

**ESTIMATION DE LA PRODUCTION  
EN CULTURE PAYSANNALE  
SUR LES HAUTS PLATEAUX MALGACHES  
METHODES DE SONDAGE**



**N. GERMAIN**

**RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER**

**— B.P. 434**

**MADAGASCAR**



**JANVIER 1974**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

MISSION DE TANANARIVE

Section d'AGRONOMIE

ESTIMATION DE LA PRODUCTION  
EN CULTURE PAYSANNALE  
SUR LES HAUTS FLATEAUX MALGACHES  
METHODES DE SONDAGE.

N. GERMAIN

- JANVIER 1974 -

Avec la collaboration technique de  
Henri DEUTSCH  
Georges RAKOTONIAINA  
Michel RASAMIMANANA

## TABLE DES MATIERES

	Pages
Introduction .....	1
I. Protocoles de sondage en culture paysannale sur les Hauts Plateaux Malgaches .....	3
A. Caractères communs - Cas des cultures en ligne .....	3
B. Caractères spécifiques des protocoles selon chaque culture .	7
II. Représentativité et étendue relative du sondage maïs .....	15
A. Réalisation pratique .....	15
B. Résultats .....	16
C. Discussion et résultats .....	16
III. Représentativités et étendues relatives des sondages riz .....	21
A. Réalisation pratique .....	21
B. Résultats .....	22
C. Discussion des résultats .....	24
IV. Conclusion .....	27

Lors de la réalisation d'un suivi agro-économique d'une exploitation agricole on effectue sur les parcelles constituant l'exploitation des mesures de rendement, et ceci dans un double but :

- relier les techniques culturales et les conditions du milieu (sol, climat) avec le rendement afin de pondérer l'effet des facteurs de production sur le niveau de production,
- estimer la production d'une exploitation en faisant la somme des produits "rendement parcellaire - surface parcellaire" afin de dégager le résultat économique de l'activité de production.

Pour apprécier un rendement on peut procéder de deux sortes :

- peser la production totale de la parcelle, et diviser par la surface parcellaire ,
- procéder à un sondage en mesurant sur des stations le rendement et extrapoler à la parcelle entière le résultat calculé à partir de l'échantillon.

Dans le premier cas on connaît le rendement ou la production parcellaire à une erreur d'appréciation près (erreur due par exemple au mode de pesée, à la méthode d'estimation du degré d'humidité). Dans le deuxième cas s'ajoute à l'erreur d'appréciation précédente une erreur introduite par le choix de l'échantillon : si celui-ci est pris au hasard cette erreur sera alors aléatoire.

Dans le cadre d'un suivi agro-économique d'une exploitation familiale des Hauts Plateaux Malgaches la mesure du rendement d'une parcelle par la méthode de la production totale n'est guère envisageable : production partiellement commercialisée suivant des quantités non métriques (sobika, zinga\*), récolte d'une parcelle souvent échelonnée dans le temps (on pourrait par contre choisir cette méthode dans le cas d'une exploitation beauceronne de type céréalier).

\* sobika : panier

zinga : récipient en métal

L'objet de ce rapport est de décrire les méthodes de sondage (plan d'échantillonnage, mesures des composantes du rendement, observation de résultats intermédiaires) utilisées ces dernières années par les Agronomes du Centre ORSTOM de Tananarive lors des suivis d'exploitations familiales des Hauts Plateaux Malgaches pour l'estimation des rendements cultureux ; les résultats sont acquis selon un même protocole cela permet donc l'utilisation de tests de comparaison mais dès lorsque l'on s'intéresse à l'activité économique de l'exploitation il est nécessaire de connaître l'écart entre le rendement estimé par sondage et le rendement réel obtenu par le paysan, aussi étudiera-t-on dans le cas de 2 cultures (le maïs et le riz) les deux sortes d'évaluation du niveau de production parcellaire afin de déterminer les erreurs introduites lors des mesures et par conséquent d'estimer le domaine dans lequel se trouve le rendement réel.

## I - PROTOCOLES DE SONDAGE EN CULTURE PAYSANNALE SUR LES HAUTS PLATEAUX MALGACHES

Ces protocoles ont été mis au point lors de l'étude des conditions de production des cultures améliorées dans le cadre de l'opération "Tanety"\* promue par l'U.R.E.R.\*\* de Tananarive, ils concernent donc les cultures en ligne. Cependant, afin de situer les cultures améliorées dans l'ensemble du contexte de l'exploitation, on a aussi étudié les cultures traditionnelles : le cas des cultures semées ou plantées en foule fera l'objet d'un paragraphe.

Nous distinguerons : les caractères communs de ces protocoles, qui en constituent la toile de fonds, et les caractères spécifiques qui sont, pour chaque culture, l'adaptation de la démarche suivie.

### A) LES CARACTERES COMMUNS - CAS DES CULTURES EN LIGNE

#### 1 - Appréciation globale de la parcelle

Avant de faire le sondage, on porte un jugement sur l'ensemble de la parcelle

- homogénéité de la végétation,
- envahissement par les adventices,
- accidents divers (attaques d'insectes ...)

\* Opération Tanety : Opération de développement prônant l'introduction d'un schéma composé de 3 soles de 10 ares en cultures vivrières et de 3 soles de prairie sur lesquelles est appliquée une rotation et une fertilisation rationalisées, et associant l'agriculture à l'élevage.

\*\* U.R.E.R. : (Unité Régionale d'Expansion Rurale) organisme de vulgarisation.

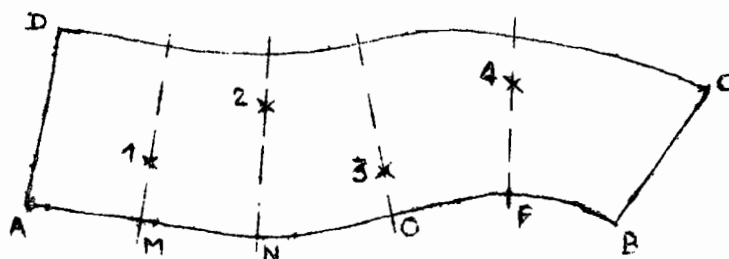
De même en cours de végétation il a été procédé à une observation de végétation, notamment en choisissant 4 stations sur lesquelles on a effectué des mesures de densité, de hauteur de végétation et d'envahissement par les adventices.

## 2- Nombre des stations

On a retenu le nombre de 4 stations par parcelle de 10 ares. Lors d'une expérimentation réalisée à Ambatolampy sur maïs il a été mis en évidence une variabilité intra-parcellaire bien représentée par les quatre stations. Dans le cas des rizières le nombre maximum de stations pour une parcelle est de 4 bien que souvent la superficie de celle-ci soit supérieure à 10 ares.

## 3 - Localisation des stations

Celle-ci s'effectue de manière systématique selon le schéma ci-dessous :



AB est le côté bas de la parcelle (dans le cas d'une rizière AB est le côté le plus long).

A est le coin gauche quand on regarde vers le haut (dans le cas d'une rizière A est le coin gauche quand on regarde la rizière à partir de AB).

AB est divisé en 5 parties égales : AM, MN, NO, OP, PB.

Les stations 1 et 3 sont sur la perpendiculaire à AB, respectivement en M et O, à un tiers de la distance entre AB et CD à partir de M et O.

Les stations 2 et 4 sont sur la perpendiculaire à AB, respectivement en N et P, à deux tiers de la distance entre AB et CD à partir de N et P.

## 4 - Taille des stations

La taille des stations est calculée de telle sorte que, dans le cas général, l'erreur d'appréciation du rendement (erreur due au mode de mesure) sur la station n'excède pas 10 %.

