

CW0100571  
N220  
DID

1980/34

AD/MS  
REPUBLIQUE DU SENEGAL  
PRIMATURE

SECRETARIAT D'ETAT  
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

**ESSAIS D'AJUSTEMENT DU MOULIN JACOBSON ET PARAMETRES  
DE BASE POUR LE DECORTICAGE**

Par Aliou Diop

\*\*\*\*\*

Avril 1980

Centre National de Recherches Agronomiques  
de BAMBEY

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

(I. S. R. A. )

## 1 - INTRODUCTION

Ces dernières années, un bon nombre de machines permettant la transformation mécanique des céréales ont été introduites et commercialisées au Sénégal. Parmi celles-ci, on note principalement différents types de moulins à marteaux au niveau de presque toutes les communautés rurales. Il est vrai que cela répondait au besoin le plus pressant exprimé par les paysans lors de l'enquête sur la technologie post-récolte (Yaciuk, 1977).

En 1979, une vingtaine de décortiqueuses F.A.O. (Fonderies des Ateliers de l'Ouest) ont été vendues par NOSOCO, MATFORCE, pour la plupart dans la région de Diourbel. De même, plusieurs autres moulins ont été commercialisés à travers tout le pays.

Deux postes de transformation des céréales ont été installés en 1977 par le service de technologie post-récolte du CNRR de Bambey; l'un au village de Ndiamsil comprend un moulin à marteaux SKJOLD et une décortiqueuse FAO ; l'autre à Sonkorony est constitué d'un moulin à marteaux JACOBSON et d'une décortiqueuse HILL.

Aucune de ces machines n'a subi de véritables tests préalables sur les céréales locales (Souna III, maïs BDS ou Sorgho CE 90 par exemple). Dans bien des cas, elles ont été conçues et fabriquées en fonction d'autres variétés de céréales.

Le but de cette action de recherche consiste à effectuer les essais d'ajustement du moulin JACOBSON et de la décortiqueuse HILL actuellement à Sonkorony, afin de déterminer leurs conditions optimales d'utilisation sur le Souna III et le maïs BDS, en vue de leur intégration ultérieure dans un système de décorticage-mouture destiné à une petite ville.

En attendant d'avoir les résultats d'analyses chimiques de grains décortiqués mécaniquement qui doivent être effectués par l'I.T.A., ce rapport ne présente que les résultats du suivi du décorticage manuel fait sur un groupe de 10 femmes, de même que les essais d'ajustement du moulin JACOBSON.

## II - QUELQUES GENERALITES SUR LA MOUTURE AU MOULIN A MARTEAUX

La mouture au moulin à marteaux fait intervenir surtout des actions d'impacts entre les grains, les marteaux et les parois internes de la chambre de mouture. De ces impacts résulte la pulvérisation du grain en particules plus fines.

Ainsi, le rendement d'un moulin à marteaux dépend de plusieurs facteurs qui sont principalement : la vitesse de rotation des marteaux, la quantité de grains à l'intérieur, la surface du tamis et du diamètre de ses ouvertures, l'espacement entre les tamis et les marteaux et l'état de ces derniers.

Pour apprécier la qualité de la mouture, on se réfère souvent à la finesse du produit moulu, C'est ainsi que dans bon nombre de publications, les termes "particules grossières", "moyennes" et "fines" sont souvent rencontrés. Mais ces termes ne donnent en vérité qu'une appréciation subjective de la grosseur des particules obtenues à la fin de l'opération de mouture. L'ASAE (American Society of Agricultural Engineers) a établi le standard S-319 permettant de déterminer expérimentalement la grosseur moyenne de particules, donc la finesse de mouture (voir annexe 1).

Après l'appréciation de la qualité du produit, il est parfois nécessaire de connaître l'efficacité même du moulin. Elle se mesure à partir d'une combinaison de plusieurs paramètres qui sont : l'indice de mouture, la consommation spécifique de carburant, le rendement (en quantité moulue par heure) et le taux d'extraction.

L'indice de mouture est donné par le rapport :

$$i = \frac{S_f}{S_i}$$

avec :            i    = indice de mouture  
                   S<sub>i</sub> = Surface totale initiale du produit (avant mouture)  
                   S<sub>f</sub> = Surface totale finale du produit (après la mouture),

L'analyse granulométrique par le standard S-319 permet de trouver le diamètre géométrique moyen des particules, donc de calculer les valeurs de S<sub>f</sub> et S<sub>i</sub> (voir Annexe 2).

La consommation spécifique est la quantité d'énergie consommée par unité de surface nouvellement formée. Dans certaines industries de transformation des céréales, elle est parfois exprimée par la quantité d'énergie nécessaire pour transformer une tonne de grains, Dans cette étude, elle est calculée à partir du rapport de la quantité de carburant consommée et de la surface nouvellement formée :

$$e = \frac{\Delta Q}{\Delta S} = \frac{\Delta Q}{S_f - S_i}$$

### III - MATERIELS ET METHODES

#### 31 - Décorticage manuel

Afin d'obtenir des échantillons permettant la comparaison avec le décorticage mécanique, il a été décidé de suivre les opérations traditionnelles de décorticage du mil et du maïs telles qu'elles sont faites chaque jour par les paysannes. Le suivi de ces opérations manuelles permettent également de déterminer quelques paramètres importants afin de mieux connaître le décorticage, Deux de ces paramètres sont le taux de décorticage et le rendement horaire,

Le taux de décortilage mesure la proportion du grain qui est enlevée (en % base sèche), ou en d'autres termes le Son. Quant au rendement horaire, c'est la quantité de grain décortiquée par unité de temps. Il permet d'apprécier le rythme moyen de travail des femmes compte tenu de toutes les opérations unitaires (pilage, vannage, ressuyage...).

Un groupe de 10 femmes a été choisi au hasard dans le village de Sonkorong et reparti en 2 équipes afin d'effectuer le décortilage d'échantillons de 4 kg de grain au mortier. La grosseur de l'échantillon de grain a été fixée à 4 kg compte tenu du fait que c'est la quantité transformée chaque jour par une famille moyenne (Yaciuk, 1977).

Ces essais ont porté aussi bien sur du mil (Souma III) que sur du maïs (BDS) de la récolte de l'année 1978. Ils ont été suivis par une équipe de 2 observateurs munis d'une balance et d'un chronomètre pour relever les données suivantes :

- la quantité d'eau utilisée
- la durée totale de l'opération (incluant toutes les opérations unitaires)
- le poids du grain avant et après le vannage
- le poids du son.

De plus, à la fin de chaque opération, un échantillon de son et de grains décortiqués est prélevé pour des fins d'analyse chimique (cellulose, protéine, gras, cendre),

Les paramètres qui ont été déterminés sont ainsi : la teneur en eau des grains décortiqués, le taux de décortilage et le rendement horaire.

### 32 - Mouture mécanique

Actuellement, l'opération de mouture des céréales est, dans une large mesure, mécanisée. En effet, dans le plus petit village, il est maintenant assez fréquent de trouver un petit moulin.

L'opération de décortilage étant encore manuelle (donc s'effectuant par la voie humide), les grains qui sont amenés dans tous les postes de mouture ont une forte teneur en eau (environ 28 %, base humide), tandis que le grain sec avant décortilage a une teneur en eau d'environ 11 % (B.H.). Il nous parut donc nécessaire de voir l'effet de ce fort taux d'humidité des grains sur l'ajustement du moulin, de même que sur son rendement et sur la qualité du produit final. C'est ainsi que le dispositif expérimental, dont la description suit, a été fait aussi bien sur du grain sec (11 % B.H.) que sur du grain humide (28 % B.H.).

Le dispositif utilisé est une analyse factorielle de 3 facteurs qui sont : la vitesse de rotation des marteaux, le débit d'admission du grain dans la chambre de mouture et la grosseur des mailles du tamis utilisé. Il a été possible de faire varier le débit d'admission en agissant sur la hauteur de l'ouverture d'admission des grains. Cette ouverture est réglable à l'aide d'une manette située à l'intérieur de la chambre.

Au départ, il était prévu 3 niveaux pour chacun des 3 facteurs. Mais par la suite, il a été impossible d'obtenir le tamis dont la grosseur des mailles est de 0,7 mm. C'est ainsi qu'il y eut 3 niveaux pour le facteur vitesse : 2.712 tours/minutes, 2.348 tpm et 1.918 tpm ; 2 types de tamis ont été utilisés : tamis 3 mailles de 1 mm et à mailles de 1,5 mm ; et enfin la hauteur d'admission comportait 3 niveaux : 7 mm, 12 mm et 18 mm dans le cas du mil et 12 mm, 18 mm et 23 mm pour le maïs. Chaque traitement comportait 2 répétitions, excepté dans le cas du maïs humide où il y eut 3 répétitions. La séquence des différents traitements répétés s'est faite de façon complètement aléatoire.

La quantité de grain transformée par traitement dans le cas de la mouture humide a varié de 6 à 11 kg dépendamment du poids de céréale décortiqué par une équipe de 5 femmes. Cette quantité transformée a été de 10 kg pour la mouture à sec.

