p. 100. When applied to the packages stored, the monthly rate of attack on the G.E.C. packages amounts to 1.5 p. 100.

The problem was then posed as to whether the rat attacks broke the seal of the packages which had been gnawed or whether these attacks only occurred on the packages into which air had leaked back. Although no decisive observation was made in this field to answer this question, it is probable that the second suggestion is the right one ; if effect, in spite of the systematic removal every six months of packages into which air had leaked back, there always remained in the storage area bags or cartons which had returned to normal atmospheric pressure through tiny leaks or tears occurring during handling operations when the last regular check was made. It would seem that the rodents were indeed very much attracted by the smells emanating from the seeds stocked in bags with splits or small leaks. Furthermore, it is remarkable that rodent attacks essentially affected legumes, notably groundnut, whereas random attacks would have affected representative fractions of the various species stored.

Resistance of packages :

— Effect of handling operations : it was noted during the trial that the frequency with which air leaks occurred reached maximum during the fortnight following the inspections, at which time the packages were handled many times to simplify observations and for sampling bags or cartons to be taken away ; 15 to 20 p. 100 of G.E.C. bags which were used twice for making up a pile revealed air leaks within the following few days. Monitoring the evolution of Bernhardt cartons was more difficult, but handling operations probably led to broken seals.

— Effect of transport : each time G.E.C. bags were removed, air got back into 20 p. 100 of the bags transported from the storage site to the laboratory 350 km away, either during transport or within the hours which followed

Resistance to tears :

Twenty p. 100 of G.E.C. bags which had returned to normal atmospheric pressure had been torn at the tips of points sticking out from the storage pallets. From this point of view the outer carton around Bernhardt bags affords them effective protection against tearing.

The interpretation of this fragility of vacuum packages during handling, transportation or other situations where they might be subjected to abnormal stress, is simple : the materials from which the bags are made are very tightly stretched due to the existence of a strong pressure differential between the inner and outer surfaces, which considerably reduces the resistance of the material. This interpretation is corroborated by the superior performance of packages packed under a lower vacuum or made of more resistant materials :

— the cumulated rate of air leaks, which came to 68 p. 100 for G.E.C. bags packed under vacuum at 700 mm of mercury (93 kPa), dropped to 40 and 17 p. 100 when the vacuums applied

were no higher than 500 and 300 mm of mercury (67 and 40 kPa respectively) for all species,

— the air leak rate over one year for Bernhardt cartons dropped from 87 to 70 and 44 p. 100 when bags were used which had an aluminumization support comprising lightweight paper (50 g/m²) heavy kraft paper (80 g/m²) and a flexible but tear-proof polyester film.

b) Parasitism check.

No living insect, in any macroscopic form whatsoever, was ever found on the opening of a package which had remained under vacuum or nitrogen, whatever the storage temperature ; likewise for those packages which returned to atmospheric pressure after packing, with the exception of those which had been attacked by rodents. This final observation would seem to indicate that a high vacuum applied for several days kills groundnut parasitic insects present in the packed batch at all stages of development : eggs, larvae, pupae and imagos.

The rate of weevil affected seeds, the evolution of which could have marked the trace of brief activity before the death of the parasitic insects present in the seeds on packing, did not vary during storage, whatever the type of conservation atmosphere and storage temperature (Table VII).

c) Evolution of seed technological characteristics.

Appearance, colour and smell on opening : for each of these criteria, the groundnuts remained in the same state as at the time of packing : appearance and colour did not change ; smell was strong on opening but returned to normal after a few minutes.

Splitting rate : this remained constant throughout the storage period, whatever the storage conditions (Table VII). The rates, which were initially low did not increase with the application of very high atmospheric constraint. On the contrary, it was observed that seeds in bags into which air had returned or in the polypropylene control bags packed at 2 °C had a slightly higher splitting rate than vacuum packed bags. This can be explained by the fact that in the latter case, the seeds are immobilized by the pressure exerted upon them and are therefore only exposed to static stress, when handled or transported.

Skimming rate : the rates measured in March'82 were abnormally high and were therefore not taken into account. It is noted, moreover, that the September'82 rates are lower than those at the beginning : this variation can be interpreted as a result of the modification made to the sampling method between these two dates (divider-sampler was no longer used as it damaged the seeds).

