FACULTE UNIVERSITAIRE DES SCIENCES
AGRONOMIQUES DE GEMBLOUX

PROGRAMME DE D.E.A.

Séminaire

Expérimentation et conception de matériels à traction animale Exemple des pays en développement

Travail personnel présenté par Michel Havard

Année académique 1996/1997

Sommaire

1. Justificatifs **1**

2. Objectifs **1**

3. Méthodologie **2**

3.1. Elaboration du cahier des charges 2
3.2. Conception, puis fabrication (ou adaptation) de prototypes 2
3.3. Essais (en milieu contrôlé et en milieu réel) et modifications des prototypes 3
3.4. Fabrication et suivis d'une présérie 4
3.4.1. Suivi de l'utilisation des équipements 4
3.4.2. Suivi des performances techniques 4
3.5. Industrialisation (Fabrication en série) 5

4. Exemple de la conception du stériculteur de nématicide à traction animale au Sénégal. 5

4.1. Justificatifs 5
4.2. L'élaboration du premier cahier des charges 5
4.3. Conception et fabrication du premier prototype 6
4.4. Essais et modifications des prototypes 6
4.4.1. Description des prototypes SISMAR 1 et 3 6
4.4.2. Le choix du coutre injecteur 7
4.4.3. Le système d'injection 7
4.4.4. Les essais d'endurance avec les chevaux 7
4.4.5. Le modèle retenu : caractéristiques et performances. 8
4.5. Fabrication et suivis de la présérie 8
4.6. Industrialisation (Fabrication en série) 9

5. Conclusions **9**

6. Bibliographie **11**

Résumé

En pratique, l'expérimentation de matériels à traction animale dans les pays en développement a été principalement technique car orientée vers la conception en réponse à des demandes de constructeurs et de structures publiques diverses (instituts de recherche et de développement agricoles, organismes de régulation...). Elle a peu répondue à la demande des utilisateurs.

Les limites et les contraintes de la principale méthode de conception de matériels agricoles "expérimentation-modifications" sont analysées à partir de l'exemple de la mise au point du stériculteur de nématicide au Sénégal entre 1982 et 1987. Ces analyses montrent que la structuration de la démarche de conception est insuffisante et trop souvent liée au rythme des financements accordés. Il en résulte des pertes de temps et d'énergie, et des coûts élevés de mise au point de prototypes. Le CIRAD travaille actuellement à la mise au point de nouvelles méthodes de conception d'équipements agricoles (dont ceux de traction animale) pour les pays du Sud à partir de résultats de recherches en génie industriel menées dans les pays du Nord.

La majorité des centres de recherches et d'expérimentation en machinisme agricole dans le monde rencontrent de plus en plus de difficultés pour concevoir et expérimenter des matériels à traction animale. Dans le contexte actuel, la conception devrait être laissée au secteur privé, ce qui permettrait à ces centres de concentrer les ressources sur la mise au point et l'exécution d'essais répondant à la demande des utilisateurs.

Mots clés : Expérimentation, conception, matériels agricoles à traction animale.

1. Justificatifs

L'introduction de la mécanisation dans un milieu donné répond à des besoins, plus ou moins clairement exprimés par les utilisateurs potentiels. Elle engendre des effets à différents niveaux d'intervention (parcelle, exploitation, région, pays), et sur de nombreux domaines (le milieu naturel, l'élevage, le travail, les revenus, l'environnement économique...).

Quand des matériels de traction animale sont introduits (choisis par les utilisateurs ou proposés par différentes structures ou projets de développement) dans un milieu donné, il est indispensable de pouvoir mesurer leurs effets sur ce milieu, qu'ils soient du domaine purement technique ou encore agronomique, social... La (les) mesure(s) de ces différents effets est indispensable pour améliorer le conseil, faire des propositions d'amélioration, de modification des techniques et des matériels, et des choix judicieux... On sait mesurer les effets techniques (essais en labo, en station, dans le milieu), ceux sur les systèmes de culture... Par contre, il est beaucoup plus difficile de mesurer les effets sur les exploitations (quels intérêts ont-elles pour mécaniser une opération culturale, comme le semis par exemple ?).

Dans cette note, sont détaillées, par rapport à une approche générale de l'évaluation de la mécanisation dans un milieu donné, les apports, les limites et les contraintes à l'expérimentation et à la conception de matériels à traction animale dans les pays en développement.

2. Objectifs

La conception et l'expérimentation de matériels agricoles visent à mettre au point des matériels adaptés aux besoins exprimés, tant sur le plan technique que socio-économique.

Concevoir un matériel, c'est l'imaginer, l'inventer, le fabriquer. L'expérimenter, c'est l'essayer, l'éprouver, l'observer et l'évaluer techniquement (caractéristiques, qualité du travail...) en milieu contrôlé et proposer des améliorations, des modifications, des adaptations, et c'est aussi évaluer ses performances techniques et économiques dans les conditions réelles d'utilisation. Dans cet ordre d'idée, l'expérimentation d'équipements a deux objectifs : aider au développement du secteur industriel à travers la construction d'équipements, et à celui du secteur agricole à travers une meilleure mécanisation (Inns 1995).

Suivant les structures, organismes, sociétés, ou tout autre demandeur, l'expérimentation vise les objectifs suivants :

- pour les fournisseurs, aider à la conception, apporter un soutien à la mise en marché par les améliorations et le "label", et confirmer que la machine répond aux normes en vigueur.
- pour les organismes de régulation, protéger la santé, l'environnement et vérifier la conformité aux normes.
- pour les organismes de conseil et les utilisateurs, fournir des informations permettant d'orienter les choix.

S'intéresser à la traction animale, n'a pas d'incidence sur les aspects méthodologiques. Simplement les matériels généralement employés avec des animaux de trait sont moins complexes que ceux entrainés par des moteurs ou des tracteurs, donc leur conception et leur expérimentation dans les pays en développement sont possibles. A titre d'exemple, les calculs de résistances des matériaux sont plus simples pour des outils de traction animale et les types et le nombre de composants utilisés moins nombreux.

3. Méthodologie

L'analyse détaillée d'une demande, d'un besoin de mécanisation d'une (ou de plusieurs) opération, d'une tâche aboutit à la définition d'un cahier des charges qui détermine les caractéristiques et les performances technico-économiques des matériels à mettre au point, ou à introduire.

Ce processus de conception/expérimentation sur la base de la méthode "expérimentation-modification", faisant intervenir différents partenaires (les demandeurs, les constructeurs, les centres d'expérimentation...), se décompose en plusieurs phases qui se succèdent dans le temps (Figure 1) :

- Elaboration du cahier des charges ;
- Conception puis fabrication (ou adaptation) de prototypes ;
- Essais et modifications des prototypes ;
- Fabrication et suivi d'une présérie
- Industrialisation (fabrication en série)

Cette présentation est illustrée par la mise au point et les essais du stériculteur de nématicide à traction animale au Sénégal, réalisés entre 1982 et 1987 (paragraphe 4).

3.1. Elaboration du cahier des charges

L'élaboration du cahier des charges consiste à analyser les besoins (les demandes) et à les traduire en conditions, caractéristiques et performances que devront remplir les matériels mis au point. Cette phase très importante, conditionnant l'ensemble des opérations ultérieures, doit être réalisée en collaboration entre les utilisateurs potentiels, les ingénieurs d'encadrement spécialisés et le bureau d'étude du constructeur retenu.

