

PN-ABH 456
71551 X 7.336

1

EVALUATION ET AMELIORATION DE LA TECHNIQUE

TRADITIONNELLE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

DES CEREALES AU MAROC

PAR

BARTALI H. ET DEBBARH A.
Institut Agronomique et Veterinaire
Hassan II, BP 6202, Rabat-Instituts.

RESUME

Le stockage souterrain des céréales est une technique largement utilisée en milieu rural dans plusieurs régions cerealieres du monde en general et du Maroc en particulier.

Cette technique offre plusieurs avantages dont les plus importants sont: coût de stockage réduit, stockage discret, réduction des effets de variation excessive de température extérieure, création d'un environnement confiné dans la masse de grain emmagasinée. Le revêtement interne par des feuilles de plastique des entrepôts souterrains joue un rôle important dans la réduction des risques de détérioration du grain stocké par les eaux souterraines.

La présente communication a pour objet de faire une évaluation des conditions de stockage souterrain d'une céréale, le blé dur, à partir des résultats obtenus à l'issue d'une experimentation menée chez un agriculteur dans la région de Settat pendant 16 mois. Au cours de cette étude deux lots d'entrepôts souterrains ont été comparés, le premier lot était composé des entrepôts revêtus intérieurement de paille (technique traditionnellement utilisée dans cette région) pendant que le deuxième comportait des entrepôts revêtus de feuilles de plastique.

L'étude a consisté à suivre l'évolution de la température du grain emmagasiné, du gaz carbonique et de l'humidité relative de l'air intersticiel, à localiser les zones de perte et à évaluer les dégâts occasionnés par ce type de stockage et les améliorations liées à l'emploi du revêtement plastique.

Rec'd in SCI JUN 1 11 1961

I - INTRODUCTION

Le stockage souterrain des denrées agricoles est largement rencontré dans plusieurs pays et particulièrement ceux en voie de développement. Au Maroc, le stockage dans les entrepôts souterrains (appelés "Matmoras") représente près de 16 % de la capacité totale du stockage des grains à la ferme (MARA, 1980). Cette technique ancestrale est très bien connue pour les avantages qu'elle présente : coût réduit, discrétion du stockage, réduction des effets excessifs des variations extérieures de température, création d'atmosphère confinée et enfin limitation des risques de parasitisme. Le revêtement intérieur des entrepôts souterrains a souvent consisté en une couche de paille de céréale, (la paille étant utilisée pour ses propriétés d'isolant thermique) ou de feuilles de plastique indépendantes clouées les unes aux autres (Bartali, 1987). Ces deux situations conduisent à une percolation de l'eau souterraine à l'intérieur de la masse de grain emmagasinée et résultent dans la détérioration du stock emmagasiné et l'augmentation des pertes après récolte.

Afin de contribuer à l'amélioration des conditions de stockage souterrain des céréales aussi bien sur le plan quantitatif (minimisation des risques de pertes) que qualitatif (propriétés physicochimiques, technologiques,...), une étude expérimentale a été menée sur l'évaluation des facteurs de stockage et la comparaison des performances respectives des entrepôts souterrains revêtus intérieurement de la paille et d'autres en sacs de polyéthylène confectionnés pour épouser leurs formes internes. Cette étude a porté sur une durée de stockage de 16 mois.

II - MATERIELS ET METHODES

Le site expérimental de la présente étude a été choisi sur une exploitation agricole dans la région céréalière de la Chacua, à 10 kilomètres de la ville de Settat sur la route d'El Kalaa.

Le lieu de l'expérimentation est caractérisé par un sous-sol dont la figure 1 montre la configuration des couches. Le niveau de la nappe est à 50 m au-dessous du niveau du sol. Seize entrepôts ont été creusés en Octobre 1987 sur une aire de 15 x 20 m; la capacité moyenne de chacun étant de 1,3 tonnes. Huit entrepôts ont été intérieurement couverts d'une couche de paille de près de 5 cm d'épaisseur; dans les huit autres des sacs étanches, confectionnés à partir de feuilles de plastique (polyéthylène) découpées et collées, ont été placés de telle sorte qu'ils épousent leurs formes intérieures (fig.2 et 3).

Les seize entrepôts ont été équipés d'instruments de mesure, remplis de blé dur et refermés au moyen de planche en bois et recouverts de terre et d'une couche de paille. Les sacs de plastique ont été soigneusement refermés pour réduire au maximum les échanges d'air et de chaleur entre l'atmosphère et le grain emmagasiné, Bartali et Tlemçani (1989). Le polyéthylène testé

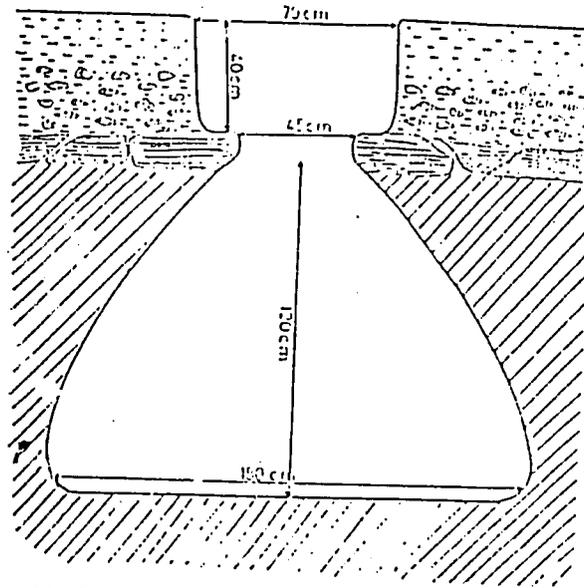


Figure 1 : Coupe longitudinale d'un entrepôt.
Horizon limono-argileux (Rendzine).

Horizon limono-argileux avec présence d'éléments
grossier.

Créûte calcaire.

Encreûtement argileux.

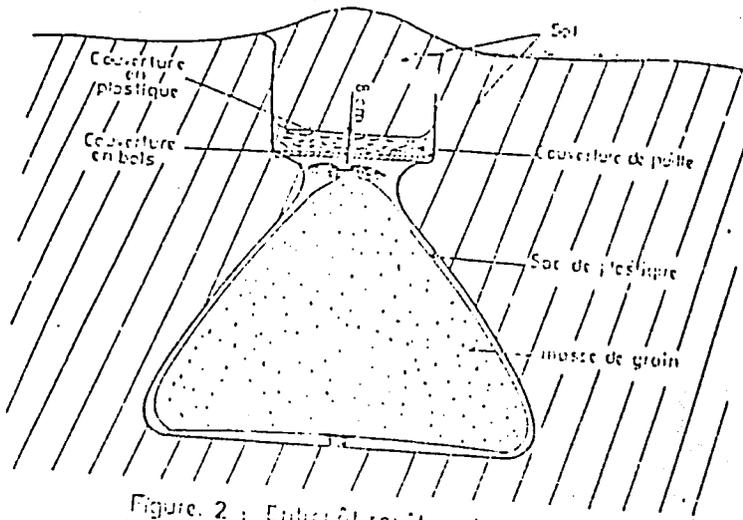


Figure 2 : Entrepôt recouvert de plastique (site de Zolal)

présente les caractéristiques suivantes :

- . Epaisseur = 0.18 mm ;
- . perméabilité à l'O₂ : 68 cm³/cm²/24 h à 25 C ;
- . perméabilité à l'eau : nulle.

L'expérience a consisté à suivre de façon continue l'évolution des paramètres de l'environnement au sein du grain emmagasiné et dans le sol environnant en mesurant à distance la température et l'humidité relative et en extrayant régulièrement un volume d'air interstitiel pour analyser sa teneur en CO₂. La figure 4 illustre la configuration de la localisation des différents capteurs à l'intérieur des entrepôts.

Tous les trois mois, quatre entrepôts (deux contenant les sacs de plastique et deux recouverts intérieurement de paille) sont ouverts et ce pendant les 9 premiers mois de l'expérience. Le dernier lot des quatre entrepôts restants a été ouvert 16 mois après le démarrage de l'expérience. A chaque ouverture des échantillons sont prélevés à des niveaux bien déterminés et repérés de 1 à 4 (fig.4).

Une équipe pluridisciplinaire d'enseignants chercheurs constituée en Groupe d'Etude et de Recherche sur le Stockage (GERS) s'est penchée sur les analyses au laboratoire des échantillons qui ont porté sur: le poids volumique et la teneur en eau du grain; les pertes en poids sec; les analyses entomologiques; les analyses des champignons et mycotoxines; les analyses chimiques et biochimiques; les analyse rhéologiques; et enfin les analyse de germination et de test de vigueur.