Hence, here again, vacuum storage or storage in nitrogen ensures that initial characteristics are maintained.

d) Evolution of germinating capacity (Table VIII).

The germinating capacity of seeds remained at its very high initial level for the entire duration of the trial, whatever the species or varieties in question.

The storage temperature and the type of conservation atmosphere had no effect upon the results of the tests.

Finally, the seeds in packages into which air had returned and which had been eliminated from the experiment when the regular checks were made revealed perfectly comparable germinating capacities. As the packages which returned to normal atmospheric pressure were eliminated every six months, it can be considered that the seeds they contained remained in the presence of oxygen for several months without their viability being affected. In concrete terms, this shows that the seeds stored under vacuum and returned to atmospheric pressure could be used with no problem for several months at least.

CONCLUSION

Although carried out under unsuitable and ill-adapted conditions, the preliminary trial conducted in 1979-1980 led technicians in Senegal to study controlled atmosphere conservation procedures. The results obtained, which were not significant, though promising, seemed to indicate that storage under low air pressure could constitute a shelled groundnut seed conservation procedure which was as effective as cold storage, for which it was becoming the principal competitor.

The purpose of the 1981-1982 trial was to confirm the effectiveness of groundnut seed storage in a controlled atmosphere and to test two techniques for implementing this process. This set of experiments was a great success :

— Storage in a controlled atmosphere guarantees the

maintenance of shelled groundnut physical, chemical and biological characteristics for at least 18 months at ambient temperature, whether vacuum packed or packed in nitrogen. No after effects were observed for seeds stored in this way. In particular, their viability is ensured for several months after removal from storage. Furthermore, this procedure ensures total control of parasitic insects in the stocks and affords effective protection against re-infestation which might occur after packing. However, it does not seem to totally guarantee the stored seed against rodent attacks; nonetheless, it has not been proven that these attacks are not secondary to a prior seal loss of the packages.

— The 1981-1982 tests were also highly instructive as regards conditions for implementing the procedure. Generally speaking, it was noted that the metallic compounds used to ensure that packages were leakproof over a long period were too fragile to enable very high vacuums to be applied (greater than or equal to 300 mm of mercury or 40 KPa). Under these conditions, the reduction in partial oxygen pressure is insufficient to ensure parasite control. In practice, the solution consists in using a nitrogen compensated vacuum; after application of a high vacuum, which considerably reduces partial oxygen pressure, nitrogen re-injection breaks the vacuum, up to a value which the material can withstand.

It appeared best to keep the contents of packages under a partial vacuum, even a slight one, to immobilize seeds inside the bags, thereby providing better resistance to impact.

— Compared with other conservation systems, vacuum storage or storage in nitrogen offers many advantages :

- the procedure does not require heavy investment, such as costly and immobile cold stores ;

- storage can take place on a site other than that where the groundnuts were packed, and in any construction adapted for the purpose ;

- the procedure consumes little power compared with cold storage ; its cost, which is virtually covered by that of packing does not increase with time, which makes it highly competitive for long-term storage (more than 6 months as a first approximation) ;

- conservation in a controlled atmosphere offers the advantage over and above all other systems of guaranteeing parasitism control **right from the outset of storage**, which eliminates the need for preliminary disinfection. This is not the case for storage in a confined atmosphere, where a certain loss through parasite activity has to be accepted at the start of storage before anoxic conditions set in.

For all these reasons, the controlled atmosphere conservation procedure appeared in 1982 to be particularly well suited to groundnut seed emergency stocks which the Sahel countries were to set up to guarantee them against the possible effects of climatic catastrophes. Nonetheless, this system could not be proposed to the relevant authorities of these countries before the germinating value in the field of seed stored in this way and the reliability of the corresponding packing techniques had been verified under actual exploitation conditions. This was the main objective of the pre-extension trial conducted in 1984 and 1985, which will be covered in the second part of this study.



LES SEMENCES D'ARACHIDE

GROUNDNUT SEED • LAS SEMILLAS DE MANI

NUMÉRO SPÉCIAL D'OLÉAGINEUX — FÉVRIER 1983

Numéro entièrement trilingue : Français, Anglais, Espagnol

disponible au prix de 104 FF t.t.c. (France) ; 120 FF (Etranger)