La méthode "expérimentation-modification", couramment employée, doit être menée avec soin et avec le plus de détails et de rigueur possibles, car l'expérience montre que les cahiers des charges sont souvent trop vagues, occasionnant des pertes de temps et d'argent importantes. Cette méthode entraine parfois une complexification du prototype, par de nouvelles fonctions venant se greffer sur celles imaginées initialement qui vont amener la fabrication d'une série de prototypes dérivant progressivement des concepts initiaux.

La recherche de nouveaux partenaires commerciaux pour la fabrication et la distribution éventuelle du prototype final se traduit souvent par de nouvelles modifications du cahier des charges.

Ce nombre élevé de bouclages se traduit par un coût et un délai de mise en marché non maitrisés du prototype final.

3.2. Conception, puis fabrication (ou adaptation) de prototypes

Sur la base du cahier des charges, la première chose à faire est de vérifier qu'il n'existe pas, parmi les matériels existants, des matériels susceptibles de convenir. Si c'est le cas, ces derniers seront expérimentés avant de se lancer dans la conception de nouveaux matériels. Cette recherche d'informations a souvent été insuffisante, voire ignorée. Il en a résulté que de nombreux centres d'expérimentation de machinisme agricole ont, soit réinventé des matériels existants, soit mis au point parallèlement des matériels similaires (exemple des polyculteurs de traction animale, Starkey 1993). Jusqu'à présent, les différentes tentatives d'échanges d'information, de collaboration entre centres de recherche en mécanisation, entre constructeurs par le biais de

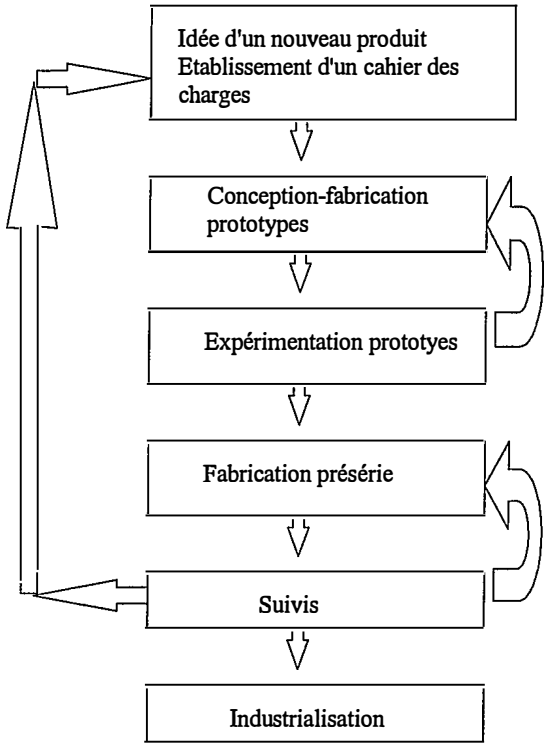


Figure 1. La méthode classique de conception dans les pays en développement

réseaux sont restées insuffisantes. L'Association Euro-Africaine des centres d'études du machinisme agricole (ACEMA), créée en 1985 pour mettre en relation des centres de pays du nord avec ceux d'Afrique ne s'est plus réunie depuis 1990. Les échanges d'information, les collaborations peuvent pourtant se faire par le canal d'autres réseaux, pas forcément spécifiques de la traction animale : i) le réseau ouest africain de la traction animale (ROATA), ii) the Animal Traction Network for Eastern and Southern Africa (ATNESA), iii) the Regional network for Agricultural Machinery (RNAM). Des organismes internationaux peuvent aussi être consultés : la FAO, le GRET (Groupe de Recherche et d'Echange Technologique, Paris), l'ITDG (Intermediate Technology Development Group, Londres), le CIRAD, l'ONUDI (Orgnaisation des Nations Unies pour le développement industriel), l'ARCEDEM (African Regional Center for Engineering, Design and Manufacturing) au Nigéria semble peu efficace.

S'il n'existe pas de matériels existants adaptés ou adaptables, la recherche de principes sera initiée, puis des solutions techniques choisies. Celles-ci permettront de définir le produit et de faire fabriquer l'équipement par des constructeurs locaux, avec l'appui éventuel de centres de recherche et d'expérimentation en machinisme agricole. Quand un modèle satisfaisant sort des ateliers de fabrication, il doit être expérimenté.

Lors de l'introduction de la traction animale en Afrique Sub Saharienne, il n'existait pas de constructeurs de matériels agricoles. Les premiers matériels ont été importés, puis petit-à-petit, adaptés (voire conçus) aux conditions locales par les centres de recherche et départements de machinisme agricole des universités des pays. Malgré l'émergence d'industries et de petites et moyennes entreprises de fabrication de matériels agricoles à traction animale dans les principaux pays africains, les centres de recherche et les universités ont généralement peu travaillé les constructeurs, sauf dans le cadre de projets et de conventions sur financements extérieurs (exemple du stériculteur de nématicide Sismar au Sénégal, chapitre 4).

Néanmoins, les constructeurs locaux (industriels et artisans), sont fortement impliqués dans la reproduction de matériels ayant fait leur preuve. Des adaptations et modifications légères sont parfois réalisées à la demande des utilisateurs. La conception reste encore limitée dans ces entreprises dont les bureaux d'études sont petits ou inexistants.

3.3. Essais (en milieu contrôlé et en milieu réel) et modifications des prototypes

En milieu contrôlé, les essais ont plusieurs finalités :

- dans le processus de mise au point de matériels : s'assurer que les machines fonctionnent et que leurs caractéristiques correspondent aux cahiers des charges, détecter les problèmes techniques et les améliorations à y apporter... ;
- avant la diffusion de matériels nouveaux : vérifier que leurs caractéristiques sont conformes, qu'ils satisfont aux normes exigées.... ;
- comparer des matériels aux caractéristiques semblables.

Les premiers essais sont réalisés en milieu contrôlé, à partir de protocoles précis et standardisés (méthodes regroupées dans des procédures et codes d'essai), par des centres spécialisés ce qui permet de les homologuer ; exemple de l'OCDE pour les essais de tracteur en Europe. Il est nécessaire de disposer d'appareils de mesure performants.

Les essais comparatifs sont conduits sur plusieurs équipements travaillant au même moment et au même endroit pour faire en sorte que les conditions de sol et de culture soient identiques. Ces essais sont souvent les plus intéressants pour les utilisateurs de machines, car ils donnent,

normalement, une information directement utile et facile à comprendre par l'utilisateur, ce qui permet de classer la machine pour chacune des caractéristiques de performance, qualité, facilité d'opération, réglage, maintenance... Il pourra décider à quel facteur accorder le plus d'importance en fonction de ses conditions de travail.

Quand le matériel satisfait aux essais en milieu contrôlé, des mesures ont lieu dans les conditions réelles d'utilisation pour avoir une première idée du fonctionnement, des performances et de l'acceptation du matériel par les utilisateurs potentiels. Des protocoles standardisés sont utilisés, mais ils sont simplifiés par rapport à ceux retenus pour les essais en milieu contrôlé, car les conditions de travail sur le terrain ne sont pas aussi faciles à maîtriser : matériels de mesure difficiles, voire impossible à transporter ou à utiliser, maîtrise incomplète des conditions de travail...