Les niveaux de température et d'humidité relative ont été continuellement relevés et analysés moyennant des unités portables d'acquisition de données (UPAD) installées sur le site. Elles sont munies de microprocesseurs capables d'effectuer des mesures et de les stocker. Ces unités fonctionnent avec des batteries et sont autonomes. Elles sont gérées par microordinateur portable qui permet de vidanger les données stockées pour les traiter. L'humidité relative est mesurée au moyen d'un capteur d'humidité installé au centre d'un entrepôt revêtu de plastique. L'extraction d'air interstitiel est effectuée avec des tubes plastiques et une pompe. Cet air est injecté dans des tubes en verre gradués qui changent de couleur selon le taux de CO₂.

Le remplissage en blé des entrepôts expérimentaux a eu lieu le 30 Décembre 1987. Les caractéristiques initiales du blé dur ont été déterminées sur des échantillons prélevés lors du remplissage. Cette communication présente les résultats des mesures et analyses réalisées dans cette recherche, présentés partiellement et successivement par TLEMCANI K. (1989) et EL GHALI A. (1989). Seules les conditions de stockage (température, humidité relative, gaz carbonique) et les performances quantitatives (niveaux des pertes et dommages) résultant des deux types de revêtement seront discutées dans la suite du présent article.

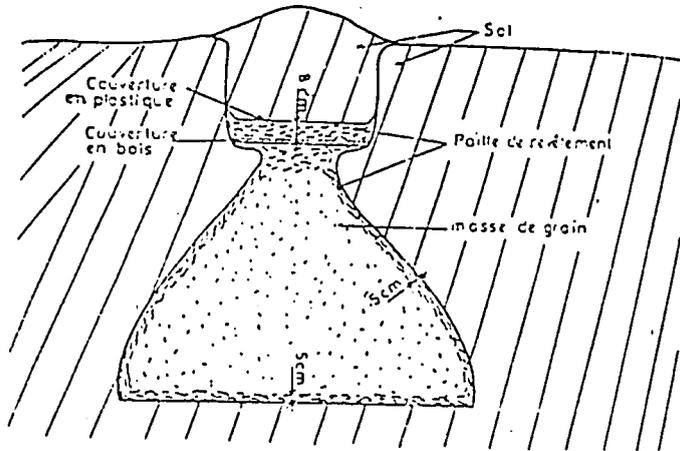


Figure.3 : Entrepôt revêtu de paille. (Site de Semat)

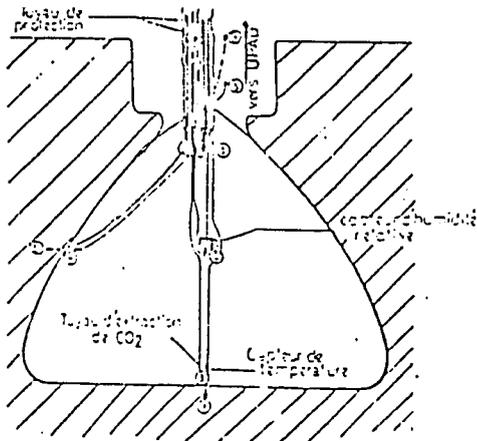


Fig 4. Entrepôt totalier et équipé

III - RESULTATS ET DISCUSSION

A. Contrôle des conditions de stockage

Les conditions climatiques, ayant régné pendant toute la durée de stockage, sont illustrées par les figures 5 et 6 qui présentent respectivement les relevés de la pluviométrie et de la température de l'air enregistrés par la station météorologique de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) localisée près du site expérimental. Le premier trimestre qui a suivi le remplissage a été caractérisé par de forte pluviométrie et de basse température.

1 - Température

L'évolution des températures journalières maximales selon l'axe vertical est indiquée dans les figures 7 et 8 respectivement pour les entrepôts de plastique et de paille. Les points de mesure considérés se trouvent dans le bouchon de fermeture en terre des entrepôts, la masse de grain et le sol de fondation.

L'examen des figures 9, 10 et 11 montre que les fluctuations des températures du sol renfermant le grain décroissent avec la profondeur (cette décroissance est plus importante pour les 30 premiers centimètres du sol). Les gradients verticaux de la température du sol sont descendants pendant les mois chauds et ascendants pendant les mois froids. La température du capteur 7 de fond ne présente que de très légères ondulations autour de la valeur initiale de 16 °C. Le sol constitue ainsi un isolant thermique au profit du grain entreposé en profondeur.

Dans les deux types d'entrepôts souterrains, les fluctuations des températures aux trois niveaux, 1, 2 et 3 dans le grain suivent celles de la température de l'air de façon plus atténuée. Les gradients verticaux de température dans la masse des grains ressemblent à ceux enregistrés dans le sol avoisinant. Les températures maximum atteintes au sein de la masse de blé, emmagasiné dans les entrepôts revêtus de sacs de plastique, varient entre 27 °C au niveau supérieur et 23 °C au niveau inférieur (fig. 7). Celles enregistrées dans la masse de grains des entrepôts revêtus de paille, en été, sont de 32 °C au niveau supérieur et 26 °C au niveau inférieur (fig. 8). Les températures journalières maximales de l'air ont atteint des valeurs de 45 °C (après 220 jours de stockage) alors que les températures minimales sont descendues à moins de 10 °C.

D'une façon générale les variations temporelles des températures journalières maximales dans la direction horizontale sont plus réduites par rapport à celles enregistrées dans la direction verticale. La figure 12 indique que dans les entrepôts revêtus de paille les températures enregistrées dans le grain (points 2 et 4) sont supérieures à la température enregistrée dans le sol (point 6). En été les valeurs maximales atteintes sont de 29 °C au centre, de 27 °C sur le côté de la masse de grain et de

Fig. 5 : *PLUVIOMETRIE* : Site *SETTAT*

STATION METEOROLOGIQUE (INRA SETTAT)