Pour chaque traitement, le rendement horaire, l'indice de mouture et la consommation spécifique de carburant ont été déterminés. Pour obtenir la consommation de carburant, un tube de coulée gradué a été installé sur le moteur LISTER 16/2 de 16 chevaux à 850 tpm. Ce montage permettait de lire directement la consommation de carburant à partir des variations du niveau de liquide dans le tube.

#### IV - RESULTATS ET DISCUSSION

##### 41 - De corti cage manuel

Le suivi des opérations de décortilage manuel a donné les résultats présentés dans les tableaux 41 pour le souna et 42 pour le maïs. Toutes les valeurs sont des moyennes de 5 répétitions.

A partir de chacun de ces tableaux, la moyenne et l'écart-type sont calculés pour chacune des 6 variables suivantes : le poids d'eau ajoutée, la durée de l'opération, la teneur en eau des grains (B.H.), leur diamètre géométrique moyen, le taux de décortilage (en % base sèche) et le rendement horaire. De plus, un intervalle de confiance a été calculé pour chacune de ces variables, aussi bien pour le Souna que pour le Maïs (tableau 43.).

Les résultats les plus intéressants qu'on peut déjà noter montrent que pour la population étudiée (c'est-à-dire le village de Sonkorong), le taux de décortilage manuel se situe entre 20,9 % et 24,7 % avec une moyenne de 22,8 % pour le Souna et entre 17,7 % et 21,7 % avec une moyenne de 19,7 % dans le cas du maïs.

De même, les rendements au décortilage manuel se situent entre 7,1 kg/h et 8,9 kg/h avec une moyenne de 8,0 kg/h pour le mil souna et entre 6,7 et 8,3 kg/h avec une moyenne de 7,5 kg/h pour le maïs. Il y a lieu de rappeler que les rendements portent sur 4 kg de grains transformés ; et qu'une augmentation de la fournée de grain doit certainement s'accompagner d'une diminution de rendement.

A ce niveau, il devient intéressant de voir les différences qui peuvent exister entre le maïs et le souna. Il a été possible de voir (tableau 44.) que le taux de décorticage moyen pour le souna (22,8 %) est significativement différent de celui du maïs (19,7 %) au seuil de 0,05 %. En d'autres termes cela signifierait qu'une plus grande proportion du grain est enlevée dans le cas du souna.

Par contre les rendements obtenus pour les 2 types de céréales ne présentent pas de différence significative au même seuil de 0,05 %. Donc ces 2 affirmations précédentes tendent à confirmer le fait que le maïs soit plus difficile à décortiquer que le souna ; ce qui est souvent soutenu par les paysannes.

#### 42 - Mouture mécanique

Les tableaux 45. à 48. présentent les résultats du dispositif factoriel vitesse x tamis x hauteur d'admission (3 x 2 x 3). Il y apparaît de jà assez nettement que plus la hauteur d'admission est grande, plus les rendements sont élevés et moins est la consommation spécifique d'énergie.

Autrement dit, à prime abord, il semble préférable de fonctionner à la hauteur d'admission la plus élevée. Pour une meilleure interprétation, les résultats des tableaux 45, à 48, sont portés en graphiques (figures 41. à 44.) et analysés statistiquement.

L'analyse granulométrique de 10 échantillons de farine et de semoule a donné des grosseurs moyennes de particules de 0,35 mm (avec un coefficient de variation de 13 %) et de 0,70 mm (avec C.V. = 1 %) pour la farine et la semoule respectivement. Compte tenu de ces données de base, les figures 41. et 44. ne concernent que le tamis de 1,5 mm qui peut être destiné à faire de la semoule. Les mailles du tamis n°1 sont par contre trop grosses pour la farine,

Les figures montrent que dans tous les cas la 2e et la 3e vitesses (2.348 et 2.712 tpm) semblent donner les consommations d'énergie les plus faibles aux rendements les plus élevés. Quant à la première vitesse (1.918 tpm), elle est définitivement à écarter, car elle donne les résultats les moins bons tant du point de vue rendement que consommation d'énergie.

Les figures 41 b et 43 b montrent que pour le grain sec (maïs ou souna), les rendements ont tendance à augmenter lorsque l'on passe de la 2e hauteur d'admission (réglage débit) à la 3e. Pour du grain humide par contre, les rendements n'augmentent que très légèrement ou même tendent à décroître surtout à faible vitesse (figures 42 b et 44 b).

Quant à la consommation spécifique de carburant, elle demeure pratiquement constante entre la 2e et la 3e hauteur d'admission (figures 41 a à 44 a).

Pour mieux confirmer toutes les affirmations précédentes il importe de procéder à l'analyse statistique du dispositif factoriel. L'analyse de variance des trois facteurs, de même que leurs interactions a été faite. Pour les facteurs dont les niveaux présentent des différences significatives, on a procédé à l'évaluation de ces différences par intervalles de confiance avec la méthode de Tukey. Le seuil de signification pour toute cette analyse est de 5 %. Les principaux résultats sont condensés dans les tableaux 4.9. et 4.10.

#### 4.2.1 - Mouture du maïs

##### 4.2.1.1 - Effet de la vitesse

Du point de vue rendement et consommation spécifique de carburant, il n'y a pas de différence significative entre la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> vitesse (tableau 4.9). Par contre les rendements obtenus avec ces 2 vitesses sont significativement supérieurs à ceux obtenus avec la 1<sup>re</sup> vitesse ; tandis que les consommations spécifiques avec la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> vitesse sont inférieures à celle avec la 1<sup>re</sup>.

Ainsi, pour du maïs sec, la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> vitesses donnent des rendements respectivement supérieurs de 51,3 à 109,5 kg/h et de 51,6 à 109,8 à ceux obtenus avec la 1<sup>re</sup> vitesse.

Pour du maïs humide, les différences diminuent presque de moitié. La 2<sup>e</sup> vitesse donne des rendements supérieurs à ceux de la 1<sup>re</sup> vitesse de 26,7 à 59,3 kg/h ; tandis qu'avec la 3<sup>e</sup> vitesse les rendements sont supérieurs de 22,2 à 54,9 kg/h. Du tableau 4.7 de voir les intervalles de confiance des différences entre les moyennes de consommation spécifique.

##### 4.2.1.2 - Effet de la hauteur d'admission

Comme on l'avait précédemment remarqué en observant les figures 4.2b et 4.3 b, les 3 hauteurs d'admission diffèrent significativement, la 3<sup>e</sup> donnant les rendements les plus élevés. Quant à la consommation spécifique, il n'y a pas de différence significative entre la 2<sup>e</sup> (18 mm) et la 3<sup>e</sup> hauteur d'admission (23 mm). Ces 2 dernières donnent toutefois une consommation spécifique inférieure à la 1<sup>re</sup> hauteur (12 mm), aussi bien dans le cas du maïs sec que dans le cas du maïs humide.

##### 4.2.1.3 - Effet du tamis

En général le tamis n°2 (mailles de 1,5 mm) donne des rendements significativement supérieurs à ceux obtenus avec le tamis n°1 (mailles de 1,0 mm) de 75,8 kg/h à 115,0 kg/h dans le cas du maïs sec et 22,2 à 48,7 kg/h dans le cas du maïs humide. Mais la consommation spécifique est inférieure dans le cas du tamis n°2 avec du maïs sec ; alors qu'elle n'est tout juste pas significative avec le maïs humide.

Ces résultats ne sont nullement surprenants compte tenu du fait qu'avec le tamis n°1, les particules obtenues sont plus fines qu'avec le tamis n°2.

## 422 - Mouture du souna

### 4221 - Effet de la vitesse de rondement

Pour du souna sec, les différences/entre les moyennes des 3 niveaux de vitesse ne sont pas significatives ; tandis que la consommation spécifique est moins élevée dans le cas de la 2<sup>e</sup> vitesse. Pour du grain humide, la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> vitesses qui ne présentent pas de différence significative donneraient de meilleurs résultats quant aux rendements.

En définitive, l'effet de la vitesse n'est vraiment net que pour la consommation spécifique dans le cas du souna sec, où la 2<sup>e</sup> vitesse demande des consommations inférieures de 0,20 à 0,36 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> à celles de la 1<sup>e</sup> et de 0,03 à 0,17 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> à celles de la 3<sup>e</sup> vitesse.

### 4222 - Effet de la hauteur d'admission

Pour du sauna sec, la 3<sup>e</sup> hauteur (18 mm) donne le plus fort rendement, à la consommation spécifique la plus faible. Avec cette hauteur de 18 mm, les rendements sont supérieurs à ceux de la 1<sup>e</sup> hauteur (7 mm) de 182,2 à 284,8 kg/h et de 35,4 à 138,0 kg/h de la 2<sup>e</sup> hauteur d'admission.