Une station comprenant 3 lignes, soit :

R : rendement par hectare  $r =$  rendement linéaire par mètre

x : longueur de la ligne mesurée

i : l'intervalle entre les lignes

j : l'intervalle entre plants ou poquets sur une ligne

P : le poids de l'échantillon ( $P = 3 r x$ )

Le rendement est égal à :  $R = \frac{P}{3 x} \times \frac{10\ 000}{i}$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta i}{i}$$

• La mesure de L s'effectuant en partant entre deux poquets on a la relation :

$$\Delta x \ll \frac{j}{2}$$

• Soit L la longueur sur laquelle sont comptées le nombre de lignes :  $L = ni$

n = nombre de lignes

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta i}{i}$$

or  $\Delta n = 0$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta i}{i}$$

La mesure de i s'effectuant en partant entre deux lignes on a la relation :

$$\Delta L \ll \frac{i}{2}$$

$$\frac{\Delta R}{R} \ll \frac{\Delta P}{3 r x} + \frac{j}{2 x} + \frac{i}{2 L}$$

a) Cas du haricot

La mesure de P est faite sur une balance de type "Roberval" :  $\Delta P = 1 \text{ g}$ .

Considérons un rendement de 1 000 kg par hectare, une densité de 170 000 poquets par hectare ( $i = 40 \text{ cm}$  ;  $j = 15 \text{ cm}$ ) on a :



$$\begin{aligned} \Delta P &= 1 \text{ g} & \text{Tolérance } \frac{\Delta R}{R} &= 0,10 \\ i &= 40 \text{ cm} \\ j &= 15 \text{ cm} \\ L &= 500 \text{ cm} & x &= 139 \text{ cm} \\ r &= 40 \text{ g/m} = 0,4 \text{ g/cm} \end{aligned}$$

Par contre si nous prenons un rendement de 500 kg par hectare en gardant la même densité, nous avons alors :

$$r = 20 \text{ g/m} \quad \text{et} \quad x = 153 \text{ cm}$$

Nous retiendrons comme représentation d'une station de haricot : 3 lignes de 2 m.

#### b) Cas du maïs

La mesure de P est faite avec une balance romaine :  $\Delta P = 50 \text{ g}$ .

Considérons un rendement en grains à 15 % d'humidité de 3 tonnes par hectare (à la récolte le rendement en "grains humides + rafles + spathes" est d'environ 6 tonnes par hectare) et une densité de 20.000 poquets par hectare ( $i = 70 \text{ cm}$  ;  $j = 70 \text{ cm}$ ), on a :

$$\begin{aligned} \Delta P &= 50 \text{ g} & \text{Tolérance } \frac{\Delta R}{R} &= 0,10 \\ i &= 70 \text{ cm} \\ j &= 70 \text{ cm} & x &= 1\,296 \text{ cm} \\ L &= 500 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$r \text{ (rendement à la récolte)} = 0,430 \text{ kg/m} = 4,3 \text{ g/cm}$$

cette valeur est trop élevée (poids de l'échantillon trop important).

Par contre si l'on mesure le nombre de lignes sur 10 m, nous avons :

$$L = 1\,000 \text{ cm} \quad x = 598 \text{ cm}$$

Nous retiendrons comme représentation d'une station de maïs : 3 lignes de 5 m.

B) CARACTERES SPECIFIQUES DES PROTOCOLES SELON CHAQUE CULTURE

1 - Cas des cultures en ligne

11 - Le maïs

Le sondage est effectué sur 4 stations de 3 lignes de 5 m.

- Pour chaque station on compte le nombre de poquets par ligne, le nombre de cannes par poquet, le nombre de lignes par 10 m (L). On pèse les épis une fois dépouillés des spathes (PT) puis on les classe en trois catégories suivant la longueur <sup>de la</sup> rafle.\*

catégorie	!	taille <sup>de la</sup> rafle
grand	!	t > 20 cm
moyen	!	14 cm < t < 20 cm
petit	!	14 cm > t

On compte le nombre d'épis par catégorie (Ng, Nm, Np) et on pèse chaque catégorie (Pg, Pm, Pp) (on a la relation PT = Pg + Pm + Pp). On note l'état d'envahissement des adventices et la hauteur moyenne des cannes de maïs.

- En fin de parcelle on calcule au vu des résultats obtenus sur les 4 stations le poids moyen d'un épi pour chacune des catégories et l'on prélève 4 épis de chaque catégorie de telle sorte que le poids du prélèvement soit égal à 4 fois le poids moyen de l'épi de la catégorie considérée (Tg, Tm, Tp).
- Ces trois prélèvements sont rapportés au laboratoire, mis au séchoir durant 8 jours (le degré d'humidité des grains est alors d'environ 15 %). On pèse pour chaque catégorie le poids des grains (Gg, Gm, Gp) et le poids des rafles.
- Diverses formules sont possibles pour calculer le rendement par station (le rendement est exprimé en kg par mètre carré si les pesées sont exprimées en kilogramme - 1 t/ha = 0,1 kg/m<sup>2</sup>):

\* Les longueurs de 14 cm et 20 cm ont été retenues arbitrairement en tenant compte d'une part de la taille des différents épis rencontrés sur les parcelles d'autre part de la facilité de les repérer sur la fiche récolte utilisée sur le terrain (voir modèle en fin de rapport).  
Il existe d'ailleurs une bonne corrélation entre longueur de l'épi et poids des grains à 15 % d'humidité.

$$\boxed{1} \quad R = \frac{PT \times (Gg + Gm + Gp)}{3 \times 5 \times \frac{10}{L}}$$

$$\boxed{2} \quad R = \frac{Nng \times \frac{Gg}{4} + Nm \times \frac{Gm}{4} + Np \times \frac{Gp}{4}}{3 \times 5 \times \frac{10}{L}}$$

$$\boxed{3} \quad R = \frac{Pg \times \frac{Gg}{Tg} + Pm \times \frac{Gm}{Tm} + Pp \times \frac{Gp}{Tp}}{3 \times 5 \times \frac{10}{L}}$$

- L'emploi d'une formule ou d'une autre est fonction des conditions de réalisation de la récolte :

la formule  $\boxed{1}$  donne un résultat exact si l'hypothèse suivante est vérifiée : le rendement relatif en grains d'un épi (poids des grains à 15 % d'humidité / poids de l'épi à la récolte) est constant pour une parcelle donnée et indépendant de la catégorie de l'épi.

la formule  $\boxed{2}$  supprime cette hypothèse mais nécessite que l'on respecte dans la prise de chaque échantillon le poids moyen de la catégorie considérée (voir protocole ci-dessus p. 7). Par contre, le fait de prendre au hasard 4 épis dans une catégorie conduit, lorsqu'on utilise cette formule, à une surestimation du rendement de 10 % (expérience réalisée sur 20 parcelles) car inconsciemment on choisit parmi les plus gros de la catégorie.

la formule  $\boxed{3}$  supprime cet inconvénient (calcul sur le terrain) mais introduit une erreur supplémentaire de pesée à la balance romaine.

Dans le cas général (parcelles où la répartition des épis entre les diverses catégories est à peu près homogène) l'emploi des 3 formules donnent des résultats qui diffèrent entre eux de moins de 5 % (calcul réalisé sur 20 parcelles).