3.4. Fabrication et suivis d'une présérie

Quand un prototype satisfait au cahier des charges, et passe avec succès les essais en milieu contrôlé et en milieu réel, une présérie (quelques dizaines d'exemplaires) est fabriquée. Les machines sont confiées à des utilisateurs potentiels, et les conditions de travail et les performances correspondantes sont suivies.

Les suivis rapprochés d'un nombre limité de machines sur une période plus ou moins longue (1 à 3-4 ans) suivant les types de matériels, le lieu, les conditions d'utilisation, sont nécessaires pour appréhender leurs performances, mais aussi les contraintes à leur utilisation, qu'elles soient d'ordre technique (casses, pannes...), économique (approche des coûts d'utilisation), et/ou social (acceptation par les utilisateurs).

Les suivis d'équipements sont de deux types.

3.4.1. Suivi de l'utilisation des équipements

Ce suivi prend en compte les travaux effectués, l'entretien du matériel, le mode de gestion (personnel utilisé, organisation du travail, facturation et paiement des travaux...). Des carnets et modèles de fiches leur sont fournis pour les aider à relever les informations après une formation préalable.

Dans beaucoup de situations, les utilisateurs sont encore analphabètes, ou peu enclins à noter des informations, aussi il est nécessaire de faire des vérifications périodiques rapprochées, ou de recruter des personnes spécialement chargées de ces suivis.

Ces suivis permettent de vérifier le fonctionnement des matériels sur le terrain, de déterminer leur robustesse, de détecter les problèmes liés à l'usure (points fragiles), d'effectuer une prmeière approche des performances technico-économiques...

3.4.2. Suivi des performances techniques

Les données sur les performances techniques, les conditions de travail... ne sont pratiquement jamais relevées par les utilisateurs.

Les mesures de performances plus précises ("au champ"), indispensables pour comprendre et porter un jugement sur les conditions d'utilisation et par déduction proposer des voies d'amélioration, sont du ressort du personnel des structures d'appui (centres techniques, centres de mécanisation, instituts de recherche...). Afin d'alléger et d'améliorer la fiabilité des mesures (rapidité d'exécution et multiplication des observations) et des suivis, l'utilisation des chaines de mesure embarquée augure des perspectives intéressantes : mesures de grandeurs impossibles,

voir très lourdes avec les méthodes classiques (efforts de traction, profondeur de travail....), précision des relevés des suivis par l'utilisation de boites noires vidées périodiquement, 1 à 2 semaines, voire plus.

Le relevé des conditions de travail s'intéresse ici aux données générales des conditions d'utilisation des matériels (état du sol, de la végétation, réglages des matériels par les utilisateurs...) qui doivent toujours accompagnées les mesures de performances, d'où la nécessité de fiches en complément à l'utilisation des chaines de mesure.

Après analyse, les résultats de ces deux types de suivi sont restitués aux utilisateurs à leur demande.

3.5. Industrialisation (Fabrication en série)

Après les dernières adaptations sur les matériels de présérie, les matériels peuvent être fabriqués en série, et mis en vente sur le marché.

4. Exemple de la conception du stériculteur de nématicide à traction animale au Sénégal.

4.1. Justificatifs

Dans les régions de Louga, Thies et Diourbel au Sénégal, l'ORSTOM (Institut Français de Recherches pour le Développement en Coopération) a montré l'efficacité des traitements nématicides au DBCP sur les cultures annuelles, et sur l'arachide en particulier. Les résultats obtenus sont très importants sur les rendements de l'arachide (+ 50 à + 80 % pour les gousses et pour les fanes), mais aussi pour les autres cultures en rotation. Le nématode (*Scutellonema cavnessi*) est détruit par une dose de 15 kg de DBCP m.a. diluée à 100 l/ha.

Les premières parcelles d'essais ont été traitées avec un pal injecteur manuel, technique non vulgarisable à grande échelle. Des matériels motorisés existent, mais ils sont onéreux et peu adaptés aux conditions de cultures du Sénégal : parcelles petites, insuffisamment déssouchées, exploitations de petites tailles. Le seul moyen de vulgariser cette technique à grande échelle est l'utilisation d'un appareil à traction animale à mettre au point. Les animaux les plus utilisés sont les chevaux. En 1981, la région de Diourbel comptait 41 000 équins, 16 000 asins et seulement 1 500 paires de bovins. La principale contrainte est le faible effort de traction disponible (45 kg) car les chevaux sont généralement utilisés seuls.

4.2. L'élaboration du premier cahier des charges

Le produit nématicide utilisé (le némagon) est efficace dès les premières pluies lorsque les nématodes se remettent en activité. Cette période est aussi celle pendant laquelle le semis doit être réalisé.

Le premier cahier des charges sur lequel a travaillé le CEEMAT (Centre d'Etudes et d'Expérimentation du Machinisme Agricole Tropical) en 1982 était le suivant :

1. L'appareil doit réaliser simultanément le traitement nématicide et le semis pour éviter les pertes de temps ; il doit être tiré par un cheval (45 kg d'effort de traction), être une machine spécialisée (injecteur) sur laquelle sera adaptée une trémie de super-éco

2. L'injection est efficace à au moins 25 cm de profondeur, tous les 30 cm, afin que l'ensemble du volume de sol abritant les nématodes soit traité par la diffusion du produit.

3. Le débit de la pompe doit être proportionnel à l'avancement.

4. Le némagon étant un fumigant, le sillon ouvert par le coûtre injecteur doit être refermé.

4.3. Conception et fabrication du premier prototype

En 1982, le CEEMAT a construit dans les locaux de la SISMAR (Société Industrielle Sahélienne de Matériel Agricole et de Représentation) un prototype comprenant : i) un bâti spécifique avec 2 roues à l'avant et une à l'arrière, ii) un système d'injection avec un réservoir de 20 l pour le produit, une pompe péristaltique entrainée par une des roues, 2 coutres injecteurs, et un tuyau souple allant du réservoir au coutre, et iii) une partie semoir composée d'une trémie de super-éco (semoir monorang diffusé au Sénégal) avec les organes d'enterrage et de recouvrement ; le système de distribution est entrainé par une des roues.

4.4. Essais et modifications des prototypes

Les essais du premier prototype n'ont pas été concluants, car un seul cheval n'a pas réussi à tirer cet appareil, même avec un seul coutre.

Les modifications suivantes ont été proposées à l'ORSTOM : revoir le cahier des charges en réduisant la profondeur d'injection, et augmenter l'écartement entre deux passages afin de n'utiliser qu'un seul coutre. Pour celà, l'ORSTOM a mis en place, en hivernage 1982, des essais pour vérifier l'efficacité du produit à différentes profondeurs et à différents interlignes. L'analyse des résultats de ces essais, a permis de ramener les exigences sur la profondeur de 25 à 12 cm et la distance entre les lignes traitées à environ 50 cm (soit un interligne sur arachide) ce qui permet de n'utiliser qu'un seul coutre.