A la 3<sup>e</sup> hauteur (18 mm), la consommation spécifique est inférieure de 0,25 à 0,42 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> que celle à la 1<sup>e</sup> et de 0,132 à 0,16 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> que celle à la 2<sup>e</sup> hauteur d'admission. Toutefois pour du souna humide, il conviendrait de réduire cette hauteur à 12 mm (la 2<sup>e</sup>) pour éviter les risques de bourrages dus à l'humidité du grain, même s'il y a aucune différence significative entre la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> hauteur.

### 4223 - Effet du tamis

Comme on l'a déjà remarqué dans le cas du maïs, le tamis n°2 (mailles de 1,5 mm) donne les rendements les plus élevés avec la consommation spécifique la plus faible.

En principe, le choix de l'un ou l'autre des deux types de tamis ne sera guidé que par la granulométrie recherchée, le tamis n°2 donnant un sous-produit qu'on peut assimiler à de la semoule et le tamis n°1, un sous-produit dont la grosseur des particules se situe entre celle de la farine et celle de la semoule,

## 423 - Conclusion

Compte tenu de tout ce qui précède, les meilleurs ajustements quant à la vitesse, au type de tamis et à la hauteur d'admission (qui règle le débit) sont les suivants :

	! Maïs ! sec	Maïs humide	Souna sec	Souna humide
Vitesse	3e	3e	2e	3e
Type de tarnis	2e	2e	2e	2e
Hauteur à l'admission	3e	3e	3e	2e

Une vitesse de rotation plus grande (3500 tpm par exemple) pourrait être testée, excepté dans le cas du souna sec, afin de voir si cela ne contribuerait pas à augmenter l'efficacité du moulin du point de vue rendement et consommation de carburant.

Cela nécessiterait certes le changement de la poulie du moulin (diamètre nominal de 130 mm) et du type de transmission (courroie plate au lieu de courroie trapézoïdale). En effet, la poulie du moulin est déjà trop petite et celle du moteur, qui donne la vitesse de 2712 tpm, a un diamètre nominal de 410 mm, ce qui est déjà gros pour une poulie à gorge.

Pour obtenir une vitesse supérieure à 2712 tpm (soit 3500 tpm), la meilleure solution consisterait donc à utiliser le volant du moteur Lister avec une transmission par courroie plate,

Enfin pour la hauteur d'admission, le tableau précédent montre qu'il est plus efficace d'utiliser la 3e (23 et 18 mm) pour le maïs et pour le souna sec. Pour le souna humide, il conviendrait de réduire cette hauteur à 12 mm (la 2e hauteur) pour éviter les risques de bourrages dus à l'humidité du grain, même si dans ce cas il n'y a pas de différence significative entre la 2e et la 3e hauteurs. D'autre part là où la 3e hauteur est la plus efficace (maïs et souna sec), on ne peut tester des hauteurs d'admission plus grandes au risque de créer des bourrages dans la chambre de mouture entraînant des blocages du moulin et l'étouffement du moteur.

## V - CONCLUSION

En réalisant ces essais, un des objectifs principaux était d'établir une méthodologie d'ajustement de machines importées qui puisse être adoptée et appliquée systématiquement aux matériels de transformation des céréales avant leur introduction en milieu paysan, il est entendu que pour être pleinement efficace, une telle méthodologie doit s'appuyer sur la connaissance des produits et des méthodes traditionnelles de transformation des céréales et nous amener à déceler toutes les contraintes liées aux préférences des utilisateurs, aux produits et aux machines.

En effet, l'erreur fréquemment commise consiste à vouloir appliquer systématiquement dans un pays, les résultats d'études acquis ailleurs. Si cela est faisable dans certains domaines, dans le cas de la transformation des céréales, il en est tout autrement ; car on ne peut ignorer l'importance des habitudes alimentaires.

A ce titre, l'étude du décorticage manuel trouve bien sa raison d'être. Elle a par exemple permis de montrer que le taux de décorticage moyen est de 22,8 % (base sèche) pour le souna et 19,7 % (B.S.) pour le maïs. La connaissance de ces niveaux de décorticage est primordiale si l'on veut utiliser les décortiqueuses de façon efficace tout en produisant du grain aux goûts des utilisateurs.

De même il importe de connaître les quantités transformées quotidiennement et les rendements obtenus par les méthodes manuelles si l'on veut réaliser ultérieurement la conception de matériels adaptés aux milieux paysans.

Il s'agira ensuite d'ajuster les machines aux besoins des utilisateurs et non essayer de faire l'inverse.

Enfin, quant à la troisième contrainte qui est le produit lui-même, la connaissance de ses différentes propriétés physico-chimiques est aussi parfois négligée. Pourtant c'est l'aptitude technologique du produit qui détermine l'efficacité tant quantitative que qualitative de sa transformation en farine après décorticage ; et qui fait que le produit final est accepté ou non. Ces caractéristiques sont très importantes surtout pour le décorticage. Ainsi, il est à recommander de mener une étude comparative sur les caractéristiques physico-chimiques liées à l'aptitude technologique de différentes variétés de céréales actuellement vulgarisées, afin de voir lesquelles se prêtent le mieux au décorticage et à la mouture.

Tableau 4.1. : Décorticage manuel du sauna  
(Poids initial de 4 kg - valeurs moyennes De 5 répétitions)

N° Essai	Poids de l'eau ajoutée (g)	Durée de l'opération (minutes)	Teneur eau des grains (% B.H.)	Diamètre géom. moyen (mm)	Taux de décorticage (% B.S.)	Rendement (kg/h)
1	600	32,9	26,7	1,32	25,0	7,31
2	72 0	37,9	28,9	1,36	27,0	6,36
3	72 0	35,6	27,9	1,35	20,0	6,77
4	680	31,6	29,2	1,36	25,0	7,67
5	760	37,2	28,9	1,34	25,0	6,51
6	700	25,3	28,7	1,35	21,0	9,55
7	6 4 0	28,3	29,0	1,35	23,0	8,51
8	600	24,2	27,7	1,35	21,0	10,08
9	660	28,4	27,5	1,34	17,3	8,71
10	200	28,7	31,2	1,37	20,0	8,36

A

Tableau 4.2 : Décorticage manuel du maïs  
(Poids initial de l'échantillon : 4 kg Moyennes de 5 répétitions).

Numéro de l'essai	Poids de l'eau ajoutée (g)	Durée de l'opération (minutes)	Teneur en eau des grains (% B.H.)	Diamètre géom. moyen	Taux de décorticage (% B.S.)	Rendement (kg/h)
1	70	26,7	24,3	3,8	19,9	9,1
2	67	33,0	22,4	4,0	19,4	7,4
3	725	42,1	22,6	3,8	18,5	5,7
4	725	38,0	25,7	3,9	15,7	6,6
5	625	26,3	24,5	4,3	16,9	9,2
6	70	35,9	24,1	4,0	23,2	7,0
7	70	35,3	22,6	4,2	19,4	6,8
8	73	35,9	22,8	4,1	25,5	6,7
9	60	29,6	22,5	4,2	13,6	8,2
10	74	28,7	22,6	3,9	20,0	8,4

Tableau 4.3. : Différentes statistiques sur le décortilage manuel du souna et du maïs

a/ - Souna

	Poids de l'eau ajoutée (g)	Durée de l'opération (mm)	Teneur en eau des grains (% B.H.)	Taux de décortilage (% B.S.)	Rendement (kg/ha)
Moyenne	688	31,0	28,6	22,8	8,0
Ecart-type	20,7	1,5	0,4	0,008	0,4
Limites de confiance*	641,2	27,6	27,7	20,7	7,1
	734,8	34,5	29,4	24,7	8,9

b/ - Maïs

Moyenne	692	33,2	23,4	19,7	7,5
Ecart-type	14,8	1,65	0,36	0,90	0,37
Limites de confiance*	658,9	29,4	22,6	17,7	6,7
	725,7	36,9	24,2	21,7	8,3

\* au seuil de 0,05.

Tableau 4.4. : Comparaison entre le décortilage manuel du souna et celui du maïs

	Poids de maïs ajoutée	Durée de l'opération	Rendement en eau des grains	Taux de décortilage	Rendement
Valeur t de student	- 0,16	- 1,4	9,7**	2,53*	0,89
Degrés de liberté	18	18	18	18	18

\*\* : différence significative au seuil de 1 %

\* : différence significative au seuil de 5 %.