- L'échantillon permettant de déterminer le rendement en grains des épis est choisi sur l'ensemble de la parcelle. Le rendement par station est donc fonction d'une caractéristique de la station (nombre d'épis ou poids des épis) et d'une caractéristique de la parcelle (rendement en grains de l'échantillon prélevé). Par conséquent il n'a pas de signification propre ; il est pondéré par l'ensemble des 4 stations de la parcelle.

2 formules sont alors possibles pour calculer le rendement parcellaire :

$$\text{soit R P A} = \frac{\sum_{i=1}^4 R_i}{4} \quad R_i = \text{Rendement station } i$$

$$\text{soit R P B} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i}{\sum_{i=1}^4 S_i} \quad \begin{array}{l} P_i = \text{Pds en grain de la station } i \\ S_i = \text{surface de la station } i \end{array}$$

R P B diffère de R P A lorsque les surfaces des stations sont inégales : l'emploi de R P B donne un résultat privilégiant les rendements des stations ayant les plus grandes superficies (distance entre lignes plus importantes). Afin de donner un poids égal à toutes les stations nous retiendrons la formule R P A : le rendement parcellaire est la moyenne des 4 rendements par station.

## 12 - Le manioc

On considère 4 stations de 3 lignes de 5 mètres.

Pour chaque station on compte le nombre de pieds par ligne, le nombre de tubercules par pied, le nombre de lignes par 10 m (L). On pèse les tubercules par ligne et par station (P).

Le rendement par station est donné par la formule :

$$R = \frac{P}{3 \times 5 \times \frac{10}{L}}$$

C'est le rendement en tubercules frais.

13 - Le haricot

La taille des stations est égale à 3 lignes de 2 mètres.

Pour chaque station on compte le nombre de poquets par ligne, le nombre de pieds par poquet, le nombre de gousses par pied, le nombre de lignes par 5 mètres (L). On pèse au champ les gousses et les fanes. On rapporte au laboratoire la totalité des gousses. Après séchage on pèse les coques, les grains sains (PS) (commercialisables) et les grains avariés (PA) (consommables mais non commercialisables) (le degré d'humidité des grains est alors d'environ 15 %).

$$\text{Le rendement est : } R = \frac{\text{PS} + \text{PA}}{3 \times 2 \times \frac{5}{L}}$$

On peut aussi calculer un rendement en grains commercialisables :

$$R = \frac{\text{PS}}{3 \times 2 \times \frac{5}{L}}$$

14 - Le soja

Le protocole est le même que celui du haricot à la différence que, vu le grand nombre de gousses par pied, le comptage des gousses s'effectue au laboratoire.

15 - L'arachide et le Voanjobory

Les deux cultures ont le même protocole.

Pour chaque station (3 lignes de 2 mètres) on compte le nombre de poquets par ligne, le nombre de gousses par poquet, le nombre de lignes par 5 mètres (L). On pèse les fanes et les gousses (PG) (on effectue aussi la pesée des gousses par ligne). On ne rapporte rien au laboratoire.

$$R = \frac{\text{PG}}{3 \times 2 \times \frac{5}{L}}$$

16 - La pomme de terre, le saonjo et la patate

Le sondage est effectué sur 3 lignes de 2 mètres.

Pour chaque station on compte le nombre de pieds, le nombre de lignes par 5 mètres. On pèse par ligne les tubercules et par station les tubercules (P) et les fanes. On note par station le diamètre moyen des tubercules.

$$R = \frac{P}{3 \times 2 \times \frac{5}{L}}$$

### 17 - Le riz

Dans le cas de cette culture deux protocoles de sondage sont employés, afin de les distinguer nous leur donnerons le nom de la région dans laquelle ils sont respectivement utilisés.

#### a) Sondage Mahabo

La taille des stations est de 3 lignes de 2 mètres.

Sur chaque station on coupe la totalité des touffes et l'on pèse la gerbe obtenue (PG). On compte le nombre de lignes par 10 mètres (L) (opération que l'on peut reporter après la récolte si l'on veut plus d'exactitude, les déplacements en rizière étant difficiles lorsque celle-ci est en culture).

En fin de parcelle on prélève à peu près 500 g dans chacune des 4 gerbes obtenues de manière à constituer un échantillon de 2 kg (paille + grains) qui est rapporté au laboratoire. Cet échantillon est mis à sécher puis battu (le degré d'humidité du paddy est alors d'environ 15 %). On pèse la paille, le paddy après vannage (Pd) et les impuretés.

$$R_M = \frac{Pd \times \frac{PG}{2}}{3 \times 2 \times \frac{10}{L}}$$

#### b) Sondage Ambatolampy

La taille des stations est aussi de 3 lignes de 2 mètres.

Sur chaque station on compte le nombre de touffes (N) et le nombre de lignes par 10 mètres (L). On prélève 9 touffes suivant la convention suivante : pour la première ligne on prend les 1ère, 4ème, 7ème touffes (à partir de la gauche) ; pour la deuxième ligne les 2ème, 5ème, 8ème touffes, pour la troisième ligne les 3ème, 6ème, 9ème touffes.

En fin de parcelle on pèse la gerbe des 36 touffes et on la rapporte au laboratoire. Après séchage on pèse la paille, le paddy (Pd) et les impuretés.

$$R_A = \frac{N \times \frac{Pd}{36}}{3 \times 2 \times \frac{10}{L}}$$

Le poids de 36 touffes est en général de l'ordre de 2 kilogrammes.

## 2 - Cas des Cultures en Foulé

### 21 - La prairie

Pour évaluer la production fourragère d'une parcelle de 10 ares on effectue un sondage sur 4 stations rectangulaires de 1 mètre sur 2 mètres. Par station on coupe les 2 mètres carrés et on pèse la matière verte récoltée (MV). on rapporte au laboratoire un échantillon de 1 kg de matière verte qui est mis au séchoir durant 8 jours. On pèse l'herbe ainsi séchée et on en détermine le taux de matière sèche (MS) par passage à l'étuve à 100°C durant 24 heures.

$$R \text{ en vert} = \frac{MV}{2} \quad (\text{en kilogrammes par mètre carré})$$

$$R \text{ en MS} = \frac{MV \times MS}{2} \quad (\text{en kilogrammes par mètre carré})$$

La récolte des 4 stations peut être échelonnée dans le temps de façon à être représentative du mode d'exploitation utilisée par le paysan considéré (par exemple pâturage progressif).

### 22 - Le riz

On retrouve ici les deux protocoles cités dans le cas des cultures en ligne.

#### a) Sondage Mahabo

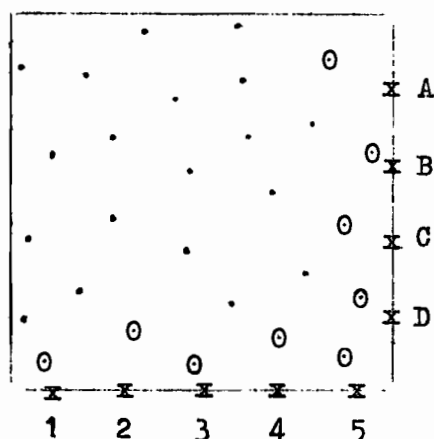
Le seul changement par rapport au protocole déjà cité est la taille de la station : elle est ici égale à un rectangle de 2 mètres sur 1 mètre.

$$R = \frac{Pd \times \frac{PG}{2}}{2} = \frac{Pd \times PG}{4} \quad (\text{en kilogrammes par mètre carré})$$

#### b) Sondage Ambatolampy

La taille de la station est un carré de 1 mètre carré. Le prélèvement des 9 touffes s'effectue à l'aide d'un cadre préalablement gradué suivant le schéma

ci-dessous :



$$R = \frac{N \times \frac{Pd}{36}}{1} = \frac{N \times Pd}{36}$$

### 23 - Autres cultures

Le seul changement par rapport aux protocoles cités provient de la taille de la station. Pour le maïs et le manioc c'est un rectangle de 2 mètres sur 5 mètres. Pour le haricot, l'arachide, le voanjobory, la pomme de terre, le saonjo et la patate c'est un rectangle de 1 mètre sur 2 mètres.