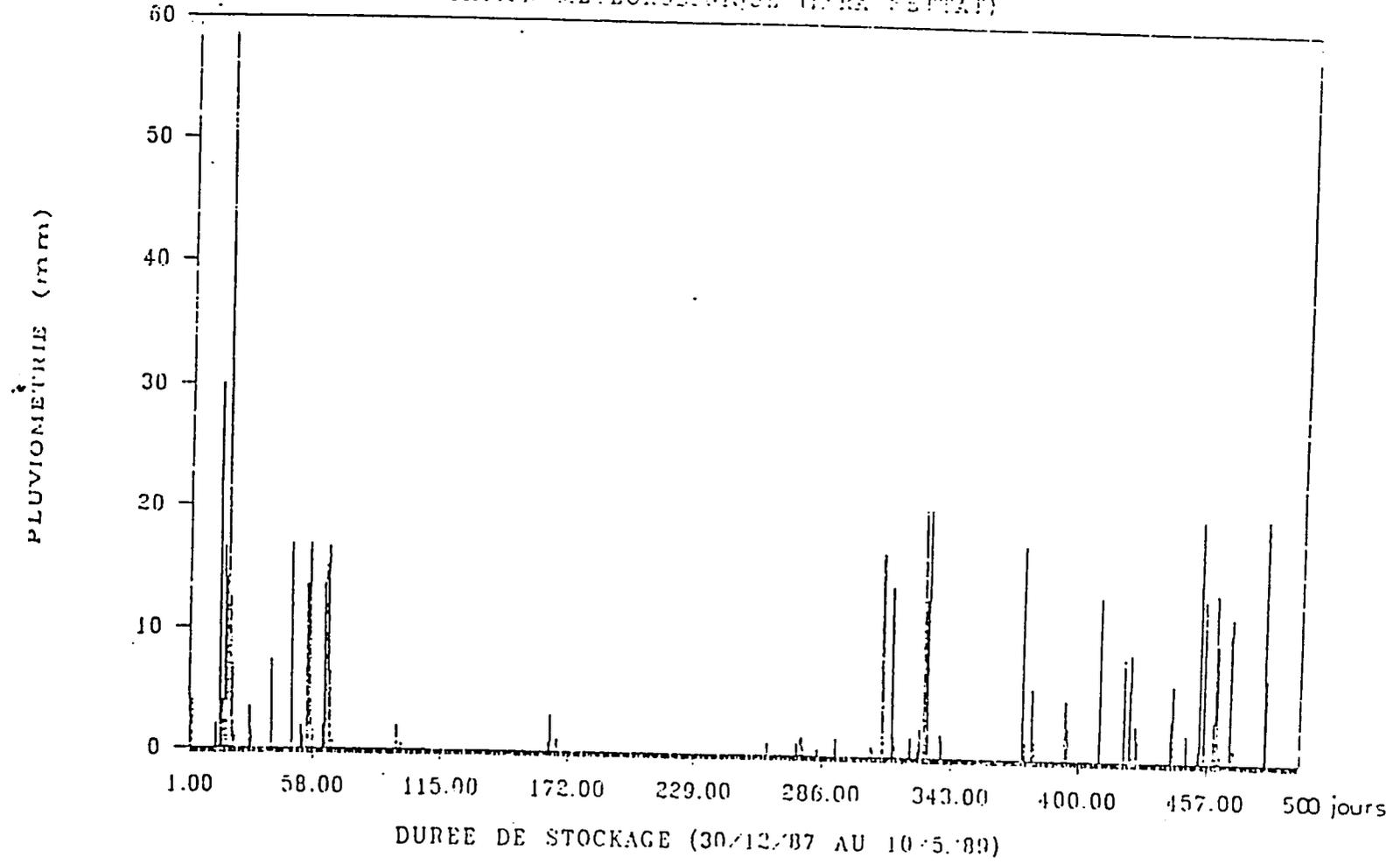


Fig.6. TEMPERATURE DE L'AIR : Site SETTAT
STATION METEOROLOGIQUE (INRA SETTAT)