Tableau 4.5. : Mouture mécanique du sauna humide (moyenne de 2 répétitions)

Vitesse (tpm)	Ouvertures du tamis (mm)	Hauteur d'admission (mm)	Indice de mouture	Diamètre géom moyen final (mm)	Rendement (kg/h)	Consommation spécifique (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
1918	1,0	7	3,1	0,45	114,0	0,91
		12	3,2	0,42	306,6	0,38
		18	3,1	0,44	141,3	0,91
1918	1,5	7	2,9	0,47	89,1	1,04
		12	2,5	0,54	253,8	0,50
		18	2,6	0,52	271,8	0,46
2348	1,0	7	3,6	0,51	168,6	0,82
		12	2,7	0,65	152	1,36
		18	3,0	0,59	179,2	1,07
2348	1,5	7	3,5	0,51	255,0	0,35
		12	3,1	0,57	391,1	0,19
		18	3,6	0,52	367,5	0,33
2712	1,0	7	3,8	0,37	235,9	0,65
		12	3,3	0,38	232,8	0,60
		18	3,3	0,41	228,0	0,69
2712	1,5	7	3,1	0,43	81,9	0,83
		12	2,8	0,48	291,6	0,51
		18	3,0	0,47	382,2	0,36

Tableau 4.6 : Mouture mécanique du souna sec (Moyenne de 2 répétitions)

Vitesse (tpm)	Ouvertures tamis (mm)	Hauteur à l'admission (mm)	Indice de mouture	Diamètre géom. moyen final (mm)	Rendement (kg/h)	Consommation spécif. (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
1918	1,0	7	2,5	0,66	199,0	0,93
		12	2,6	0,63	337,5	0,81
		18	3,4	0,50	239,3	0,65
1918	1,5	7	2,7	0,65	224,5	0,95
		12	2,8	0,59	367,2	0,83
		18	2,3	0,70	487,7	0,43
2348	1,0	7	3,3	0,49	160,9	0,68
		12	3,3	0,51	257,3	0,51
		18	3,4	0,48	391,0	0,39
2348	1,5	7	3,6	0,48	237,7	0,41
		12	3,3	0,49	368,1	0,29
		18	3,4	0,48	554,6	0,18
2712	1,0	7	3,4	0,47	127,6	0,94
		12	3,5	0,48	328,4	0,58
		18	3,3	0,50	332,7	0,43
2712	1,5	7	3,5	0,48	248,0	0,44
		12	3,3	0,51	416,0	0,31
		18	3,5	0,46	588,9	0,26

Tableau 4.7. : Mouture mécanique du maïs humide (moyenne de 3 répétitions)

Vitesse (tpm)	ouverture des tamis (mm)	Hauteur à l'admission (mm)	Indice de mouture	Diamètre géom. moyen final (mm)	Rendement (kg/h)	Consommation spécif. (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
1918	1,0	12	8,5	0,48	39,0	2,44
		18	8,6	0,47	82,2	1,47
		23	9,2	0,45	111,6	1,48
1918	1,5	12	7,2	0,60	58,8	2,68
		18	7,4	0,55	115,6	1,70
		23	7,3	0,55	108,4	1,51
2348	1,0	12	6,5	0,66	65,9	2,20
		18	7,1	0,61	100,4	1,54
		23	6,8	0,62	126,6	1,39
2348	1,5	12	5,3	0,78	106,5	1,57
		18	5,7	0,76	167,2	1,05
		23	5,7	0,77	207,1	1,12
2712	1,0	12	10,3	0,42	51,0	2,00
		18	8,7	0,48	128,2	1,41
		23	9,2	0,44	153,8	1,25
2712	1,5	12	8,0	0,51	79,4	1,33
		18	7,0	0,58	149,6	1,11
		23	7,4	0,54	185,0	1,14

Tableau 4.8. : Mouture mécanique du maïs sec (moyenne de 2 répétitions)

Vitesses (tpm)	ouvertures tamis (mm)	Hauteur à l'admission (mm)	Indice de mouture (t)	Diamètre géom. moyen final (mm)	Rendement (kg/h)	Consommation spécif. (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
918	1,0	12	4,3	0,62	49,5	2,42
		18	4,3	0,60	130,2	1,10
		23	4,2	0,63	196,8	0,97
1918	1,5	12	3,7	0,69	83,1	1,57
		18	3,4	0,70	262,2	0,66
		23	4,2	0,65	373,5	0,47
2343	1,0	12	3,7	0,69	83,1	1,57
		18	6,2	0,60	252,0	0,63
		23	5,8	0,67	320,4	0,65
2344	1,5	12	6,9	0,62	162,6	0,65
		18	6,2	0,66	277,2	0,41
		23	6,1	0,70	455,4	0,33
2712	1,0	12	4,3	0,55	64,5	1,76
		18	3,6	0,55	249,3	0,57
		23	5,8	0,50	324	0,52
2712	1,5	12	4,5	0,59	214,5	0,65
		18	3,6	0,65	300,0	0,48
		23	4,4	0,61	427,0	0,38

Tableau 4.9. : Comparaison des moyennes de rendement et de consommation spécifique pour les niveaux des 3 facteurs (vitesse, tamis, hauteur), au seuil de 5 %.

Source de variation	MAIS SEC (11 % B.H.)		MAIS HUMIDE (28 % B.H.)	
	Différences entre les moyennes de rendement en kg/h	Différences entre les moyennes de consommation spécifique	Différences entre les moyennes de rendement	Différences entre les moyennes de consommation spécifique
Vitesse	$51,3 \llcorner M_{2..} - M_{1..} \llcorner 109,5$	$0,46 \llcorner M_{1..} - M_{2..} \llcorner 0,74$	$26,7 \llcorner M_{2..} - M_{1..} \llcorner 59,3$	$0,14 \llcorner M_{1..} - M_{2..} \llcorner 0,67$
	$51,6 \llcorner M_{3..} - M_{1..} \llcorner 109,8$	$0,34 \llcorner M_{1..} - M_{3..} \llcorner 0,62$	$-11,9 \llcorner M_{2..} - M_{3..} \llcorner 20,8$	$0,25 \llcorner M_{1..} - M_{3..} \llcorner 0,78$
	$-28,9 \llcorner M_{3..} - M_{2..} \llcorner 29,4$	$-0,02 \llcorner M_{3..} - M_{2..} \llcorner 0,26$	$22,2 \llcorner M_{3..} - M_{1..} \llcorner 54,9$	$-0,16 \llcorner M_{2..} - M_{3..} \llcorner 0,38$
	$\Rightarrow \underline{M_{3..}, M_{2..}, M_{1..}}$	$M_{1..}, \underline{M_{3..}, M_{2..}}$	$\underline{M_{2..}, M_{3..}}, M_{1..}$	$M_{1..}, \underline{M_{2..}, M_{3..}}$
ouvertures Tamis	$75,8 \llcorner M_{..2} - M_{..1} \llcorner 115,0$	$0,35 \llcorner M_{..1} - M_{..2} \llcorner 0,53$	$22,2 \llcorner M_{..2} - M_{..1} \llcorner 48,7$	$-0,001 \llcorner M_{..1} - M_{..2} \llcorner 0,44$
hauteur à l'admission	$206,4 \llcorner M_{..3} - M_{..1} \llcorner 264,6$	$0,55 \llcorner M_{..1} - M_{..2} \llcorner 0,83$	$65,7 \llcorner M_{..3} - M_{..1} \llcorner 98,3$	$0,39 \llcorner M_{..1} - M_{..2} \llcorner 0,92$
	$75,3 \llcorner M_{..3} - M_{..2} \llcorner 133,5$	$0,64 \llcorner M_{..1} - M_{..3} \llcorner 0,92$	$8,6 \llcorner M_{..3} - M_{..2} \llcorner 41,2$	$0,46 \llcorner M_{..1} - M_{..3} \llcorner 0,99$
	$102,0 \llcorner M_{..2} - M_{..1} \llcorner 160,2$	$-0,05 \llcorner M_{..2} - M_{..3} \llcorner 0,23$	$40,8 \llcorner M_{..2} - M_{..1} \llcorner 73,4$	$-0,20 \llcorner M_{..2} - M_{..3} \llcorner 0,33$
	$M_{..3}, M_{..2}, M_{..1}$	$M_{..1}, \underline{M_{..2}, M_{..3}}$	$M_{..3}, M_{..2}, M_{..1}$	$M_{..1}, \underline{M_{..2}, M_{..3}}$

N.B. : Les moyennes reliées par le même trait ne sont pas significativement différentes.

**Tableau 4.10.** : Comparaison des moyennes de rendement et de consommation spécifique pour les niveaux des 3 facteurs (vitesse, tamis, hauteur), au seuil de 5%.