### C) REALISATION PRATIQUE

#### 1 - Piquetage des stations

Il est prudent de repérer les stations 1 à 2 mois avant la récolte en plaçant un piquet à chaque coin de la station. Le paysan a en effet l'habitude de grappiller sur toute la parcelle quelques produits dès qu'ils sont arrivés à maturité. C'est aussi un gain de temps lors du sondage puisque les stations sont repérées.

Cette pratique permet de mieux agencer les récoltes "échantillonnage" : un même jour on peut avoir un trop grand nombre de récoltes à faire ; s'il y a piquetage le paysan récoltera la parcelle en évitant de toucher aux stations, ce qui permet un report de récolte de 2 jours environ.

On profite du piquetage pour effectuer une observation de végétation et notamment pour déterminer la date probable de récolte.

#### 2 - Matériel utilisé

Il est nécessaire d'avoir sur le terrain :

- une balance romaine (donnant une précision de 50 g mais étant moins fragile qu'une balance "Roberval"),



- un double mètre,
- un cordeau de 5 mètres,
- une fiche récolte (voir modèle en fin de rapport),
- des sacs pour mettre les échantillons.

Au laboratoire on dispose :

- d'un séchoir à 40°C à 40 % d'humidité,
- d'une balance "Roberval",
- d'une étuve à 100°C.

### 3 - Temps de travaux sur le terrain (par parcelle)

De préférence ces sondages doivent s'effectuer à 2 personnes. Le tableau ci-dessous donne quelques temps à titre indicatif :

Cultures	Maïs	Haricot	Voanjobory	Manioc	Riz
Temps de travail à 2 personnes par parcelle	1 h à 1 h $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ h	$\frac{3}{4}$ h	1 h $\frac{1}{2}$	1 h $\frac{1}{2}$

On peut citer comme facteurs de variation de ces temps de travaux : le rendement parcellaire, l'état d'envahissement par les adventices, le piquetage préalable.

## II - REPRESENTATIVITE ET ETENDUE RELATIVE DU SONDAGE MAIS

Durant la campagne 1972-1973 nous nous sommes proposés sur 12 parcelles d'estimer l'intervalle de confiance que l'on pouvait accorder au protocole de sondage exposé précédemment.

### A) REALISATION PRATIQUE

Devant l'impossibilité de peser la production parcellaire en grains secs, nous avons procédé lors de la récolte à la mesure du rendement en épis sur les 4 stations et sur toute la parcelle (grains humides + rafles + spathes): nous parlerons alors de rendement en vert.

#### 1 - Mesure du rendement pour les stations

Avant de dépouiller les épis de leurs spathes on effectue une pesée pour chaque station.

#### 2 - Mesure du rendement pour la parcelle

On pèse la récolte de toute la parcelle sur un pèse-personne par lot de 100 kg environ ; la précision du pèse-personne étant de 1 kg, l'erreur relative introduite lors de la pesée totale est maximisée à 1 %.

On mesure la surface de la parcelle à l'aide d'un double-décamètre en prenant comme ligne de base le côté le plus long et en décomposant la parcelle en rectangles et trapèzes rectangles élémentaires. L'erreur introduite dans cette opération est essentiellement due à l'absence de délimitation précise de la parcelle ; dans le cas présent (culture du maïs) nous avons retenu la convention suivante : la limite de la parcelle est à 40 cm à l'extérieur du dernier poquet.

Considérons le cas d'une parcelle de forme rectangulaire de 10 mètres sur 100 mètres : l'imprécision sur la largeur est de 0,2 mètre, l'imprécision sur la longueur est de 1 mètre ; il faut ajouter une erreur d'approximation car

les limites de la parcelle sont courbes ; nous retiendrons que l'erreur relative de la mesure de la surface est maximisée à 5 %.

## B) RESULTATS

Les résultats sont résumés dans le tableau 1.

Signification des abréviations :

Rdt pv = Rendement parcellaire en vert (exprimé en tonnes/ha)

Rdt sv = Rendement station en vert (exprimé en t/ha)

$\Delta$  = Rdt sv - Rdt pv

Rdt g = Rendement en grains à 15 % d'humidité (exprimé en t/ha)

$d = \frac{\Delta}{\text{Rdt sv}} \times 100$

$L/l = \frac{\text{longueur de la parcelle}}{\text{largeur de la parcelle}}$

h = hétérogénéité de la parcelle

[On apprécie l'hétérogénéité de la parcelle en prenant pour coefficient h la variance des rendements "grains station" (calculés selon la formule 1) et exprimés en tonnes par hectare].

## C) DISCUSSION DES RESULTATS

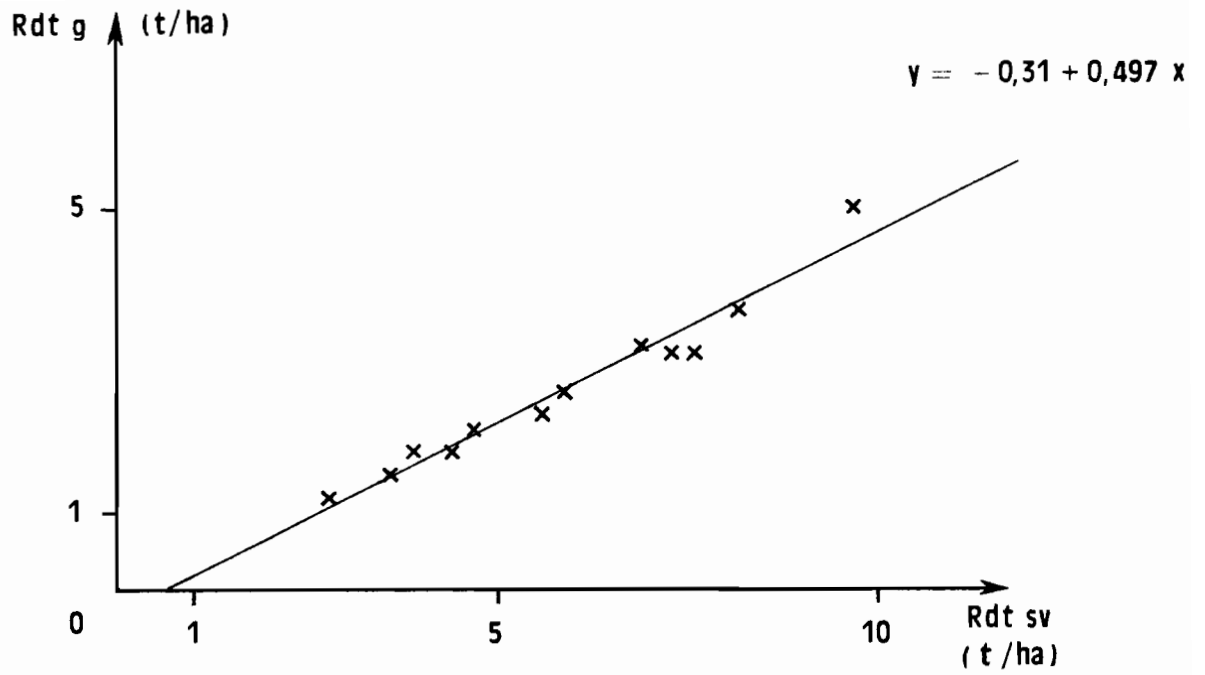
Le nombre de 12 parcelles est insuffisant pour effectuer un raisonnement statistique dont les conclusions soient précises tout en ayant un degré de confiance élevé ; on peut cependant raisonner empiriquement sur les résultats et en tirer les considérations suivantes :