Cette modification du second point du cahier des charges rendait à nouveau possible la réalisation du projet. L'ORSTOM et la Direction de la protection des végétaux, ont alors pris contact avec la SISMAR pour la conception de nouveaux prototypes et l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA) pour la réalisation des expérimentations en milieu contrôlé et en milieu paysan.

Trois prototypes différents ont été réalisés puis modifiés au fur et à mesure des essais (Photos). Seuls le premier et le troisième sont décrits, le second n'étant qu'une version allégée du premier.

4.4.1. Description des prototypes SISMAR 1 et 3

Sur le n°1, le réservoir de 27 l est sur les roues avant, la trémie du super-éco juste derrière. Une pompe péristaltique de fabrication SISMAR à trois galets de 420 l/ha est entrainée par une chaîne à partir d'une des roues avant. Cet appareil pèse 65 kgs à vide et 100 kgs en pleine charge, et mesure 1,25 m de long. Le coutre est décalé sur le côté du soc semeur de 4 cm pour éviter de déterrer les graines. Il fait 8 mm d'épaisseur et travaille à 15 cm de profondeur.

Sur le n°3, des réductions de la largeur du coûtre et de la profondeur de travail se traduisent par un effort de traction plus faible (environ 50 kgs), ce qui permet d'alléger la structure du bâti, et d'utiliser les roues du semoir super-éco. L'utilisation d'une pompe péristaltique plus précise et de plus faible débit a permis de réduire la capacité du réservoir à 10 l au lieu de 20 l. Ceci permet de retenir la configuration du super-éco, en plaçant la trémie du semoir sur les roues avant et le réservoir de produit sur la roue plombeuse arrière. Dans cette configuration, l'appareil fait 40 kgs à vide, soit 10 kgs de plus que le super-éco. Il est utilisé avec un coutre de 6 mm d'épaisseur en acier mi-dur résistant à la flexion.

En milieu contrôlé, l'effort moyen enregistré est de 55 kgs, ce qui limite les temps de travaux journaliers des chevaux à 3 h environ, soit 4 000 m^2 de surfaces ensemencées et traitées.

4.4.2. Le choix du coutre injecteur

Dans le choix du coutre injecteur, plusieurs objectifs sont recherchés : réduire le plus possible l'effort de traction, résister à l'usure, et ne pas déterrer les graines.

Pour ce faire, quatre épaisseurs (4, 5, 6 et 8 mm) et deux positions (derrière et soudé sur le soc semeur) du coutre testées ont donné les résultats suivants :

- à profondeur de travail égale entre 10 et 18 cm, les efforts enregistrés sont peu différents entre les coutres de 4 à 6 mm d'épaisseur ; le 6 mm a été retenu car il est difficile de souder le tuyau d'injection sur les 4 et 5 mm ;

- les efforts enregistrés avec le coutre sur le soc semeur sont équivalents à ceux obtenus avec un coutre et un soc semeur indépendant ; cette configuration du coutre soudé sur le soc semeur, de par sa position avancée, rend difficile les manoeuvres en bout de ligne ; ne présentant aucun avantage, cette configuration a été abandonnée ;

- les efforts moyens enregistrés à 15 cm de profondeur sont de 55 kg ; pour atteindre les 45 kg recherchés, il faut soit réaliser le semis et le traitement simultanés à 10 cm de profondeur, soit réaliser le traitement seul à 12/13 cm de profondeur ;

- l'usure des coutres de moins de 8 mm est extrêmement rapide (2 ha pour le 6 mm) ;

- le coutre doit avoir un angle d'entrure minimum de 10° pour se maintenir seul dans le sol.

4.4.3. Le système d'injection

Les différents tests au banc et au champ en milieu contrôlé visaient les mesures de débit et les problèmes liés à l'utilisation (autonomie, fonctionnement, fiabilité et entretien).

La SISMAR a préféré fabriquer sa propre pompe, plutôt que d'importer des modèles de laboratoire qu'elle estimait trop couteux. Après quelques tatonnements, elle a proposé un modèle à 4 galets presseurs avec un corps en aluminium qui sera par la suite en acier galvanisé vu la forte corrosion des corps en aluminium sur les modèles de pré-série (photos). De nombreux problèmes ont été constatés à l'utilisation (mauvais alignement des pignons d'entrainement, usinage trop approximatif du corps de pompe provoquant des ruptures du tuyau souple). En dernier ressort, la SISMAR remplacera cette pompe par un modèle importé plus fiable et en définitive pas plus cher (Fabriquée par les établissements Dosatron).

Entre le débit de la pompe au banc et celui mesuré sur le terrain, une différence de 7 % due au glissement des roues a été constatée.

4.4.4. Les essais d'endurance avec les chevaux

On admet généralement qu'un cheval de 300 kg peut fournir un effort moyen de 45 kg. Les ânes et les chevaux peuvent atteindre 1/4 à 1/6 de leur poids en effort continu pendant 3 à 4 h/j. Il est aussi reconnu que pour des efforts moindres, entre 15 et 25 kg avec un semoir super-éco par exemple, un cheval peut travailler jusqu'à 8 h/j.

Les essais ont été effectués sur des sols dior (sableux), les plus répandus dans la zone et sur lesquels l'arachide est semée. Le terrain a été préalablement humidifié sur 20 cm de profondeur, car cette opération doit être réalisée en humide.

Avec l'appareil équipé d'une rasette, du soc semeur, d'un coutre de 6 mm, et le réservoir de 20 l à moitié rempli, les essais ont été réalisés à trois profondeurs (16, 12 et 10 cm). Les résultats suivants ont été obtenus :

- à 16 cm de profondeur, l'effort moyen demandé atteint 65 à 70 kg ; c'est trop pour un cheval qui ne peut pas travailler plus de 2 h/j, soit 3 000 m^2 ;

- entre 10 et 12 cm, l'effort requis est acceptable (50 kg) ; un cheval peut travailler 4 h/j et préparer 4 500 m^2.

4.4.5. Le modèle retenu : caractéristiques et performances.

Sur le prototype n°3, divers essais ont été effectués sur les largeurs de coutre (4, 5 et 6 mm), sur la place du coutre (décalé derrière le soc semeur ou fixé sur ce dernier). Le modèle retenu pour la fabrication en présérie a les caractéristiques suivantes :

- un bâti en tube carré de 30 x 20 ;

- un réservoir de 10 ou 20 l en tôle fixé au-dessus de la roue plombeuse ;

- une pompe péristaltique en aluminium, composée de 4 galets presseurs et entrainée par une roue au moyen d'un système à chaîne et pignons, dont le débit est de 98 l/ha à 0,45 m d'interligne ;

- un coutre injecteur de 6 mm d'épaisseur en acier mi-dur résistant à la flexion et décalé de 4 cm sur la droite du soc semeur pour ne pas déterrer les graines ; un tuyau rigide soudé à l'arrière du coutre permet d'enfouir le produit nématicide ; il est relié à la pompe et au réservoir par un tuyau souple supportant l'écrasement des galets presseurs ;

- une trémie de semoir super-éco avec ses deux roues d'entrainement.

Ce stériculteur permet de réaliser simultanément au semis le traitement nématicide en sol humide. Le semis de l'arachide et le traitement sont réalisés à 0,45 cm d'interligne. Le produit, enfoui à 15 cm de profondeur, diffuse verticalement et latéralement, ce qui permet de traiter totalement une couche de sol d'environ 30 cm d'épaisseur.