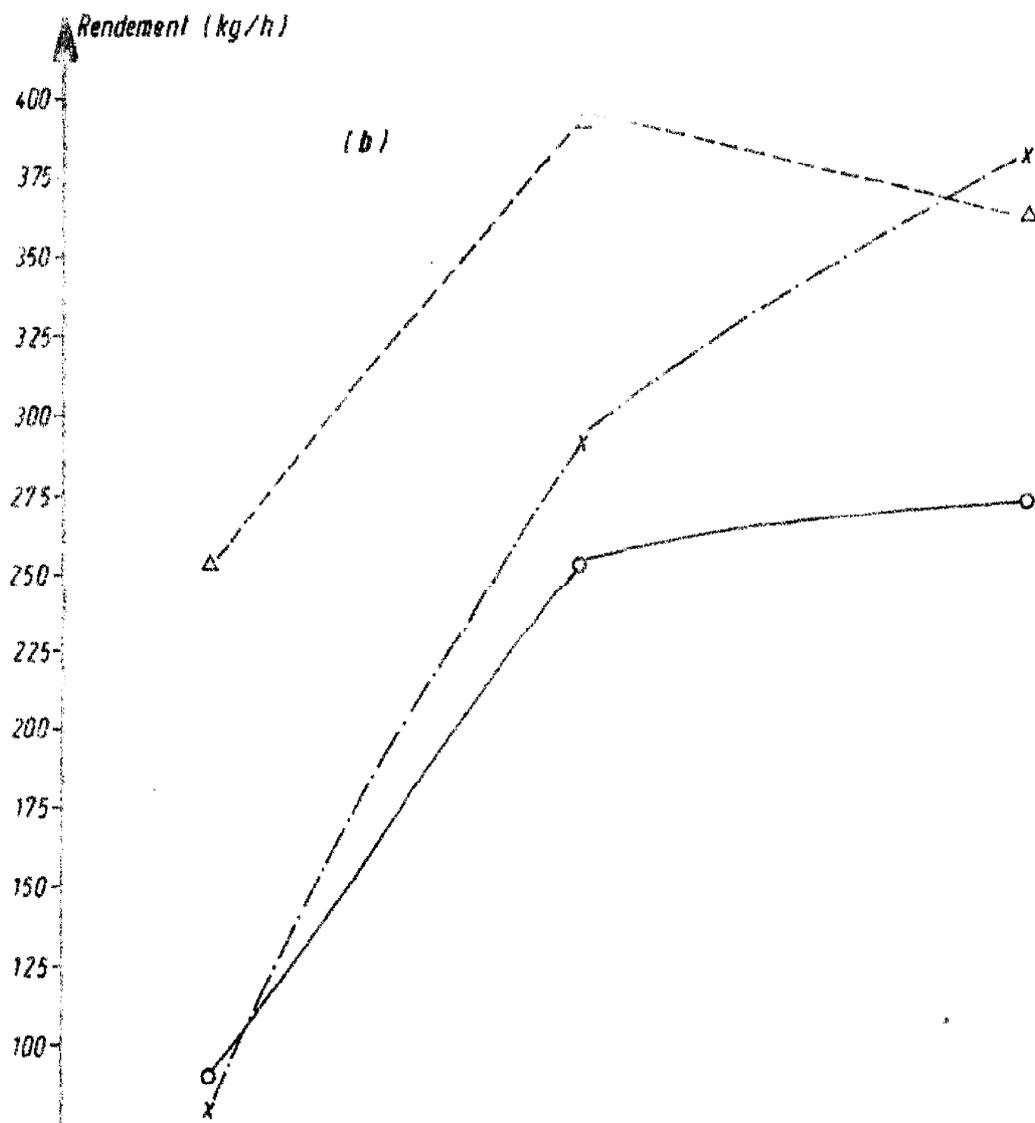
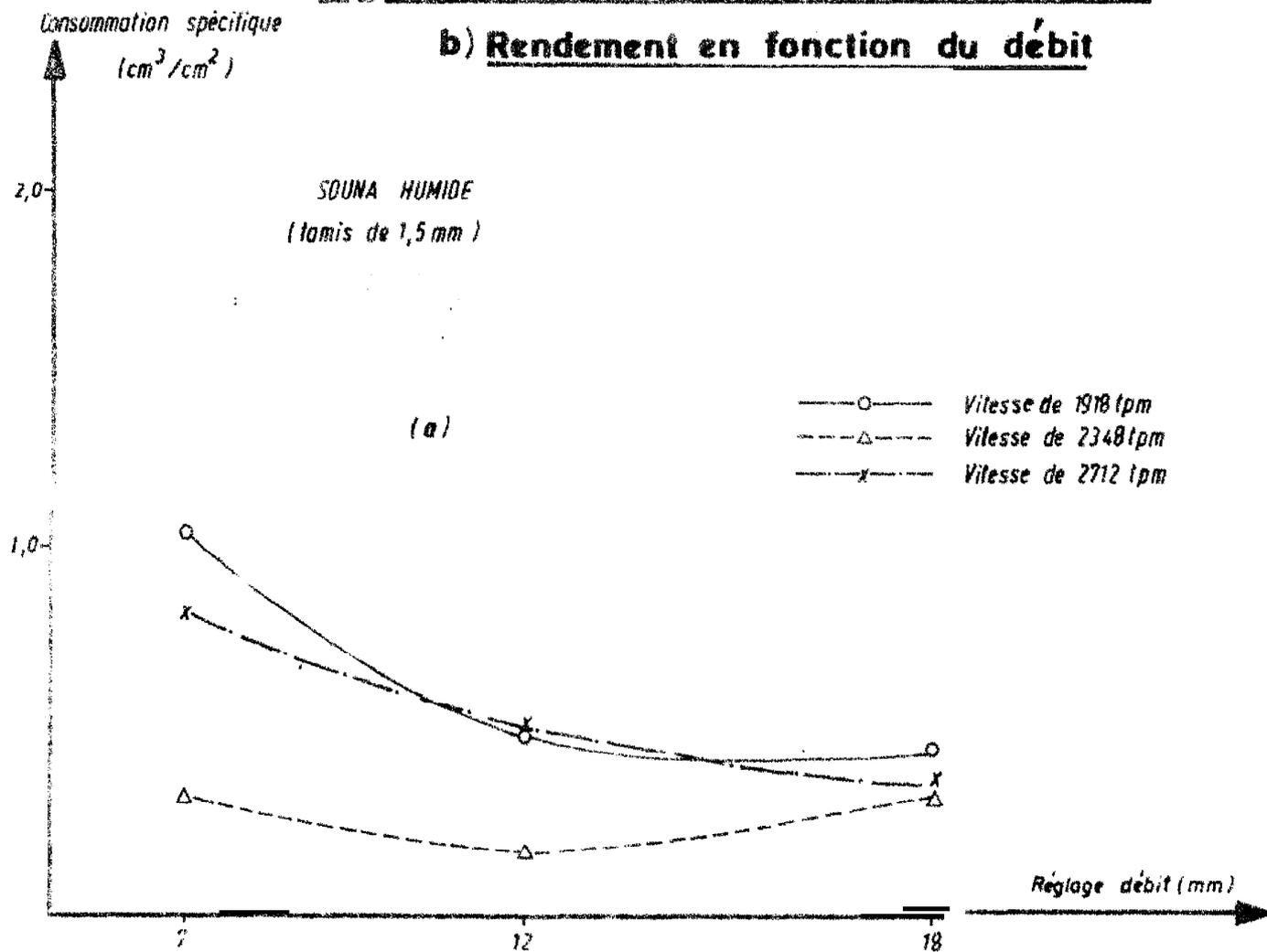
Source de variation	MIL SOUNA SEC		MIL SOUNA HUMIDE	
	Différences entre les moyennes de rendement (kg/h)	Différences entre les moyennes de consommation spécifique (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Différences entre les moyennes de rendement (kg/h)	Différences entre les moyennes de consommation spécifique (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Vitesse	$M_3 \dots M_2 \dots M_1$	$0,20 \leq M_1 - M_2 \leq 0,36^*$ $0,11 \leq M_1 - M_3 \leq 0,27$ $0,03 \leq M_3 - M_2 \leq 0,17$ $M_1 \dots M_3 \dots M_2$	$6,8 \leq M_2 - M_1 \leq 105,4$ $-22,5 \leq M_2 - M_3 \leq 76,1$ $-20,0 \leq M_2 - M_1 \leq 78,6$ $M_2 \dots M_3 \dots M_1$	$M_1 \dots M_2 \dots M_3$
Ouvertures Tamis	$90,2 \leq M_2 - M_1 \leq 159,2$	$0,20 \leq M_1 - M_2 \leq 0,31$	$47,4 \leq M_2 - M_1 \leq 113,6$	$0,21 \leq M_1 - M_2 \leq 0,43$
Hauteur à l'admission	$182,2 \leq M_3 - M_1 \leq 284,8$ $35,4 \leq M_3 - M_2 \leq 138,0$ $95,5 \leq M_2 - M_1 \leq 198,1$ $M_3, M_2, M_1$	$0,17 \leq M_1 - M_2 \leq 0,33$ $0,25 \leq M_1 - M_3 \leq 0,42$ $0,02 \leq M_2 - M_3 \leq 0,16$ $M_1, M_2, M_3$	$81,45 \leq M_2 - M_1 \leq 180,0$ $-39,6 \leq M_2 - M_3 \leq 59,0$ $71,7 \leq M_3 - M_1 \leq \dots$ $M_2, M_3, M_1$	$0,01 \leq M_1 - M_2 \leq 0,34$ $-0,03 \leq M_1 - M_3 \leq 0,30$ $0, \leq M_3 - M_1 \leq 0,2$ $M_1, M_3, M_2$

**N. B.** : Les moyennes reliées par le même trait ne sont pas significativement différentes.

\* Tous les intervalles de confiance au seuil de 5 %.