### 1 - Corrélation entre le rendement en grains et le rendement en épis

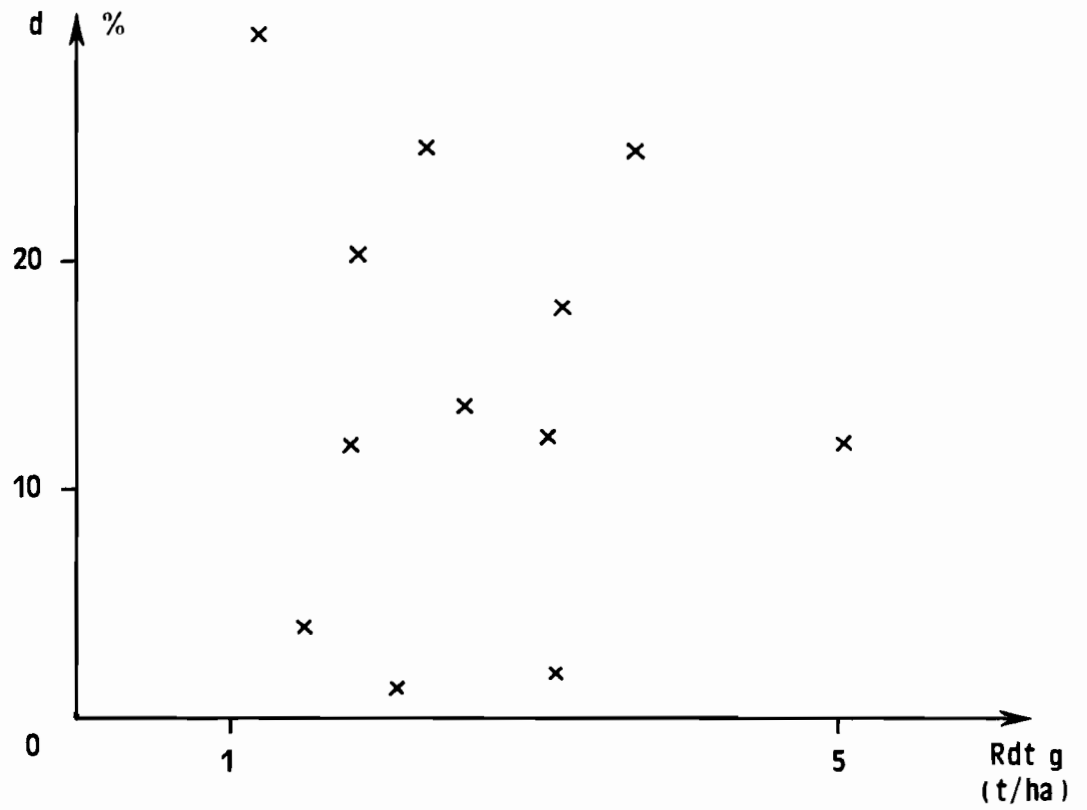
Il existe une très forte corrélation linéaire ( $r = 0,97$ ) entre le rendement en épis verts (X) et le rendement en grains à 15 % d'humidité (Y) (voir graphique 1).

Ce résultat justifie notre manière de procéder pour mesurer la représentativité de notre sondage puisque les résultats obtenus lors des mesures du rendement en épis verts pourront être généralisés aux mesures du rendement en grains à 15 % d'humidité.