4.5. Fabrication et suivis de la présérie

Une présérie de 36 appareils a été mise en place en 1984 chez des paysans, qui devaient mettre en comparaison 1/2 ha traité et 1/2 ha de témoin.

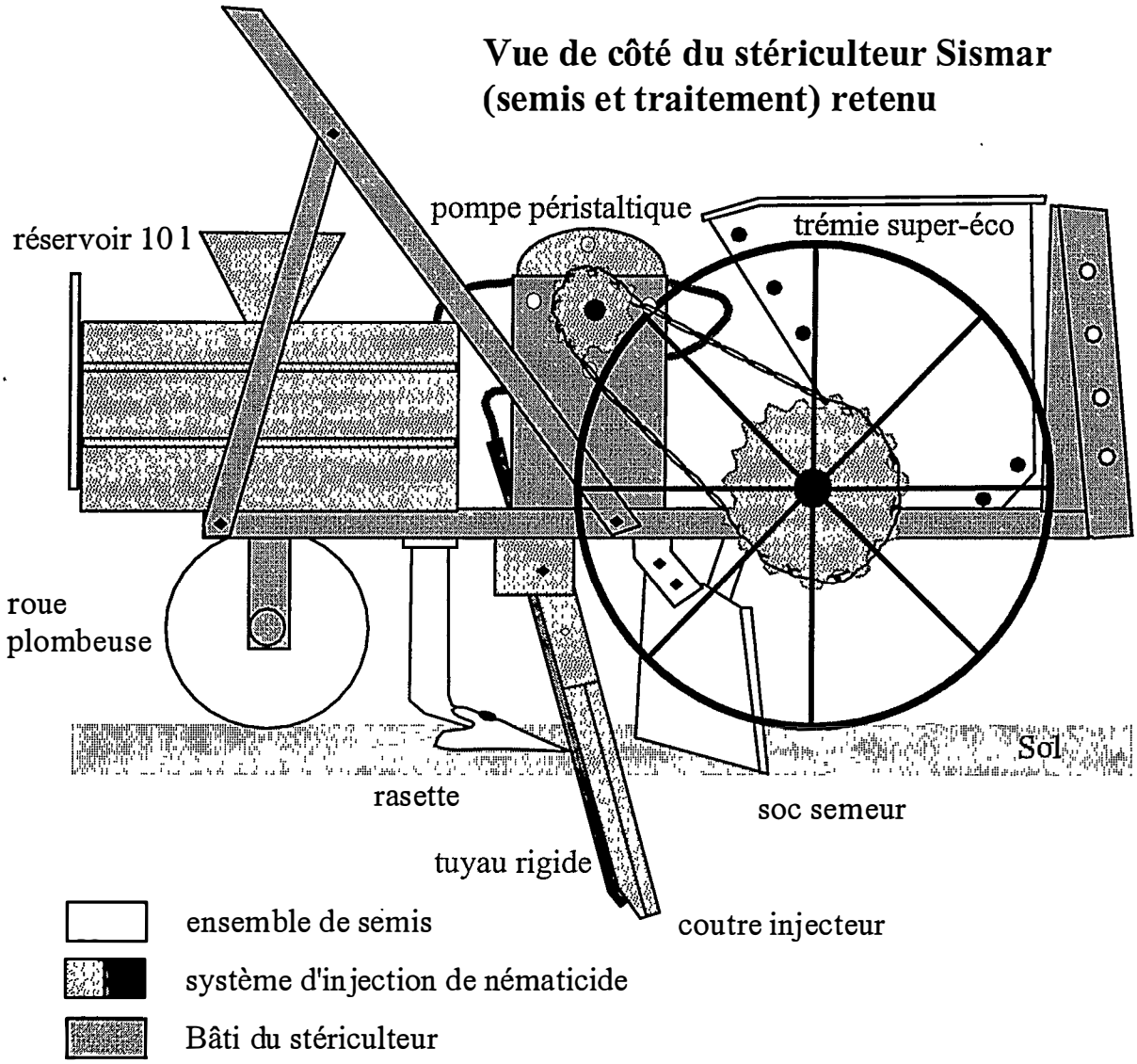
Le suivis de l'utilisation des appareils a montré que seul un appareil a été utilisé avec une paire de boeufs, les autres ont été tirés par des chevaux. Le semis et le traitement ont été réalisés simultanément. Seul quelques paysans ont profité d'une première pluie pour faire le traitement car ils n'étaient pas prêts pour le semis. La profondeur moyenne de traitement mesurée est de 12 à 13 cm et l'effort moyen enregistré est voisin de 45 kg. C'est pourquoi, le chevaux ont souvent travaillé plus de 3 h/j. De nombreuses anomalies ont été relevées sur le fonctionnement de la pompe péristaltique et comme prévu une usure rapide des coutres.

Ces suivis ont montré que techniquement ce traitement peut être effectué en traction équine, mais il reste à préciser les paramètres économiques : prix de vente élevé (2 fois le prix d'un super-éco environ, c'est-à-dire 120 à 130 000 fcfa) de l'appareil comprenant une trémie de semoir et un distributeur de produit nématicide. Pour rémédier à celà, il est possible de proposer aux paysans le bâti avec la pompe, le coutre et le réservoir seulement. Ils pourront y adapter la trémie de leur semoir super-éco.

A l'issue de cette campagne de suivi, les propositions suivantes ont été faites :

- proposer chaque année avec le produit deux coutres neufs pour remplacer ceux usés ;

- mettre au point un appareil spécifique de traitement pour ceux qui veulent traiter avant ou après le semis, ce qui permet de réduire considérablement les coûts (70 000 Fcfa en 1987).


Vue de côté du stériculteur Sismar
(semis et traitement) retenu
pompe péristaltique
trémie super-éco
réservoir 10 l
roue
plombeuse
Sol
rasette
soc semeur
tuyau rigide
coutre injecteur
ensemble de semis
système d'injection de nématicide
Bâti du stériculteur

Cette dernière solution a été retenue par l'ORSTOM, la DPV et la SISMAR à partir de 1985.

4.6. Industrialisation (Fabrication en série)

En 1988, 3 500 ha ont été traités avec 600 appareils spécifiques. Le traitement est effectué 10 jours après semis en moyenne, à 12 cm de profondeur dans chaque interligne. Les temps de travaux sont de 10 h/ha. Sur le dernier appareil SISMAR, la pompe péristaltique a été remplacée par une pompe de laboratoire plus précise, le réservoir est en plastique, l'entrainement de la pompe est assuré par un galet en caoutchouc frottant sur un tambour solidaire de l'axe de la roue.

L'appareil combiné à un semoir n'est quasiment plus demandé car il est moins souple d'utilisation et plus difficile à entrainer.

Dès 1990, avec l'arrêt du financement du projet de la Direction de la protection des végétaux, plus aucun appareil n'a été placé auprès des paysans qui d'eux-mêmes n'ont pas continué à effectuer les traitements contre les nématodes. Plusieurs raisons permettent de l'expliquer : l'augmentation de production attendue sur arachide est aléatoire et fonction de la pluviométrie, le produit est relativement cher et difficile à trouver. De plus, les produits nématicides utilisés présentent des risques pour la santé.