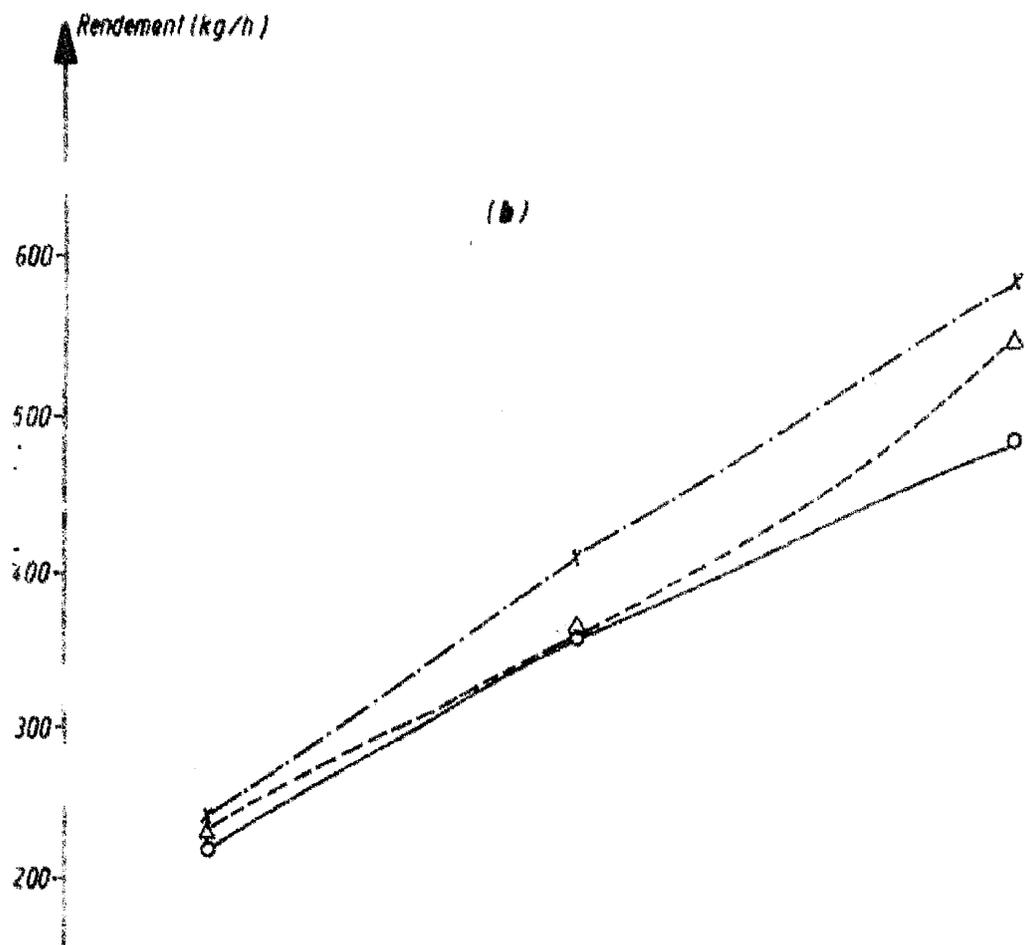
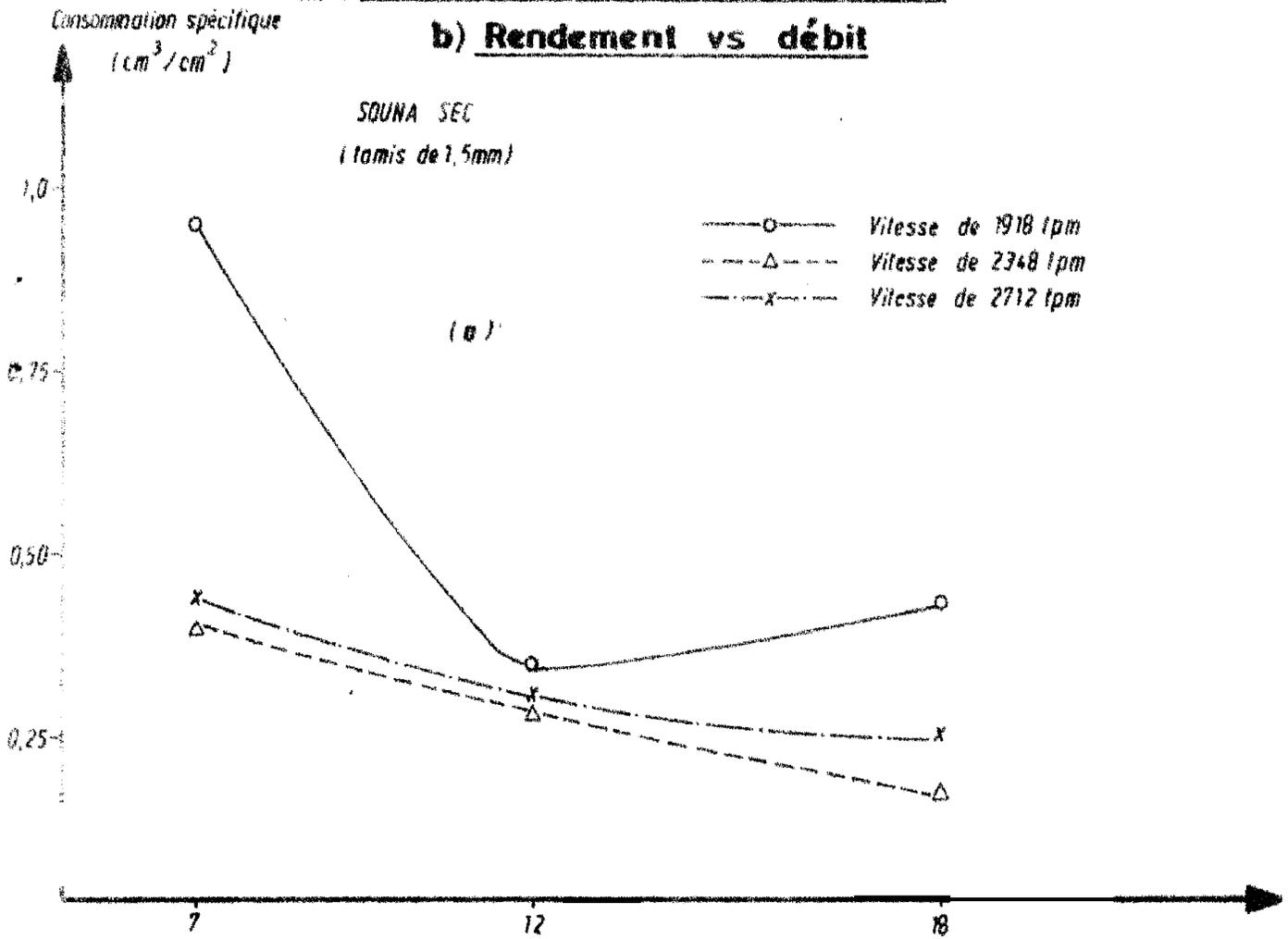
**Fig. 4.1.a) Consommation en fonction du débit**