$$Y = -0,31 + 0,497 X$$



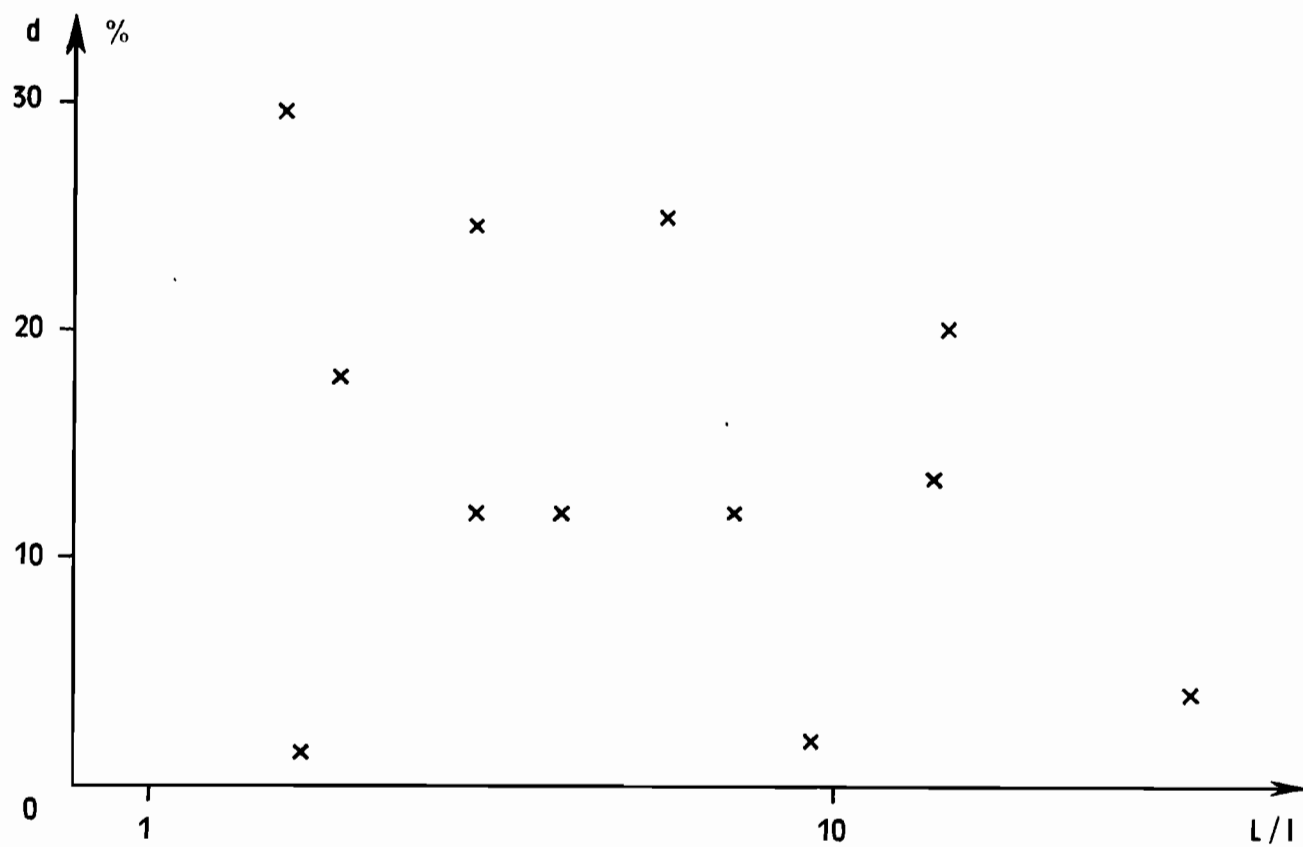
Graphique 1



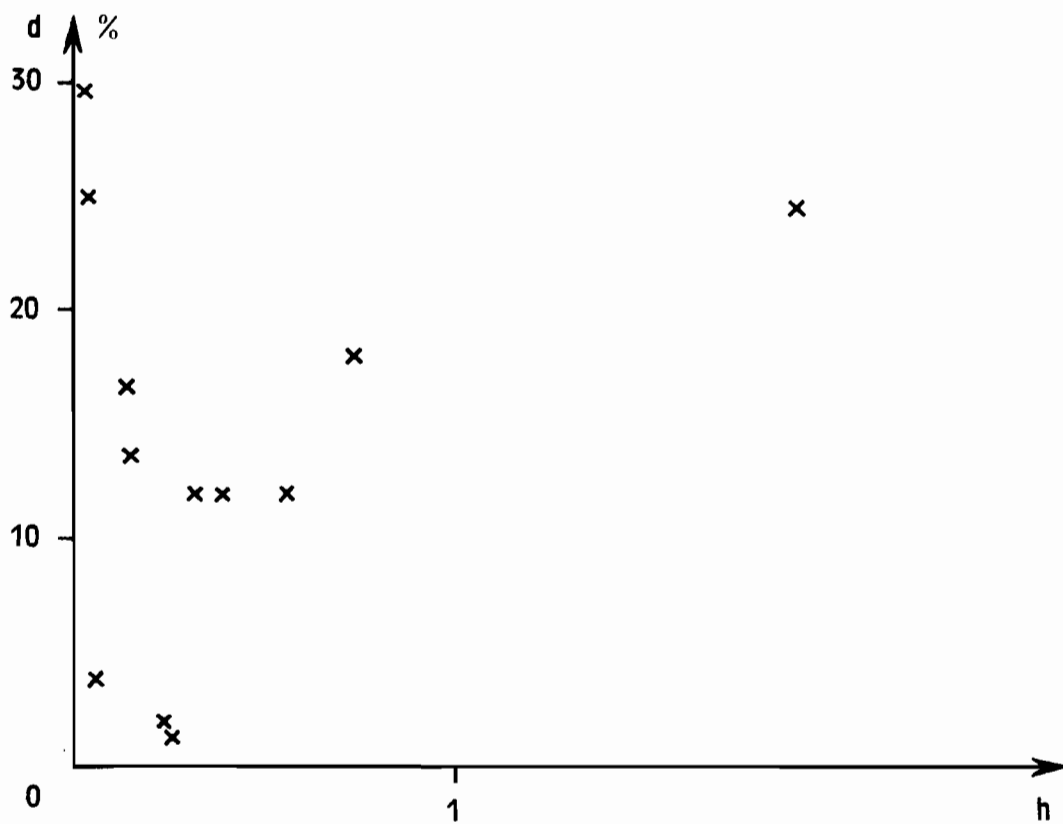
Graphique 2

N° des par- celles	Rdt pv	Rdt sv	$\Delta$	d	Rdt g	Précédent	L/1	h
1	6,40	7,28	0,88	12,1	3,095	Soja	6,4	0,318
2	5,62	6,86	1,24	18,1	3,196	Tabac	3,5	0,745
3	8,54	9,71	1,17	12	5,023	Tabac	8,7	0,568
4	2,00	2,84	0,84	29,5	1,208	Mélinis	2,8	0,031
5	3,89	4,43	0,54	12,2	1,822	Pomme de T.	5,3	0,390
6	4,20	5,57	1,37	24,6	2,291	Maïs	7,8	0,055
7	6,20	8,21	2,01	24,5	3,656	Maïs	5,3	1,911
8	7,48	7,64	0,16	2	3,156	Patate	9,7	0,245
9	3,47	3,62	0,15	4,1	1,489	Haricot	14,7	0,063
10	5,08	5,88	0,80	13,6	2,559	Haricot	11,3	0,174
11	4,63	4,70	0,07	1,4	2,108	Maïs	3,0	0,253
12	3,06	3,84	0,78	20,3	1,836	Mélinis	11,5	0,146

Tableau 1



Graphique 3



Graphique 4

Le rapport  $Y/X$  varie suivant les cas de 0,41 à 0,52 : dans le cas où l'on ne pourrait pas peser les grains après séchage, l'emploi de la formule ci-dessus pour estimer  $Y$  conduit à l'introduction d'une erreur relative supplémentaire de 10 %.

## 2 - Différence entre le rendement "sondage" et le rendement "pesée totale"

Le rendement obtenu par sondage (RS) est toujours supérieur au rendement obtenu par pesée totale (RP).

On peut distinguer trois groupes de parcelles suivant le critère

$$d = \frac{RS - RP}{RS} \times 100$$

N° de parcelle

groupe 1 -	$0 < d < 10 \%$	9 - 8 - 11
groupe 2 -	$10 \% < d < 20 \%$	10 - 5 - 1 - 3 - 2
groupe 3 -	$20 \% < d < 30 \%$	12 - 7 - 6 - 2

Il n'existe pas de corrélation linéaire significative entre le critère  $d$  et le rendement de la parcelle (voir graphique 2).

## 3 - Effet de bordure

Lors de l'observation de la végétation on remarque que les pieds situés en bordure sont de taille inférieure par rapport au reste de la parcelle. Si on compare le rendement linéaire d'une ligne de bordure et le rendement linéaire d'une ligne du centre de la parcelle on observe que le premier rendement est égal à environ la moitié du second. Prenons le cas d'une parcelle de forme rectangulaire de 10 mètres sur 100 mètres et dont le nombre de lignes par 10 mètres est de 12 : du fait du choix systématique de l'emplacement des stations le sondage ne s'effectue jamais sur une ligne de bordure, l'effet de bordure dans ce cas conduit à une différence relative entre le rendement RS et le rendement RP de 8 %. En général cet effet de bordure n'est pas limité à la ligne de bordure mais concerne 2 ou 3 lignes (plus ou moins intensément), de même en bout de parcelle le rendement est très souvent inférieur à celui calculé pour le reste de la parcelle. Soit  $k$  le rapport de la longueur sur la largeur de la parcelle : plus  $k$  est élevé plus l'effet de bordure devrait jouer, or on n'observe pas de corrélation linéaire significative entre  $k$  et le coefficient  $d$  (voir graphique 3).

L'effet de bordure ne suffit pas à expliquer la différence entre RS et RP pour toutes les observations : dans certains cas d'autres facteurs sont à l'origine de cette différence, mais le faible nombre de nos observations ne nous a pas permis de les reconser, a fortiori de pondérer leurs effets et leurs interactions ; on peut cependant citer que le précédent Mélinis augmente en général l'hétérogénéité de la végétation car le labour de cette culture, dans les conditions où il est effectué\* laisse un terrain extrêmement motteux en surface. Dans ce cas, il faudrait peut-être augmenter la dimension des stations.

#### 4 - Corrélation entre l'hétérogénéité de la parcelle et l'écart relatif des rendements

Il n'existe pas de corrélation linéaire significative entre les coefficients h et d (voir graphique 4). On aurait pu croire que plus la parcelle était hétérogène plus la représentativité des stations diminuait et que par conséquent, plus l'écart entre rendement par sondage et rendement par pesée totale s'accroissait.