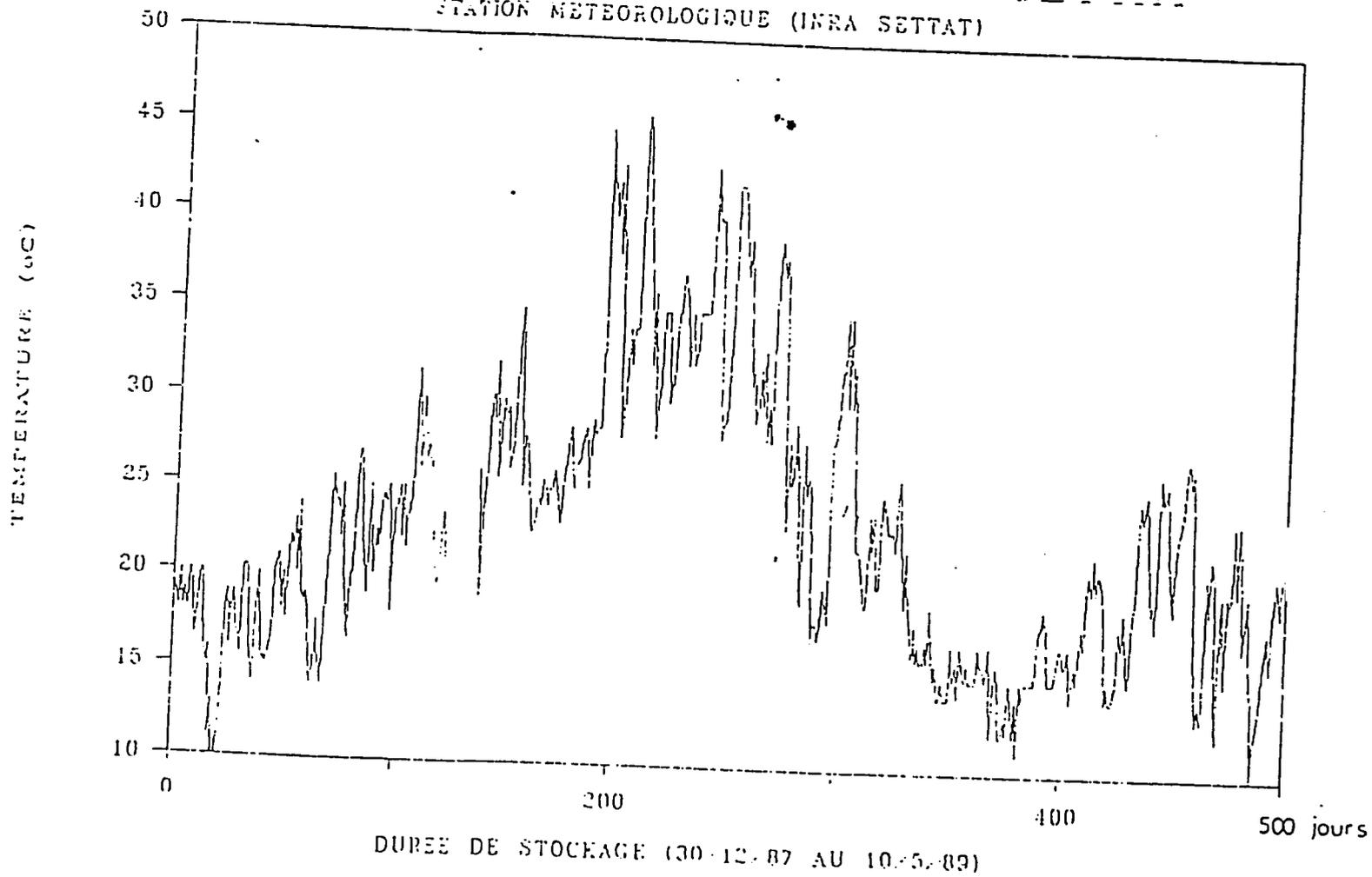


Fig. 7: ENTREPOT REVETU DE PLASTIQUE Site SETTAT
 GRADIENT VERTICAL DE TEMPERATURE

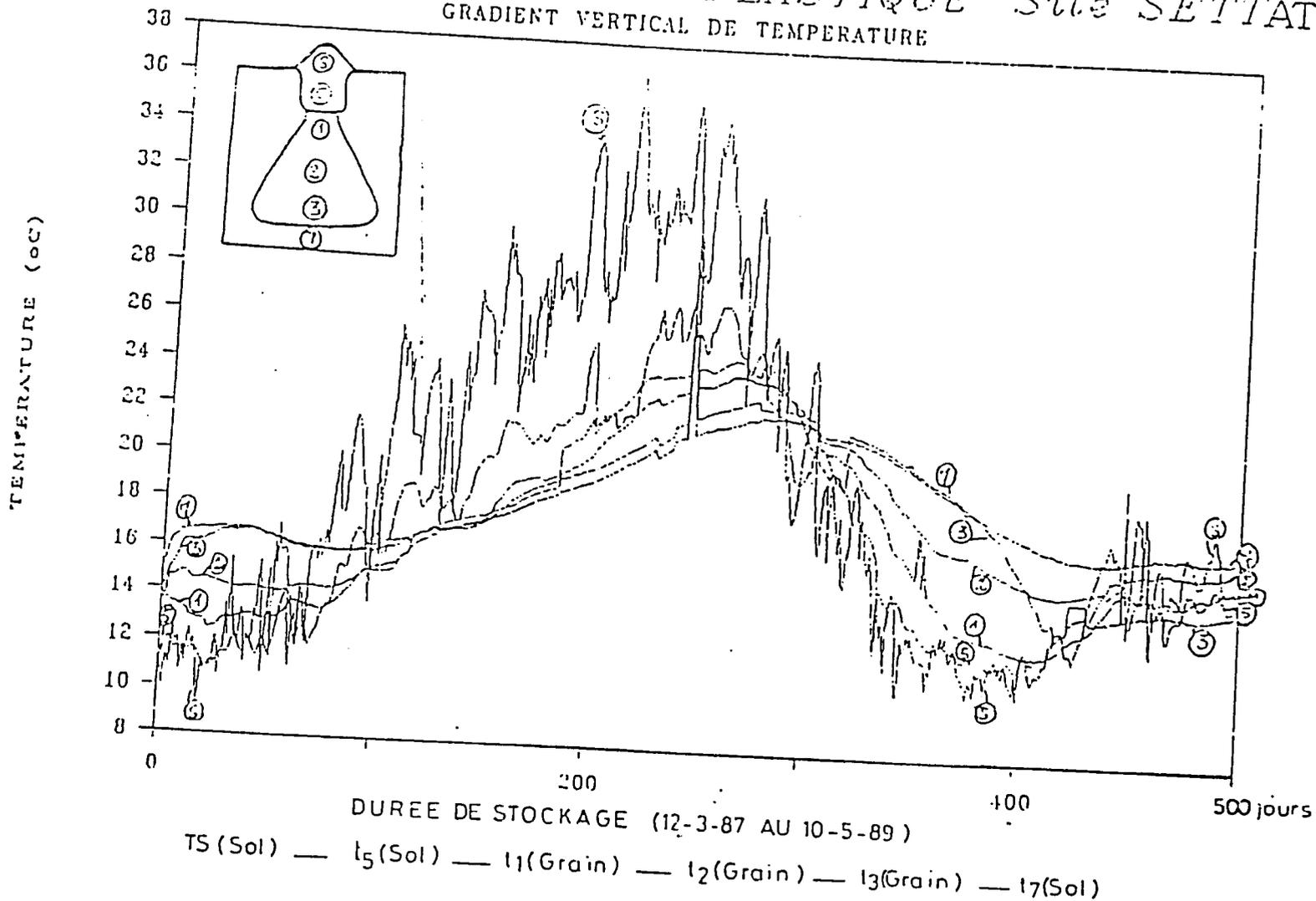


Fig.8. *ENTREPOT REVETU DE PAILLE : Site SETTAT*
 GRADIENT VERTICAL DE TEMPERATURE

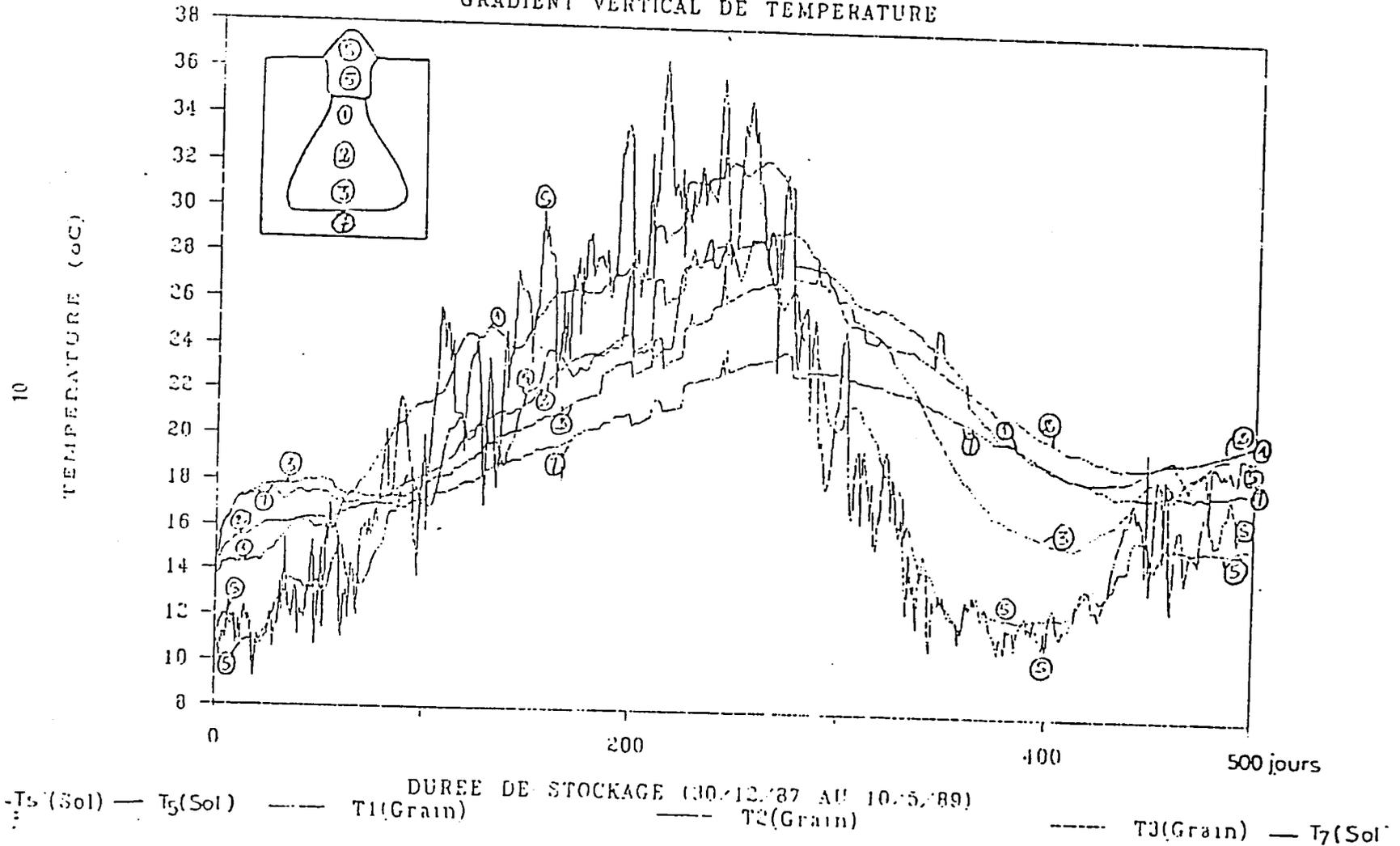


FIG. 10 : MATMORS REVET. DE PAILLE
GRAD. VERTICAL DE TEMPERATURE

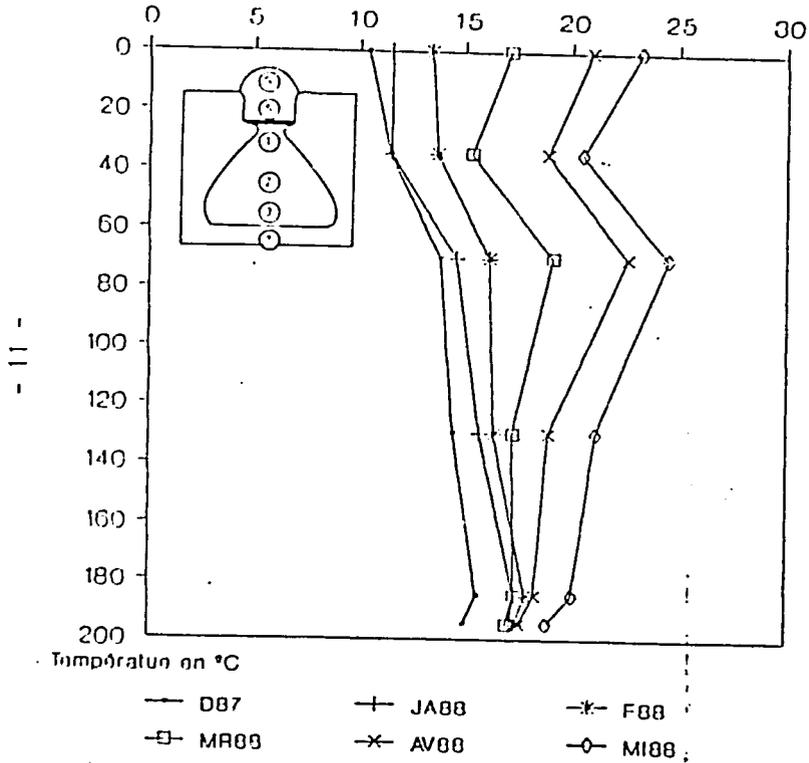


FIG. 9 : MATMORA REVET. DE PLASTIQUE
GRAD. VERTICAL DE TEMPERATURE

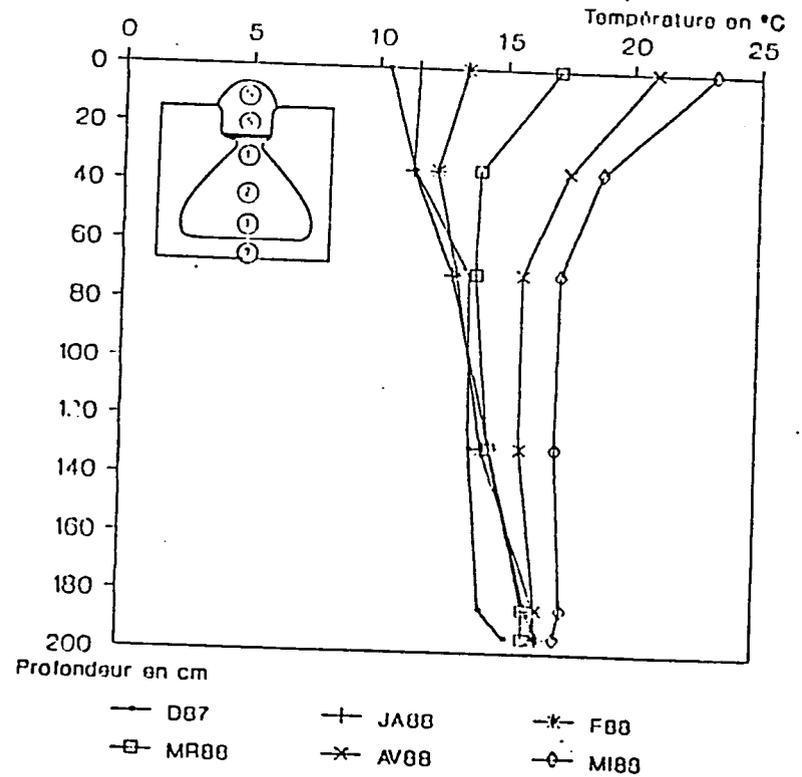
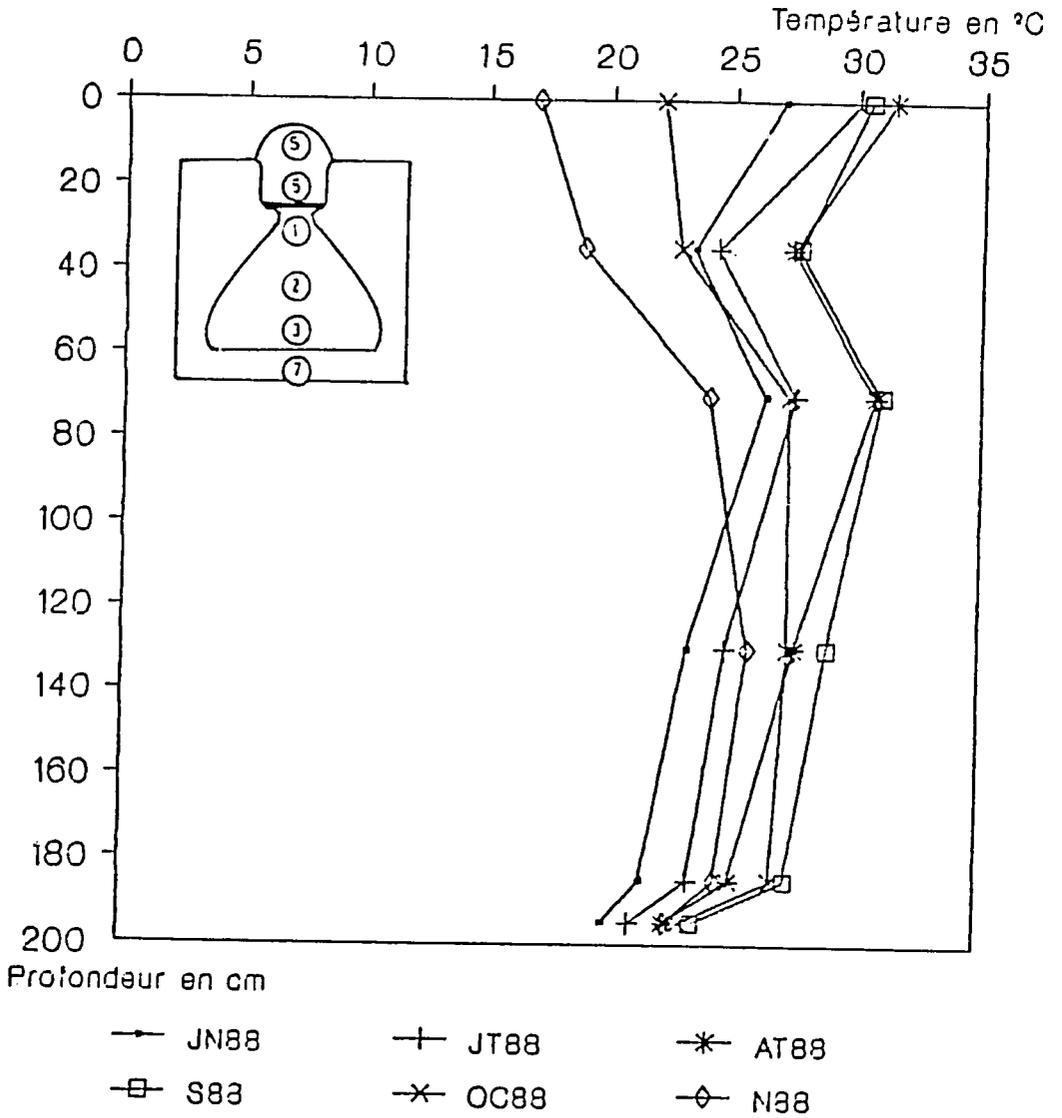


FIG. 11 MATMORS REVET. DE PLASTIQUE
GRAD. VERTICAL DE TEMPERATURE



26 °C dans le sol. Cependant, dans les entrepôts revêtus de plastique les variations des températures dans la direction horizontale sont presque négligeables (figure 13). En effet le blé ayant été introduit à une température légèrement supérieure à celle du sol, les niveaux de température atteints dans la masse de grains et dans le sol restent sensiblement proches les uns des autres (23 °C en été avec un pic de 27 à 28 °C pendant une très courte durée).

Il ressort de ces valeurs, d'une part, que les échanges de chaleur entre la masse de grains et les parois de l'entrepôt sont plus dominés par les gradients verticaux, et d'autre part les variations de température dans la masse de grains sont atténuées par le sol. En outre, le revêtement paille conduit à des valeurs de température de 4 à 6 °C plus élevées que le revêtement plastique (les figures 14 et 15 illustrent bien cette conclusion respectivement aux niveaux du centre et du fond de la masse des grains stockés dans les deux types d'entrepôts). L'explication de ce phénomène