**b) Rendement en fonction du débit**



**Fig. 4.2.a) Consommation vs débit**

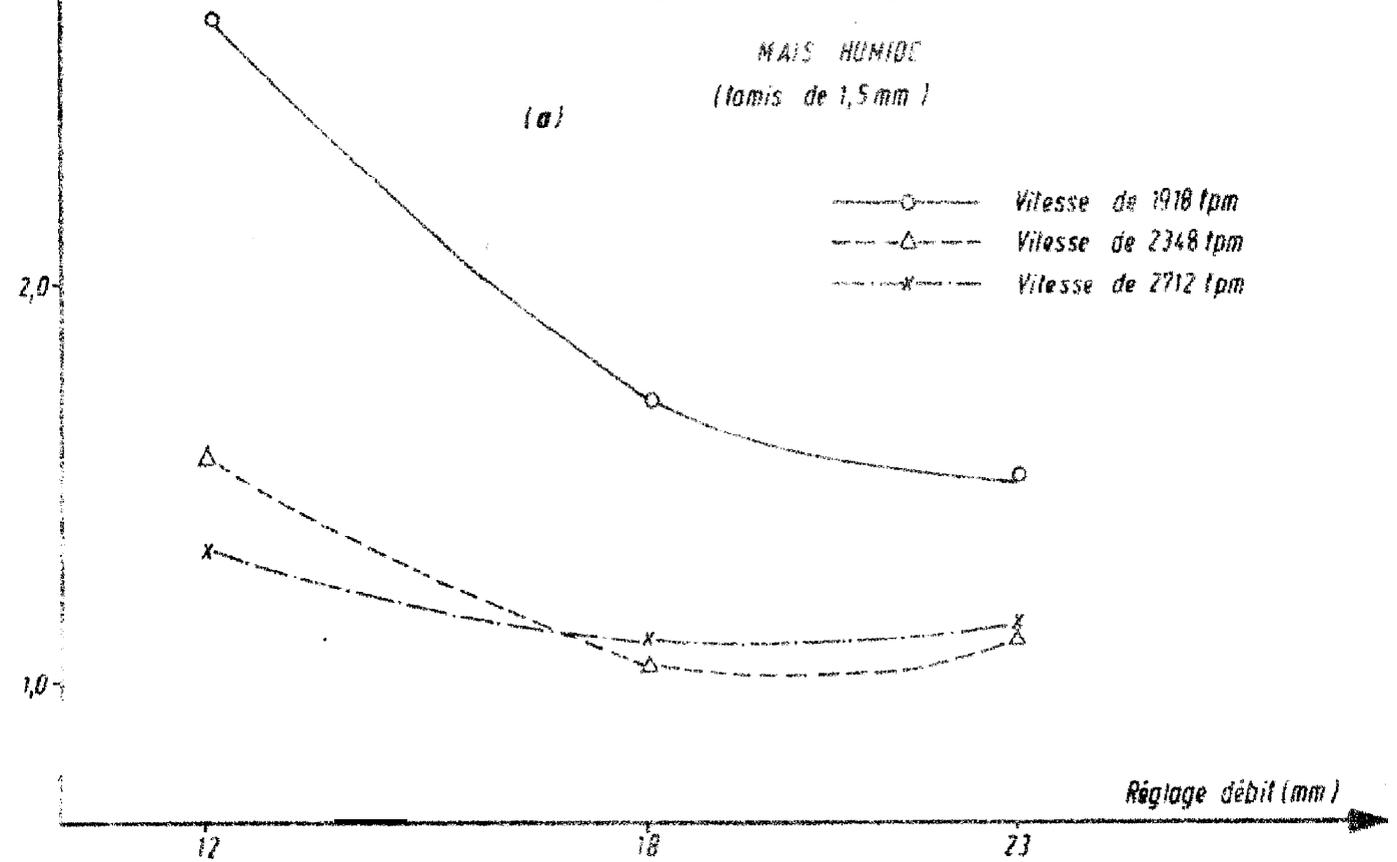
**b) Rendement vs débit**



3,0 Consommation spécifique  
( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )

Fig. 4.3 : a) Consommation en fonction du débit

b) Rendement en fonction du débit



200 Rendement (kg/h)

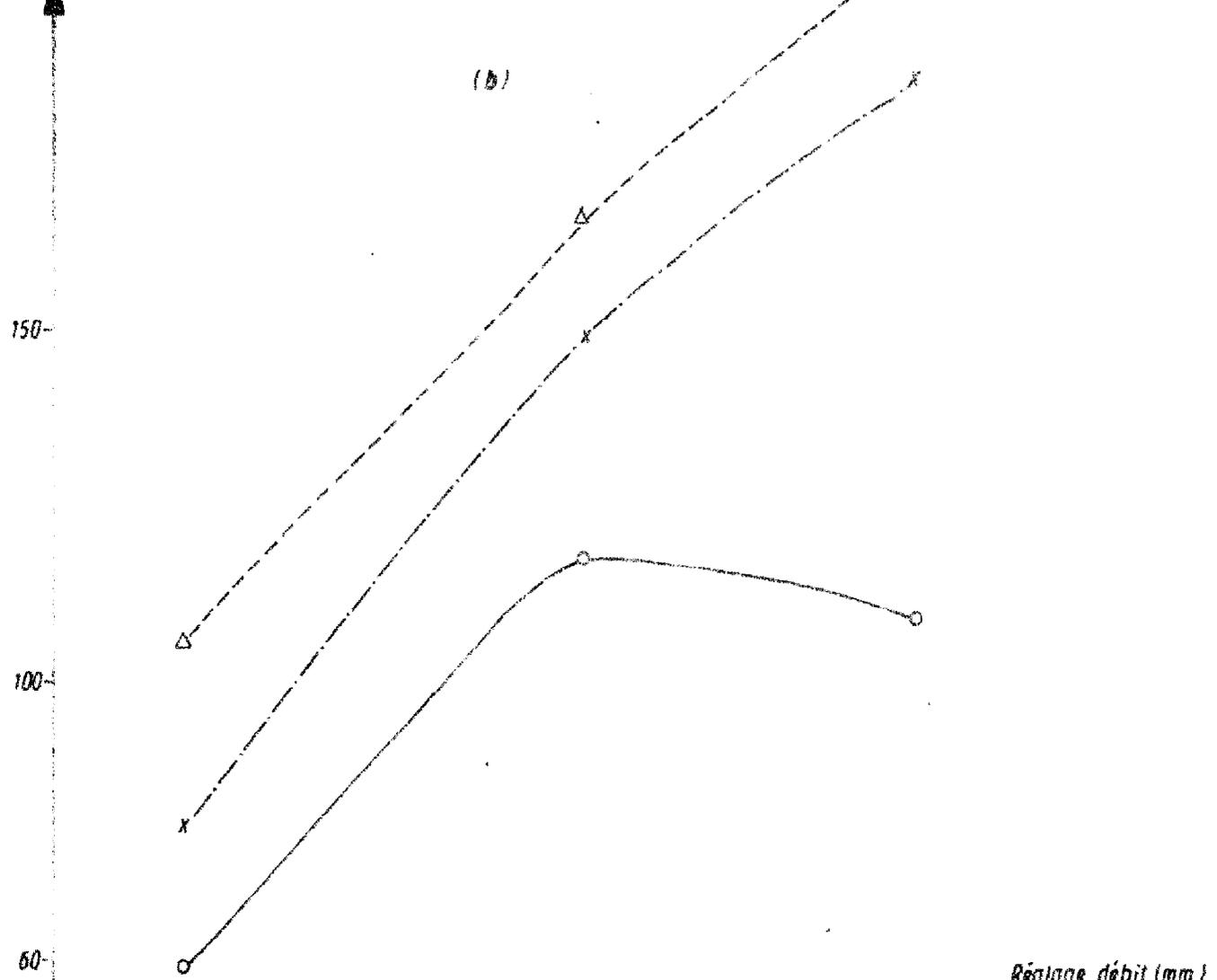
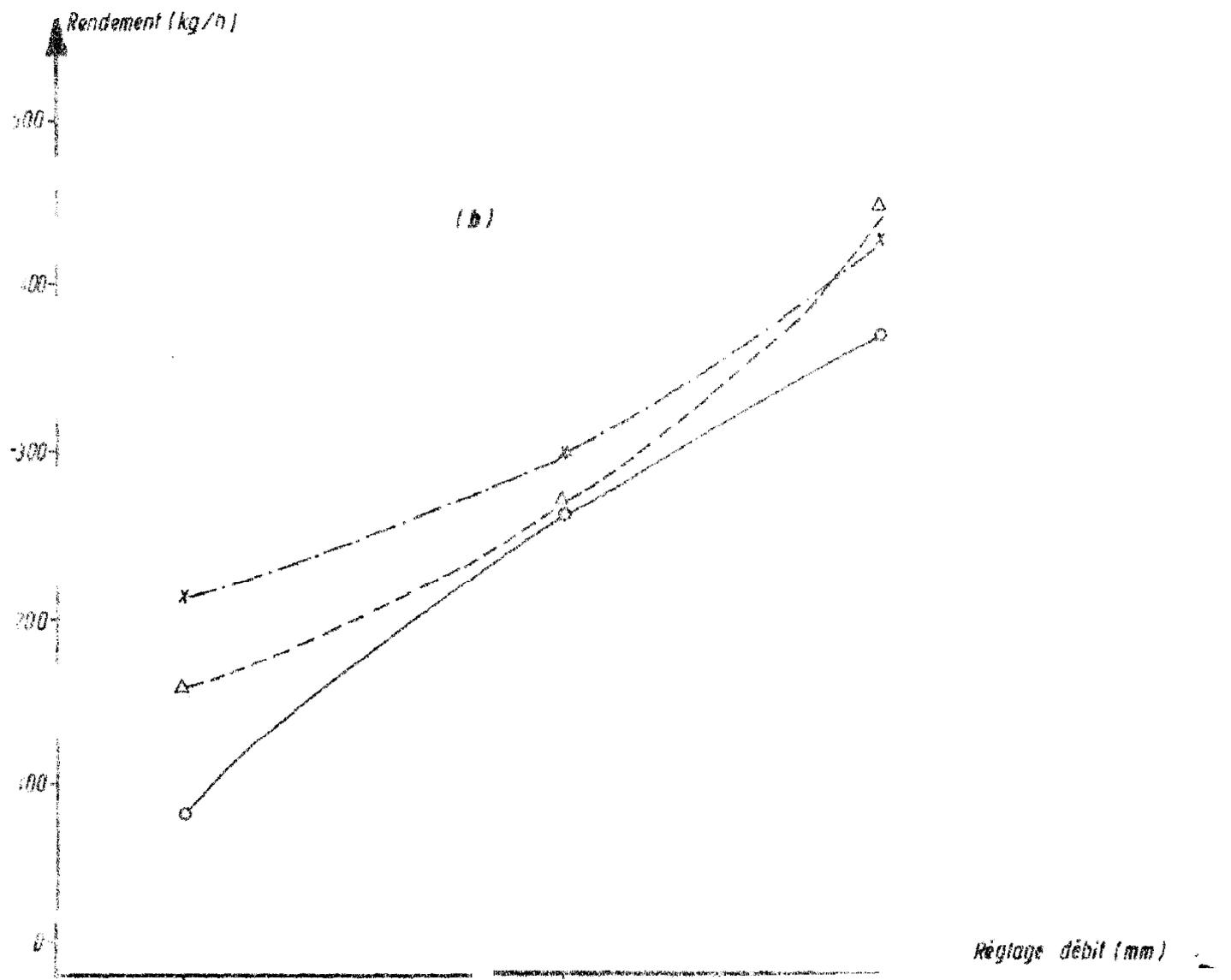
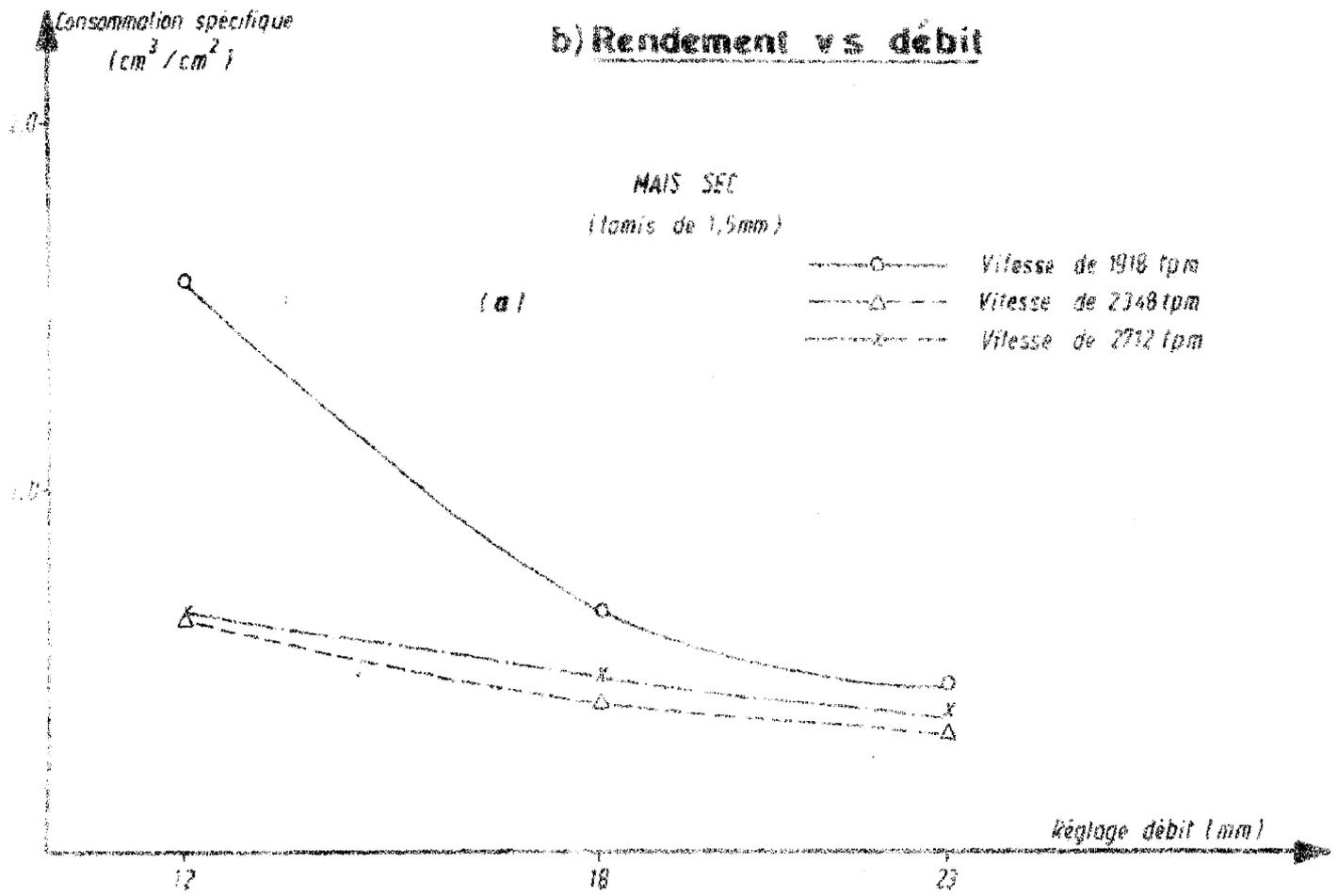