#### 5 - Estimation du rendement réel

Pour estimer le rendement réel obtenu à partir du rendement par sondage nous retiendrons la convention suivante au vu de nos 12 observations :

- . Etant donné que l'espérance mathématique de  $d - E(d)$  - est estimé à 14,5 %, on retire au rendement par sondage 15 % (c'est en fait l'erreur systématique introduite par notre protocole de sondage du fait du choix systématique de l'emplacement des stations) pour obtenir l'estimation du rendement réel.
- . L'étendue relative (intervalle contenant la vraie valeur du rendement) de part et d'autre de cette nouvelle valeur obtenue est égale à 30 % du rendement par sondage (nous ne pouvons définir un intervalle de confiance puisque nous ne pouvons pas en fixer les bornes à un seuil de probabilité donnée faute de données en nombre suffisant, aussi parlons nous d'amplitude ou d'étendue qui est l'écart entre les valeurs extrêmes possibles). L'erreur aléatoire introduite par notre protocole de sondage est maximisée à 15 %.

$$0,7 RS < R < RS$$

RS : rendement par sondage

R : rendement réel

\* Labour à l'angady effectué sur un sol argileux en conditions sèches, rendu difficile par la présence d'un mat racinaire, et non repris avant semis par un pulvérisage.



## 6 - Estimation de la production totale

Pour estimer la production réelle on multiplie le rendement réel par la surface parcellaire. Il faut ajouter à l'erreur aléatoire due à notre protocole de sondage l'erreur due à la mesure de la surface parcellaire, erreur maximisée à 5 %.

Notre méthode de sondage nous permet d'estimer la production d'une parcelle de maïs à 20 % près.

$$RE = 0,85 RS$$

RE : Rendement réel estimé

$$ME = RE \times s = 0,85 RS \times s$$

ME : production réelle estimée

s : surface de la parcelle

Par la méthode de la pesée totale à la récolte nous estimons la production parcellaire à 5 % près (erreur lors de la pesée et erreur lors de la mesure du rapport "poids des grains à 15 % d'humidité / poids de l'épi à la récolte").

### III - REPRESENTATIVITES ET ETENDUES RELATIVES DES SONDAGES RIZ

Nous avons, durant la campagne 1972-1973, comparé les résultats obtenus par les 2 méthodes de sondage exposées et par la méthode de pesée totale, et ce sur 17 parcelles.

#### A) REALISATION PRATIQUE

##### 1 - Mesure par station

On effectue les sondages suivant les 2 protocoles sur des stations contigues 2 à 2 de façon à éviter une hétérogénéité intraparcellaire. Par convention les trois premières lignes font l'objet du sondage Mahabo, les trois suivantes du sondage Ambatolampy.

##### 2 - Mesure du rendement par pesée totale

On pèse la récolte en paddy de toute la parcelle après battage à l'aide d'un pèse-personne par lot de 100 kg environ : soit P le résultat. On prélève et on met dans un récipient hermétique au fur et à mesure de la pesée un échantillon en grains de 0,5 kg environ : celui-ci est rapporté au laboratoire, pesé ( $E_1$ ), mis à l'étuve à 100°C durant 24 heures, repesé ( $E_2$ ), vanné et repesé ( $E_3$ ) : on détermine ainsi le degré d'humidité et le taux de salissure du paddy.

$$\text{degré d'humidité} = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100$$

$$\text{taux de salissure} = \frac{E_2 - E_3}{E_2} \times 100$$

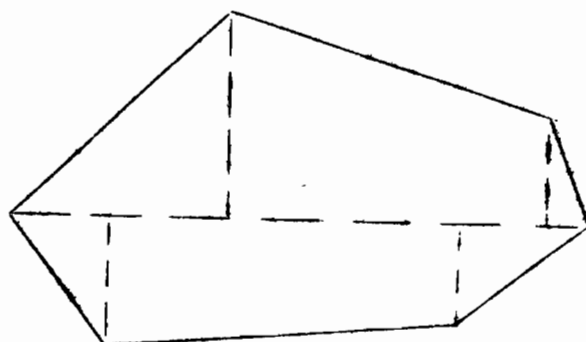
On calcule ainsi la production totale parcellaire (PP) pour du paddy propre à 0 % d'humidité :

$$PP = P \times \left(1 - \frac{E_1 - E_2}{E_1}\right) \left(1 - \frac{E_2 - E_3}{E_2}\right)$$

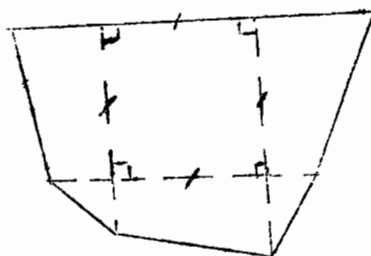
Dans le cas de 10 parcelles nous avons répété la pesée totale et la prise d'échantillon quelques jours après la première pesée (le paddy avait séché et était parfois vanné) afin d'estimer l'erreur introduite par notre méthode de pesée totale lors de l'estimation du degré d'humidité et du taux de salissure.

La surface de la parcelle est mesurée à l'aide d'un double décimètre suivant deux façons, selon la forme parcellaire :

- si la parcelle est allongée on établit une ligne de base et on décompose la surface en trapèzes rectangles et triangles rectangles de part et d'autre de cette ligne,



- si la parcelle est de forme plus ramassée on établit au centre un ou des carrés de 20 m de côté, la bordure étant décomposée en trapèzes rectangles et triangles rectangles (cas de la ligne de base).



Nous estimons l'erreur relative lors de la mesure de la surface à 5%.  
Les diguettes ne sont pas comprises dans la surface parcellaire.

## B) RESULTATS

Les résultats sont résumés dans le tableau 2.

	Rdt 1	Rdt 2	$\Delta$	Rdt M	Rdt A	DM	DA	NM	NA	TM	TA
1	1,681	1,646	2,1	1,615	1,890	-3	11,9	204	208	18	20
2	0,738	-	-	1,120	1,631	34	54,7	165	172	19	26
3	2,963	-	-	2,911	3,125	-1,8	5,2	198	192	36	40
4	2,013	1,944	3,5	2,413	3,280	17,9	39,6	186	171	30	44
5	2,085	-	-	2,886	3,351	27,8	33,8	157	165	53	58
6	1,961	1,946	0,8	2,247	2,217	13	11,9	176	185	33	35
7	1,319	-	-	1,589	1,791	17	26,4	140	138	28	32
8	1,811	1,735	4,3	2,213	2,446	20,4	27,2	112	116	60	65
9	1,603	-	-	2,133	2,229	24,9	28	130	134	26	26
10	2,792	2,960	-6,0	3,389	3,636	15,1	20,9	130	134	72	75
11	2,571	2,781	-7,9	2,982	3,182	10,3	15,9	134	137	58	61
12	2,945	2,749	6,9	3,235	3,639	12	21,7	232	231	40	36
13	2,305	2,492	-7,8	2,418	2,945	0,8	18,5	237	251	27	30
14	1,811	1,907	-5,2	2,111	2,073	11,9	10,3	201	197	32	32
15	1,307	1,190	9,3	1,935	2,166	35,5	42,3	204	218	25	26
16	-	1,907	-	2,316	2,974	17,6	37,1	201	217	37	43
17	2,438	-	-	2,188	2,749	-10,2	11,3	175	183	36	43

Tableau 2

Signification des abréviations :

Rdt 1 = Rendement estimé par la 1<sup>ère</sup> pesée (exprimé en tonne/ha pour du paddy propre à 0 % d'humidité)

Rdt 2 = Rendement estimé par la 2<sup>°</sup> pesée (exprimé en t/ha)

$$\Delta = 2 \times \frac{\text{Rdt 1} - \text{Rdt 2}}{\text{Rdt 1} + \text{Rdt 2}} \times 100$$

Rdt M = Rendement estimé par la méthode Mahabo (exprimé en t/ha)