est lié au fait que la paille n'étant pas un revêtement étanche, ni à l'air ni à l'eau, ne protège pas le grain contre les échanges d'air (apport d'oxygène) et les infiltrations des eaux souterraines. L'activité métabolique de l'écosystème grain et microorganisme, s'y trouvant, est favorisé entraînant ainsi une certaine production de la chaleur dans la masse de la denrée stockée. La dissipation de cette chaleur en dehors de cette masse est réduite par la couche de revêtement paille qui agit comme un isolant thermique.

2 - Humidité relative

L'humidité relative de l'air interstitiel n'a été suivie en continu que dans un point situé au centre d'un entrepôt revêtu de paille, le capteur installé dans l'entrepôt de plastique ayant cessé de fonctionner. La figure 16 montre que l'humidité relative de l'air interstitiel, initialement égale à 53 %, a rapidement augmenté quelques jours après le remplissage pour se stabiliser 3 mois plus tard autour de 73 %. Quelques pics de courte durée ont été enregistrés à 2 reprises pendant les saisons pluvieuses. Ces pics pourraient être dus à la sensibilité du capteur aux condensations.

L'humidité relative a été également mesurée à chaque ouverture au moyen d'un hygromètre à cheveux au centre des entrepôts. Les résultats correspondants sont reportés dans le tableau 1, celui-ci montre une nette augmentation des valeurs moyennes de l'humidité relative dans les entrepôts à revêtement paille (89 %) contre 66% pour ceux revêtus en sacs de plastique. L'activité biologique au sein des entrepôts revêtus de paille pourrait être en partie favorisée par les niveaux d'humidité relative atteints dans ces entrepôts.