L'évolution importante du cahier des charges montre que les premières réflexions sur les fonctions et caractéristiques de l'équipement à mettre au point ont été insuffisantes. Ceci s'est traduit par des pertes de temps et d'énergie et par des coûts de mise au point plus élevés (fabrication de prototypes qui n'aurait pas dû avoir lieu).

5. Conclusions

On constate dans la pratique (ce que confirme l'exemple présenté), que l'expérimentation de matériels a surtout été orientée vers la construction d'équipement, ce qui l'a rendue très technique, sans qu'elle réponde vraiment à la demande des utilisateurs. Ces derniers veulent des informations sur les performances comparatives de l'ensemble des machines disponibles, performances mesurées au champ dans des conditions similaires à celles qu'ils trouvent chez eux, et décrites en des termes compréhensibles (Inns 1995).

La méthode "expérimentation-modification", couramment employée, doit être menée avec soin et avec le plus de détails et de rigueur possibles, car l'expérience montre que les cahiers des charges sont souvent trop vagues, occasionnant des pertes de temps et d'argent importantes. On constate que la structuration de la démarche de conception adoptée est généralement insuffisante, son évolution liée au rythme des financements accordés, et la capitalisation scientifique est rarement assurée. Il apparait intéressant de mener des recherches pour définir un processus de conception d'équipements agricoles à traction animale, permettant de développer localement des capacités à répondre de façon optimale aux demandes de ce secteur, sachant que la construction artisanale est de plus en plus répandue.

Le CIRAD travaille sur de nouvelles méthodes de conception d'équipements agricoles, agroalimentaires et énergétiques dans les pays du sud, à partir des résultats de recherches en génie Industriel menées dans les pays du Nord avec l'objectif de minimiser les délais et les coûts d'études entre l'identification du besoin et sa réponse industrielle correspondant au besoin réel des utilisateurs finaux (Giroux et Marouzé 1996). Ces recherches ont permis de définir la conception de produit comme une activité pluridisciplinaire transversale (marketing, qualité, ergonomie, design, génie mécanique...) (Aoussat 1990), qui se décompose en plusieurs phases constituant les états de représentation du produit (Figure 2). Un autre point caractéristique est de

raisonner en terme de fonctionnalité sans références aux solutions techniques. Le modèle fonctionnel permet de décrire le produit comme un ensemble organisé de fonctions visant à répondre à un besoin donné ; une fonction étant une opération unique. Une étude du laboratoire Conception de Produits Nouveaux de l'ENSAM Paris a montré que l'application de cette approche par rapport à une démarche classique a permis d'augmenter les chances de réussite de projets d'innovation de 25 % dans le secteur industriel (Aoussat 1995). Qu'en sera-t-il de la conception des matériels agricoles à traction animale ?

La majorité des centres de recherche et d'expérimentation en machinisme agricole dans le monde, rencontrent de plus en plus de difficultés pour expérimenter et concevoir des équipements à traction animale. Ces difficultés sont principalement d'ordre financier car les états n'ont pas les moyens d'investir dans des essais de matériels nouveaux, et en plus, les essais complets et détaillés sont trop fastidieux et trop longs. Pour ces centres, l'obligation de résultats immédiats et la possibilité de changer d'orientations et de programmes tous les 2 à 3 ans (parfois plus rapidement), ne sont pas compatibles avec des études d'adaptation, de recherche de nouveaux matériels, ni d'essais complets en milieu contrôlé. La conception et la fabrication devraient être laissées au secteur privé, ce qui permettrait de concentrer les ressources sur la mise au point et l'exécution d'essais répondant à la demande des utilisateurs (mise au point de protocoles d'essais).

Ces appuis financiers peuvent difficilement être obtenus auprès des industriels locaux à cause de l'étroitesse du marché : les exemples récents d'études locales en Afrique Sub Saharienne ont toujours bénéficié d'appui de financements extérieurs (intérêts des bailleurs, constructeurs ou organismes de coopération) pour les études industrielles et pour les essais et suivis en milieu réel ; ce fut le cas de la CCCE (Caisse Centrale de Coopération Economique devenue depuis Caisse Française de Développement) avec le stériculteur de nématicide entre l'ISRA, l'ORSTOM et la SISMAR au Sénégal.

Dans les pays en développement, il est important de continuer à favoriser la conception locale (aides à l'installation, accès aux crédits pour les artisans et petites et moyennes entreprises spécialisés dans l'équipement agricole, avantages fiscaux...) pour la rendre concurrentielle des matériels importés. En effet, l'expérimentation de matériels agricoles de fabrication artisanale fait défaut.

Pour le financement des essais en milieu controlé et en conditions réelles, il est possible d'envisager plusieurs possibilités : i) une taxe de 0,5 % à 1 % sur tout matériel importé, ii) les prêts d'équipements par les constructeurs et fournisseurs, très peu pratiqués dans les pays en développement, afin de limiter les investissements et donc de réduire considérablement les coûts des essais, et iii) un autre moyen, déjà pratiqué, consiste à faire payer les essais demandés par des fournisseurs et constructeurs.

6. Bibliographie

Aoussat A., 1990. *La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle.* Thèse ENSAM, Paris

Aoussat A., 1995. *Création d'un centre d'innovation pour petites et moyennes industries et petites et moyennes entreprises.* Conférence ENSAM, Paris.

Baujard P., Duncan L., Germani G., 1984. Les traitements nématicides dans le bassin arachidiei sénégalais. Résultats des campagnes 1981, 1982, 1983. *Rapports ORSTOM*, 41 p.

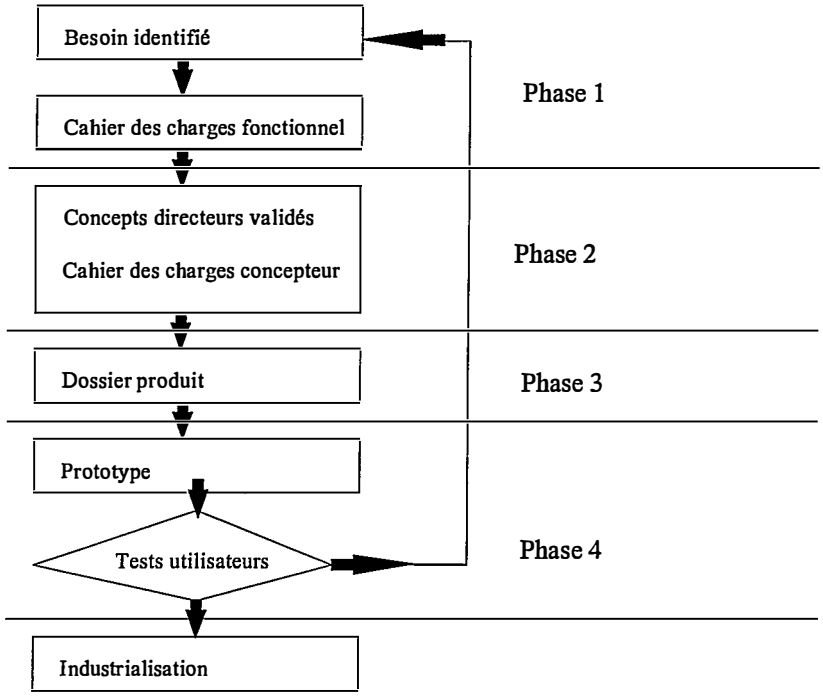


Figure 2. La conception de produits selon Aoussat

Ceemat, 1976. Les essais de matériel agricole à traction animale. *Collection techniques rurales en Afrique*, Ministère de la Coopération.