Rdt A = Rendement estimé par la méthode Ambatolampy (exprimé en t/ha)

$$\text{Rdt R} = \frac{\text{Rdt 1} + \text{Rdt 2}}{2}$$

$$\text{DM} = \frac{\text{Rdt M} - \text{Rdt R}}{\text{Rdt M}} \times 100$$

$$\text{DA} = \frac{\text{Rdt A} - \text{Rdt R}}{\text{Rdt A}} \times 100$$

N<sub>M</sub> = Nombre de touffes des stations Mahabo

N<sub>A</sub> = Nombre de touffes des stations Ambatolampy

T<sub>M</sub> = Rendement en paddy d'une touffe Mahabo (exprimé en gramme)

T<sub>A</sub> = Rendement en paddy d'une touffe Ambatolampy

### C) - DISCUSSION DES RESULTATS

#### 1 - Degré d'humidité

Le degré d'humidité du paddy peu après le battage est en général de 25 % à 30 % (riz à bonne maturité ; 3 à 4 jours de séjour des gerbes sur la rizière après la coupe). Le degré d'humidité est plus faible si les gerbes séjournent plus longtemps sur la rizière (cas des parcelles N° 9 et 12) ou si le riz est coupé trop mûr (cas de la parcelle n° 2).

Le degré d'humidité du paddy lorsqu'il est mis en grenier varie entre 13 % et 17 %.

#### 2 - Taux de salissure

Les impuretés sont des fétus de paille, des balles de grains vides et de la poussière. Après vannage le taux de salissure varie entre 1 % et 5 %.

### 3 - Estimation de l'erreur de notre méthode par pesée totale

L'erreur introduite lors de notre méthode est essentiellement l'erreur due au prélèvement de l'échantillon pour déterminer le degré d'humidité et le taux de salissure du paddy (il y a aussi une erreur de 1 % lors de la pesée). La différence relative entre  $PP_1$  (production parcellaire calculée à partir de la 1ère pesée) et  $PP_2$  est égale à la différence relative entre Rdt 1 et Rdt 2. Elle varie entre - 10 % et + 10 %. Son espérance est égale à 0. Nous retiendrons que l'erreur relative lors de l'estimation de la production parcellaire par pesée totale est maximisée à 10 %. Dans le cas de l'estimation du rendement par pesée totale il faut ajouter à cette erreur 5 % (erreur relative due à la mesure de la surface parcellaire).

### 4 - Comparaison des rendements obtenus par sondage

Appliquons le test par paire à la différence (Rdt M - Rdt A)

$$\overline{\text{Rdt M}} = 2,335 \text{ t/ha} \quad \overline{\text{Rdt A}} = 2,004 \text{ t/ha} \quad \overline{\text{Rdt M} - \text{Rdt A}} = 0,331 \text{ t/ha}$$

$$t_{\text{Rdt M} - \text{Rdt A}} = 5,65 \quad t_{0,995} = 2,921$$

Il existe une différence significative au seuil de 1 % entre Rdt M et Rdt A ( $\text{Rdt A} > \text{Rdt M}$ ). Cette différence est peut être accidentelle, effectuons le test t par paire à la différence  $N_M - N_A$  ( $N_M$  : nombre de touffes sur les stations Mahabo -  $N_A$  : nombre de touffes sur les stations Ambatolampy) :

$$t_{N_M - N_A} = 2,06 \quad t_{0,975} = 2,12$$

Il n'existe pas au seuil de 5 % de différence significative entre  $N_M$  et  $N_A$ . Par contre si nous comparons le rendement en grains d'une touffe Mahabo  $T_M$  et celui d'une touffe Ambatolampy  $T_A$  nous trouvons :

$$t_{T_M - T_A} = 3,896 \quad t_{0,995} = 2,921$$

Il existe une différence significative au seuil de 1 % entre  $T_M$  et  $T_A$ .

Cette différence est en partie due à une perte en grains lors de la récolte plus forte pour les touffes Mahabo car celles-ci sont soumises à une manipulation plus importante, manipulation qui se rapproche d'autant plus de celle que les gerbes subissent lors de la récolte par le paysan.

### 5 - Estimation du rendement réel à partir des sondages

Au vue des résultats obtenus pour les 17 parcelles nous retiendrons les conventions suivantes pour estimer le rendement réel R à partir des rendements par sondage RM et RA :

- on retire à Rdt M 15 % de sa valeur, la valeur vraie de R (RV) est à plus ou moins 20 % de RM de part et d'autre de cette nouvelle valeur obtenue :

$$0,65 \text{ Rdt M} < RV < 1,05 \text{ Rdt M}$$

- on retire à Rdt A 20 % de sa valeur ; la valeur vraie de R est à plus ou moins 20 % de RM de part et d'autre de cette nouvelle valeur obtenue :

$$0,6 \text{ Rdt A} < RV < \text{Rdt A}$$

### 6 - Classification des rendements

Considérons les classifications des rendements, rangés par ordre décroissant, et ce pour les 3 modes d'estimation du rendement. Comparons les 2 à 2 à l'aide du coefficient de corrélation de rang de Spearman :

- $r_{RM, RA} = 0,948$
- $r_{RM, R} = 0,905$
- $r_{RA, R} = 0,833$
- valeur limite de r au seuil de 1 % pour 15 degrés de liberté : 0,606.

Les 3 modes d'estimation du rendement ne donnent pas des classifications significativement différentes au seuil de 1 % on peut donc employer l'un ou l'autre des sondages pour comparer les effets sur le rendement de différents facteurs de production.

En pratique nous préférons la méthode Ambatolampy car celle-ci ne nécessite pas d'avoir sur le terrain une balance et est plus simple dans le prélèvement de l'échantillon de touffes, quoique la méthode Mahabo fournisse un résultat plus près de la réalité.

#### IV CONCLUSION

En raison de la difficulté de faire accepter à un paysan des Hauts Plateaux Malgaches que l'on effectue la pesée totale d'une production parcellaire et aussi de la longue durée qu'une telle opération nécessite, nos observations sont en nombre insuffisant pour pouvoir déterminer avec précision la validité de nos méthodes de sondage ; elles nous ont permis cependant de tenir un raisonnement empirique au cours duquel nous avons caractérisé et fourni un ordre de grandeur de 3 types d'erreurs :

- une erreur systématique due au caractère non aléatoire de notre échantillon,
- une erreur aléatoire,
- une erreur d'appréciation (ou erreur de mesure) que nous considérons comme faisant partie de l'erreur aléatoire.

Les méthodes de sondage exposées permettent de comparer les parcelles entre elles et donnent la même classification des parcelles que celle fournie par la méthode de pesée totale, il est par conséquent tout à fait justifié de les employer pour pondérer les effets des facteurs de production et leurs interactions sur le niveau de production.

Elles permettent aussi d'estimer à 25 % près la production végétale d'une exploitation ; ce résultat doit être confronté avec celui obtenu lors d'une étude sur l'utilisation de la production (autoconsommation + ventes) afin de corroborer cette estimation.



## FICHE DE SONDAGE RECOLTE

Culture

N° Ref.

Cellule

M P L

Parc.

Date de récolte

Sta- tion	Objet	Dimension de la station : culture en ligne, Foule		Nb de lignes par m	Pds végétal	Mauvaises herbes
			Total			
1	Nb de pieds (Nb de produits par pied)					
	Pds en vert					
2	Nb de pieds (Nb de produits par pied)					
	Pds en vert					
3	Nb de pieds (Nb de produits par pied)					
	Pds en vert					
4	Nb de pieds (Nb de produits par pied)					
	Pds en vert					

Rendement

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Moyenne