Fig.12: ENTREPOT REVETU DE PAILLE : Site SETTAT

GRADIENT HORIZONTAL DE TEMPERATURE

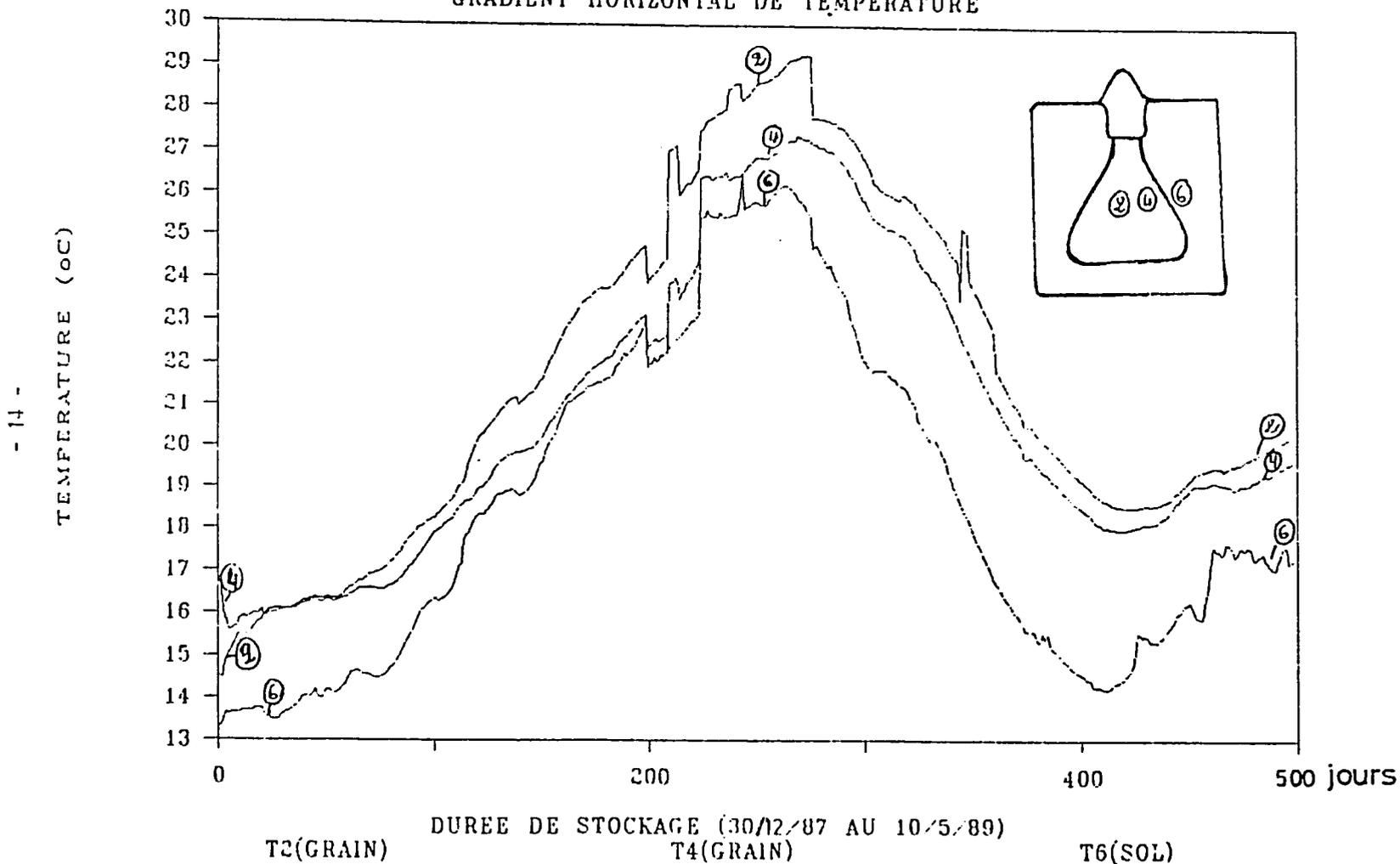


Fig.13: ENTREPOT REVETU DE PLASTIQUE : Site SETTAT

GRADIENT HORIZONTAL DE TEMPERATURE

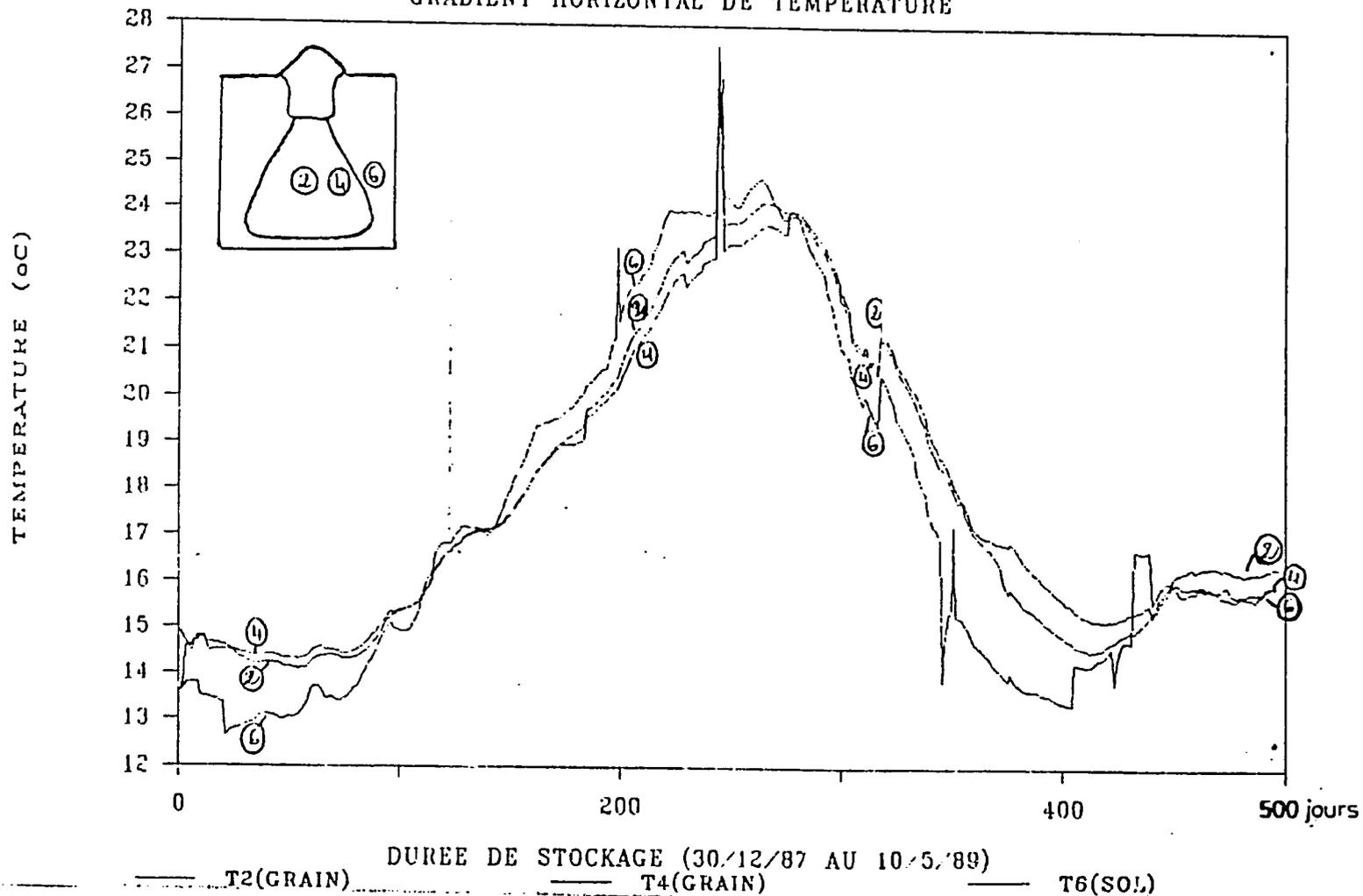


Fig.14 : COMPARAISON DES TEMPERATURES : Site de Settat
TEMPERATURE DU GRAIN PLASTIQUE ET PAILLE (2)

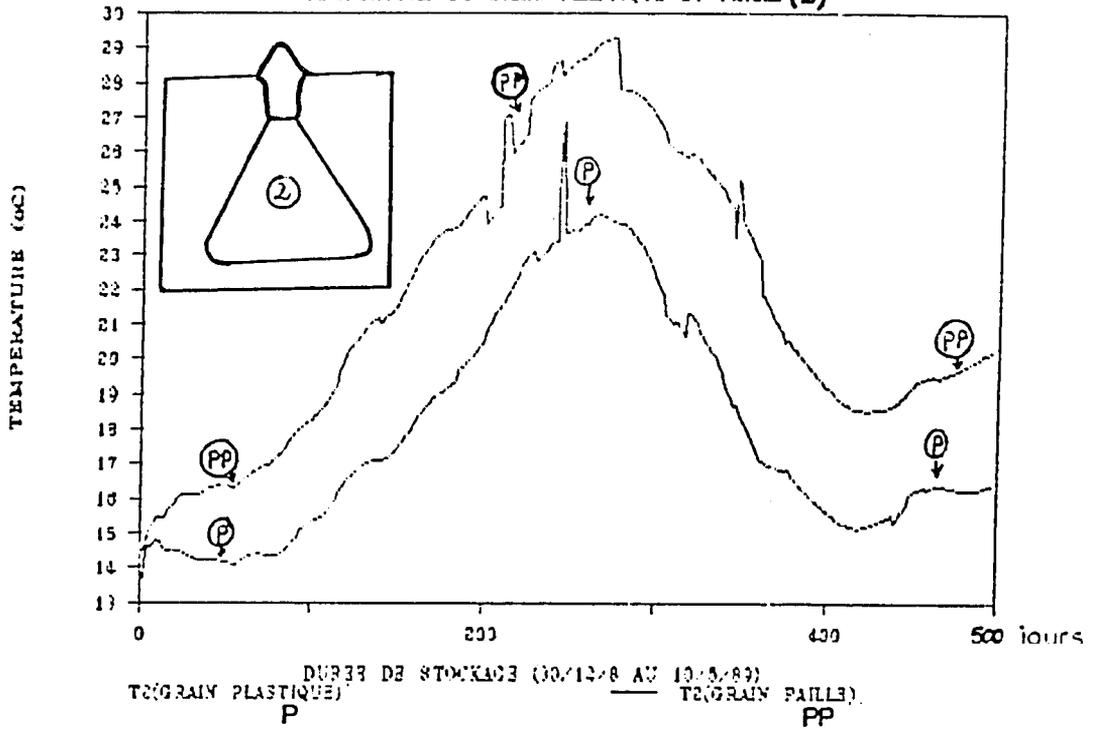


Fig.15 : COMPARAISON DES TEMPERATURES : Site Settat
TEMPERATURE DU GRAIN PLASTIQUE ET PAILLE (3)