Fig. 4.4: (a) Consommation spécifique vs débit



## A N N E X E 1

### ASAE STANDARD S-319

Ce standard définit la méthodologie expérimentale pour déterminer la **Grosseur** des particules de différentes farines ou semoules.

#### 1 - MATÉRIEL REQUIS

Il faut tout d'abord une série de tamis de 203 mm de diamètre, un vibreur de tamis (Ho-tap sieves shaker) et une balance précise au dixième de gramme. La série fixée sur le vibreur doit être constituée des tamis suivants :

Numéro du tamis	Ouverture nominale (mm)
4	4,76
6	3,36
8	2,38
12	1,68
16	1,19
20	0,841
30	0,595
40	0,420
50	0,297
70	0,210
100	0,149
140	0,105
200	0,074
270	0,053
Bac de réception	

#### II - METHODE DE TAMIAGE

Placer un échantillon d'environ 100 grammes de farine (ou de semoule) sur le tamis supérieur et secouer avec le vibreur jusqu'à ce que l'équilibre en poids soit atteint dans le tamis aux mailles les plus fines et contenant du produit. Dans nos essais, cet équilibre est en général atteint au bout de 3 minutes. Ensuite, l'échantillon de farine (ou semoule) dans chaque tamis est recueilli et pesé.

#### III - ANALYSE DES DONNEES

L'analyse de la distribution de poids est basée sur l'hypothèse selon laquelle de telles distributions suivent la loi log-normale.

La grosseur des particules **est** donnée en termes de diamètre moyen :

$$d_g = \log_{10}^{-1} \left[ \frac{\sum (w_i \log \bar{d}_i)}{\sum w_i} \right]$$

avec :

$d_i$  = diamètre des ouvertures du tamis  $i$

$d_{i+1}$  = diamètre des ouvertures du tamis juste au **dessus** du tamis  $i$

$d_g$  = diamètre géométrique moyen.

$\bar{d}_i$  =  $\sqrt{d_i \times d_{i+1}}$

$w_i$  = poids de la fraction retenue sur le tamis  $i$ .

## A N N E X E 2

### DETERMINATION DE LA SURFACE TOTALE DES PARTICULES

Pour calculer la surface totale des particules avant et après la mouture et par conséquent la surface nouvellement formée, il faut tout d'abord connaître le nombre total de particules qui est donné par :

$$n = \frac{G}{d^3 \rho}$$

avec  $n$  = nombre total de particules

$G$  = poids total des particules (g)

$d$  = grosseur moyenne des particules (cm)

$\rho$  = poids spécifique de l'échantillon (g/cm<sup>3</sup>).

par approximation, on peut assimiler chaque particule à un cube de côté  $d$ , donc de surface équivalente à  $6 d^2$  (Kuprits, 1965).

Pour les  $n$  particules de l'échantillon, la surface totale sera donc :

$$S = n \times 6d^2 \text{ soit } S = \frac{6G}{d\rho}$$

Si avant la mouture un échantillon de poids  $G_1$  est constitué de  $n_1$  particules de grosseur  $d_1$  et de poids spécifique  $\rho_1$ , après l'opération, ces mêmes paramètres deviennent respectivement  $G_2$ ,  $n_2$ ,  $d_2$  et  $\rho_2$ . La surface nouvellement formée est donc :

$$S = S_2 - S_1$$

avec  $G_2$   $G_1$ ,  $S = 6G \left( \frac{1}{d_2 \rho_2} - \frac{1}{d_1 \rho_1} \right)$

La grosseur  $d$  des particules est déterminée à partir de l'analyse granulométrique (Annexe 1) et le poids spécifique est mesuré selon une méthode simple ne nécessitant qu'un entonnoir et un tube gradué de 500 cm<sup>3</sup>.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ~ KUPRITS, Y.N. (1965) ~ Technology of grain and provender milling ~  
U.S. Department of Commerce, Springfield, Va. 22151 ~
- ~ YACIUK, G. et YACIUK, A.D. (1977) ~ Discussions des résultats de  
l'enquête sur la technologie post-récolte en milieu paysan au  
Sénégal ~ ISRA, CNRA Bambey.
- ~ ASAE Yearbook, 1979-80 ~ The American Society of Agricultural  
Engineers.

\*\*\*\*\*

Ont collaboré à la réalisation des essais pour le  
sui vi sur le terrain :

- Mali cl: Mbodj, Observateur
- Mbaye Faye , Observateur
- Amsata Ndiaye, Mécanicien

Pour les essais granulométriques au laboratoire :

- Moctar Kounta, Observateur
- Samba Seck , Observateur,

\*\*\*\*\*