Dhery M., 1988. Un appareil à traction animale pour le traitement des arachides contre les nématodes : le stériculteur "Sismar". *Oléagineux, vol.43, n°7* : 307-310.

Havard M., 1983. *Essai du distributeur de nématicide SISMAR*. Bambey, ISRA, 11 p. Document confidentiel

Havard M., 1984. *Résultats des essais en station et du suivi en milieu réel du stériculteur SISMAR*. Campagne 1984. Bambey, ISRA, 22 p.

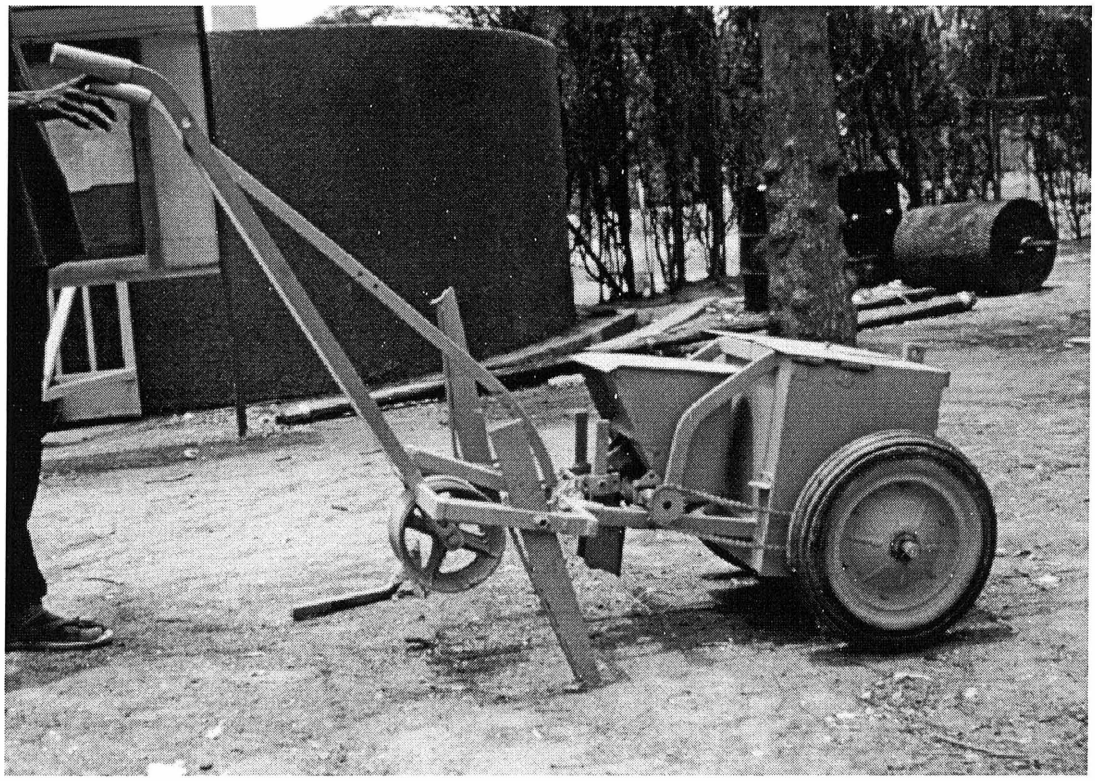
Havard M., 1984. Résultats des essais de mises au point du distributeur de nématicide SISMAR. Conditions d'utilisation et propositions pour l'amélioration des performances. *Etude technique du CNRA Bambey 12/84*, 32 p.

Inns F.M., 1995. Sélection, essai et évaluation de machines et équipements agricoles. Théorie. *FAO Agricultural services bulletin 115*, 77 p.

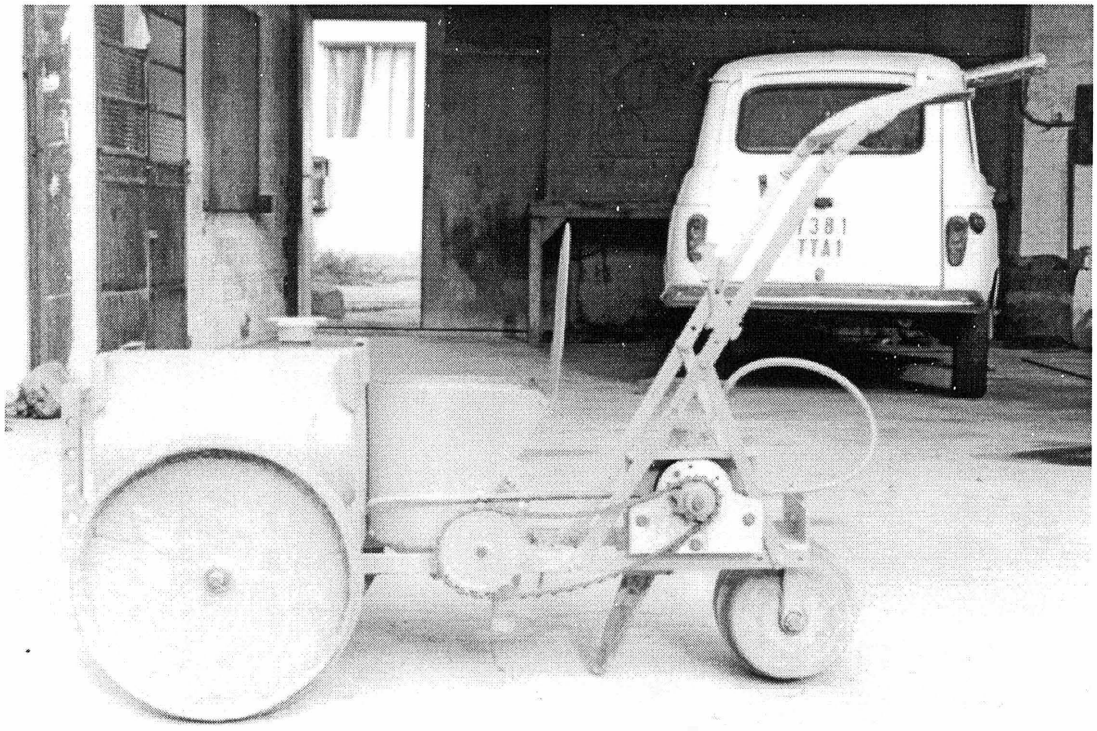
Giroux F., Marouze C., 1996. *Méthodes de conception d'équipements agricoles et agro-alimentaires et énergétiques dans les pays du sud.* Action thématique programmée n°50/96. Montpellier, CIRAD-SAR, 25 p.

Smith D.W., Sims B.G., O'Neill D.H., 1994. Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment. *FAO Agricultural services bulletin 110*, 274 p.

Starkey P., 1993. Polyculteur à traction animale : bien conçu, mal perçu. Vieweg.