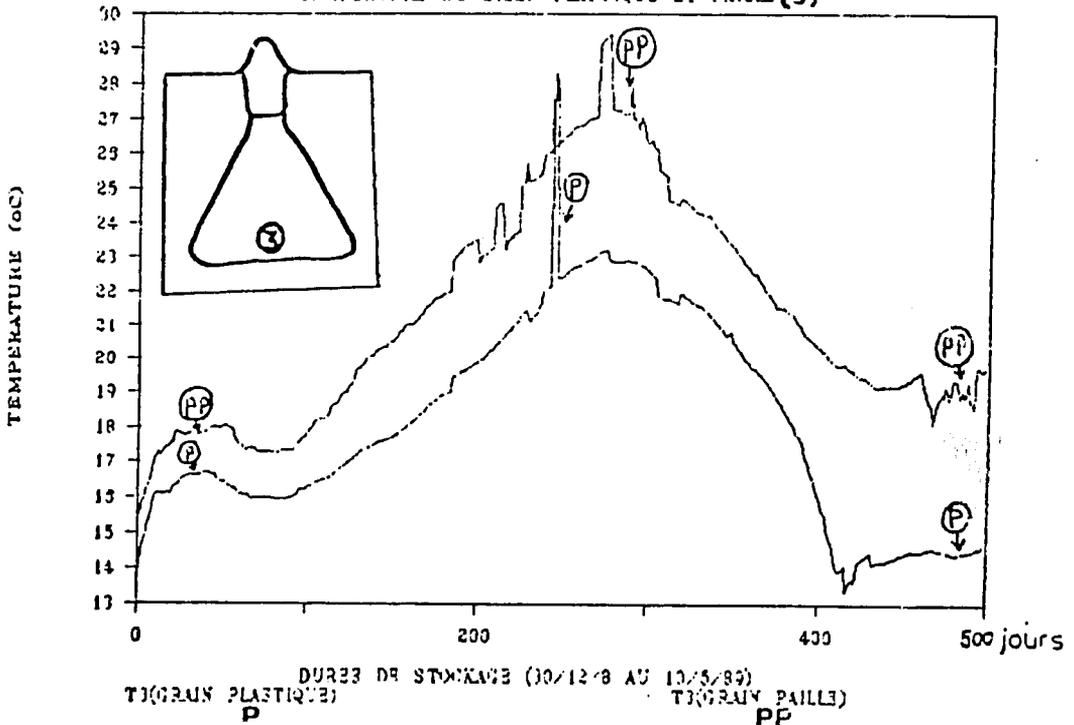


Fig.16: ENTREPOT REVETU DE PAILLE : Site SETTAT

VARIATION DE L'HUMIDITE RELATIVE

- 17 -

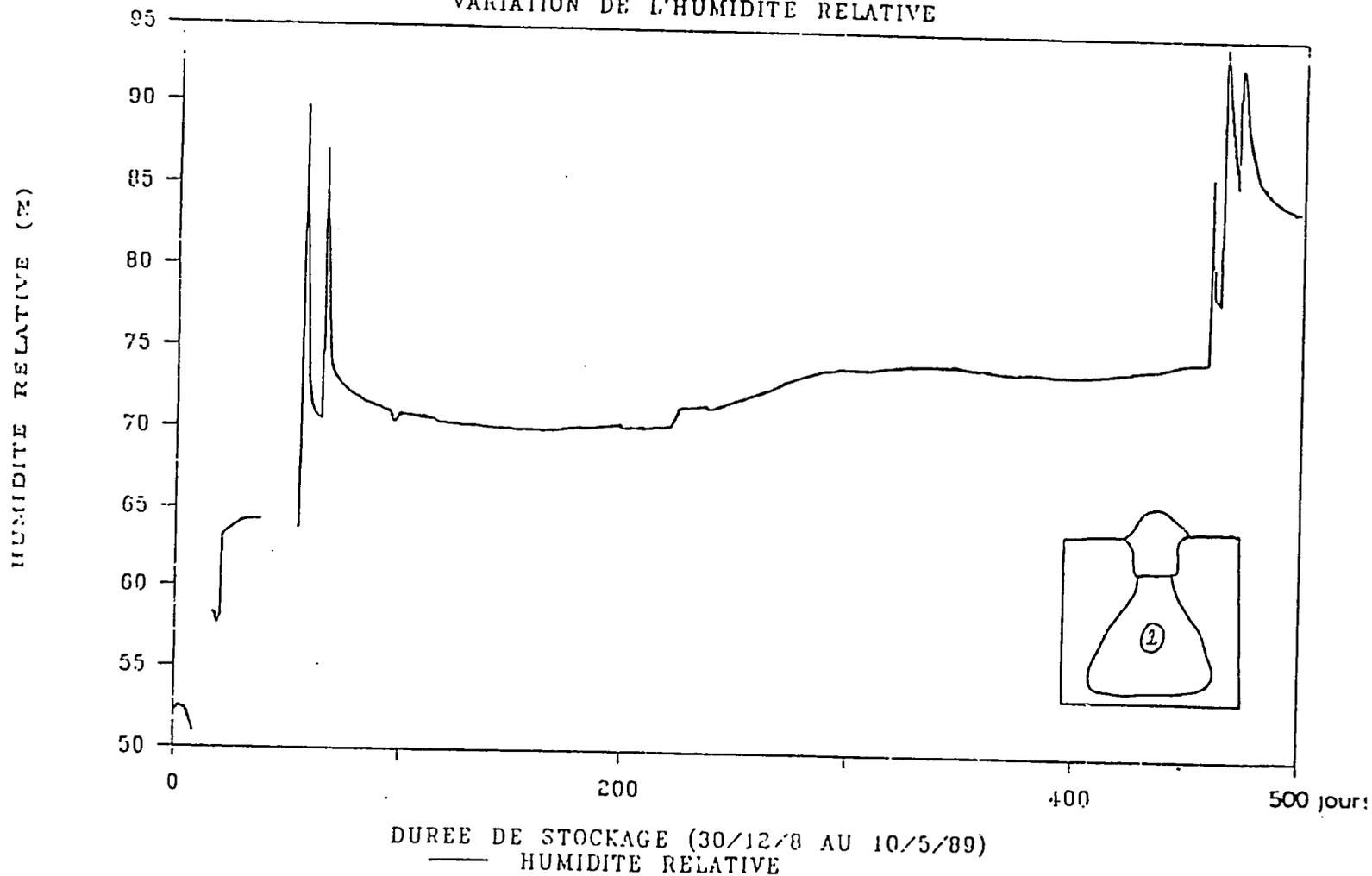


TABLEAU 1 - Humidité relative mesurée après chaque ouverture à l'aide d'un hygromètre à cheveux (site de Settat)

Durée de stockage	E.R.P.	HR(%)	E.R.Pa	HR(%)
3 mois	Moyenne	67.50		80.00
6 mois	Moyenne	65.00		75.00
9 mois	Moyenne	64.50		80.50
16 mois	Moyenne	66.00		89.00

3 - Concentration en CO₂

Les figures 17 et 18 montrent que les concentrations de CO₂ sont relativement plus élevées dans les entrepôts à revêtement paille aux niveaux des deux points considérés: le sommet et le centre de la masse de grain. Cette constatation confirme qu'une certaine activité biologique respiratoire des grains, d'insectes et de microorganismes fut plus intense dans les entrepôts dont les parois sont revêtus de paille.

B. Analyse de laboratoire

Une partie des analyses réalisées en laboratoire est présentée dans le tableau 2. Elle concerne les variations de la teneur en eau, du poids volumique et du taux de perte en poids sec évaluées sur des échantillons extraits après différentes durées de stockage dans les 2 types d'entrepôts étudiés. Le tableau 2 montre que le revêtement paille conduit à des augmentations de teneur en eau du blé emmagasiné, à des chutes de poids volumique et à des taux de perte de loin plus élevés que le revêtement plastique.

TABLEAU 2 - Analyse des échantillons au laboratoire

Analyse	Initial	Après 3 mois		Après 6 mois		Après 9 mois		Après 16 mois	
		Pl.	Pa.	Pl.	Pa.	Pl.	Pa.	Pl.	Pa.
Teneur en eau en %	11.76	12.05	18.26	12.03	17.25	12.16	17.22	12.5	18.5
Poids volumique g/l	775.52	770.5	683.33	769.48	692.58	769.80	698.49	754.50	674.5
Taux de pertes en poids sec	-	0.97	18.05	1.07	16.15	1.19	15.42	3.62	19.5

Pl = Entrepôts revêtus de plastique

Pa = Entrepôts revêtus de paille

Fig.17 : COMPARAISON DES TAUX DE CO₂ : Site SETTAT

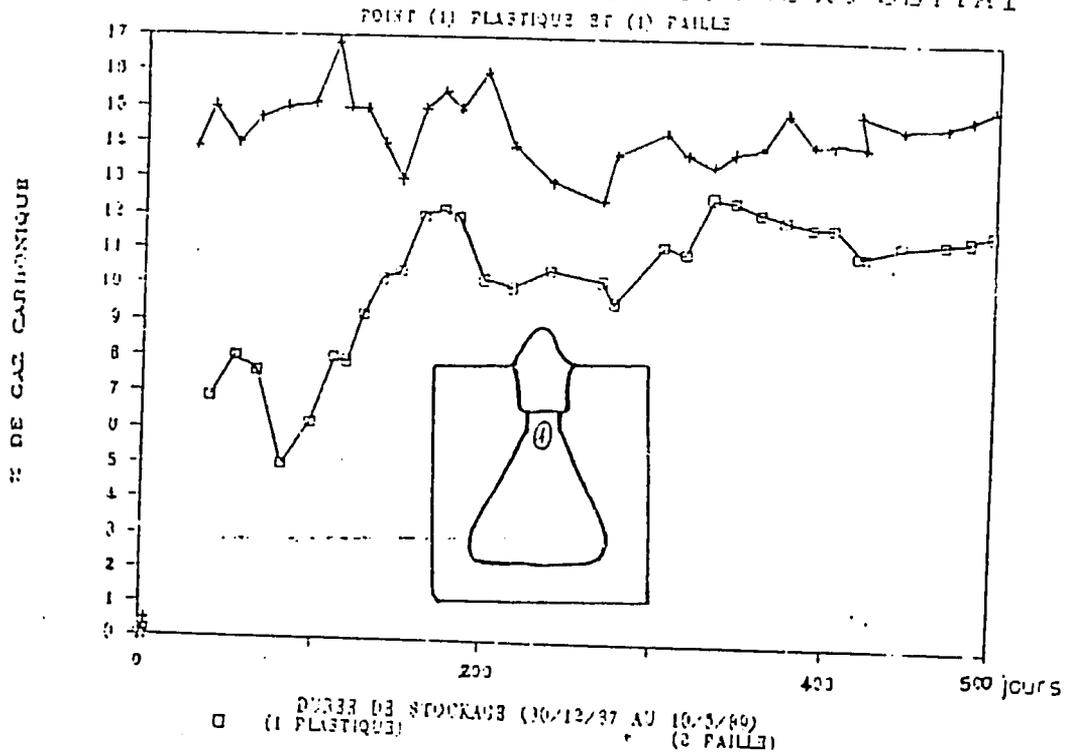
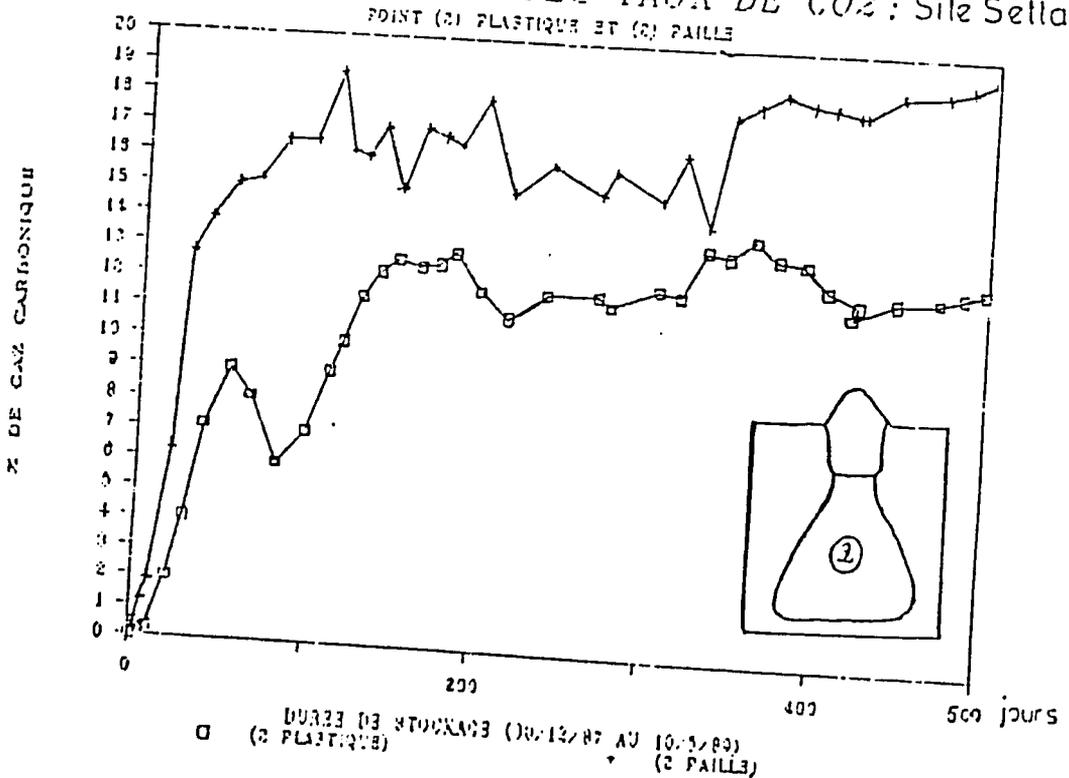


Fig.18 : COMPARAISON DES TAUX DE CO₂ : Site Settlat



IV - CONCLUSIONS

1. La technique de stockage souterrain, largement utilisée dans le milieu rural de pas mal de régions au Maroc, constitue une structure appropriée et peu coûteuse disposant de beaucoup d'atouts: exploitation du pouvoir isolant thermique naturel du sol, création d'un milieu quasi anaerobi améliorant ainsi les conditions de stockage.

2. Le revêtement plastique améliore de façon significative les conditions de stockage souterrain par rapport au revêtement paille, en effet pendant toute la période de stockage le grain emmagasiné dans les entrepôts revêtus de plastique se trouvait dans les zones de bonne conservation (diagrammes de conservation des céréales de Burgess) alors que celui des entrepôts revêtus de paille est passé, après quelques mois de son entreposage, à la zone de mauvaise conservation (intense activité biologique, développement d'insectes et de moisissures).

3. Le revêtement plastique réduit considérablement les taux de perte. Ces taux atteignent près de 20% avec le revêtement paille contre 3% avec le revêtement plastique après 16 mois de stockage.

REFERENCES

Bartali, H. and Tlemçani K. (1989). Environment Control in Rural Underground Storage Structures - Vol.4. Proceedings 11th International Congress of Agricultural Engineering Dublin, Ireland - Sept. 4-11.

El Ghali, A. (1989). Contribution à l'amélioration des conditions de stockage souterrain des céréales (blé) Chaouia. Mémoire de 3ème cycle Génie Rural - IAV Hassan II - Rabat - Maroc.

Tlemçani, K. (1989). Contribution à l'amélioration des conditions de stockage souterrain des céréales. Mémoire de 3ème cycle Génie Rural - IAV Hassan II - Rabat - Maroc.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette recherche a été possible grâce à des fonds octroyés par le programme de Science et Technologie de l'Agence Internationale pour le Développement (USAID Washington) dans le Projet Science Advisor Council DPE 5542-G-SS-7030-00 accordé à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Les auteurs saisissent cette occasion pour exprimer leur gratitude aux responsables de cette agence.