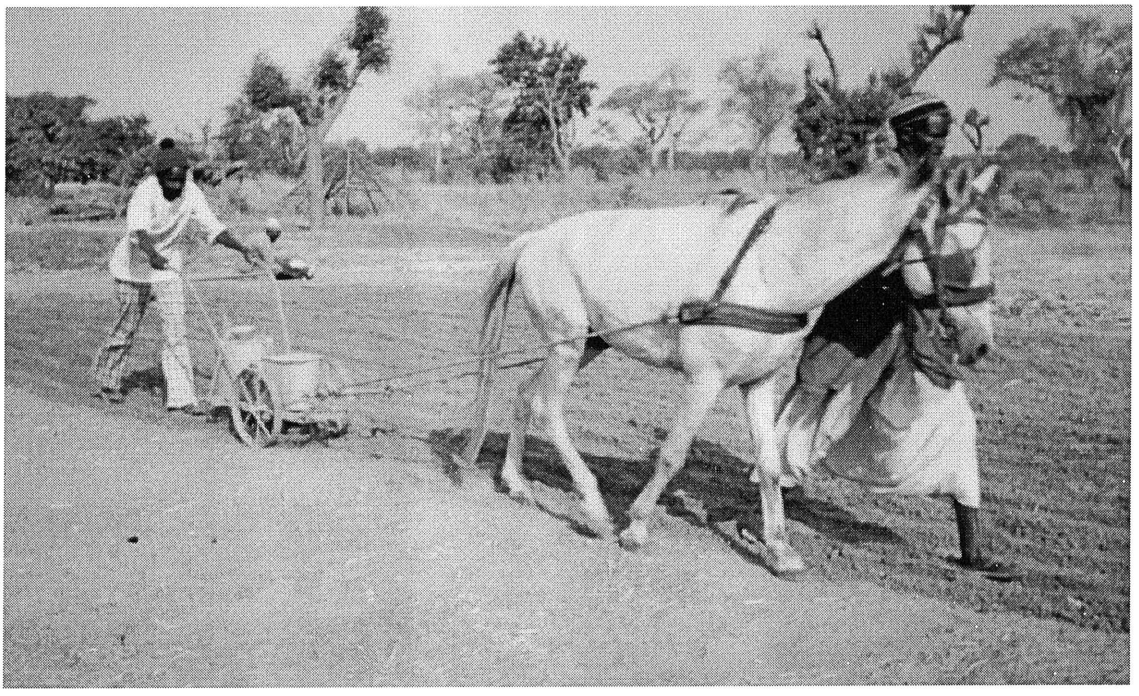
Stériculteur. Prototype CEEMAT.
Usine SISMAR, Sénégal. Photo : M. Havard



Stériculteur. Prototype SISMAR n°1.
CNRA Bambey, Sénégal. Photo : M. Havard

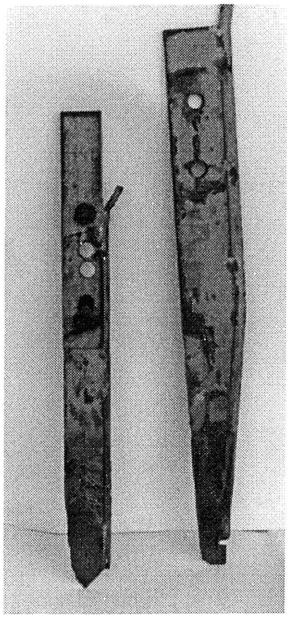
Stériculteur. Prototype SISMAR n°2.
CNRA Bambey, Sénégal. Photo : M. Havard

Stériculteur. Prototype SISMAR n°3.
CNRA Bambey, Sénégal. Photo : M. Havard

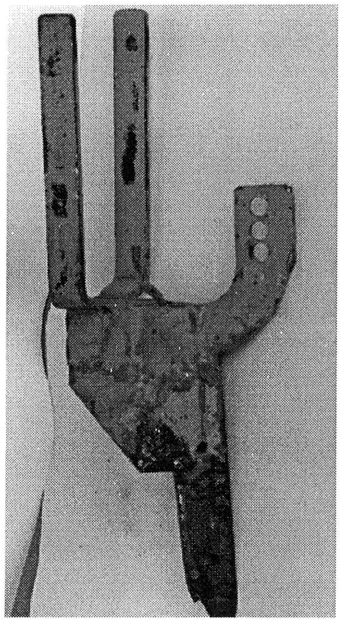


Tests d'endurance avec un cheval et le stériculteur.
CNRA Bambey, Sénégal. Photo : M. Havard

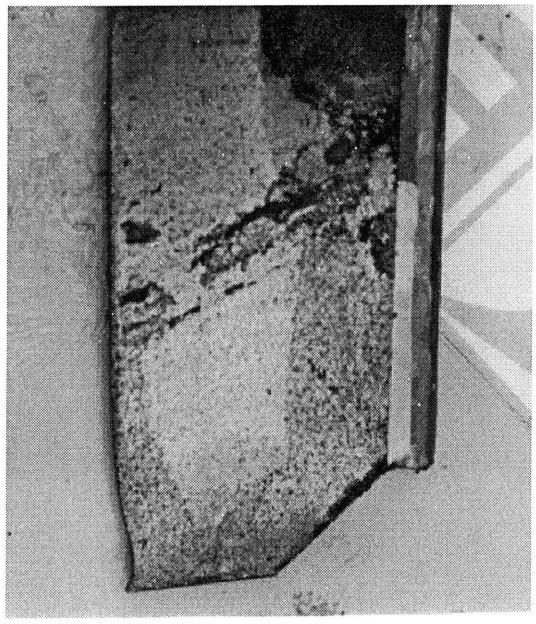
Stériculteur SISMAR spécifique pour le traitement, sans trémie de semoir super-éco.
CNRA Bambey, Sénégal. Photo : M. Havard



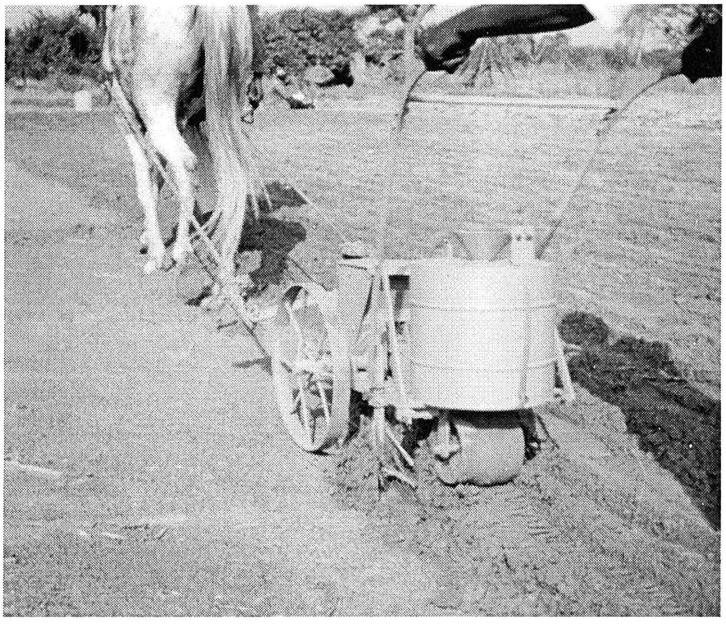
Coutres 6 et 8 mm
d'épaisseur testés



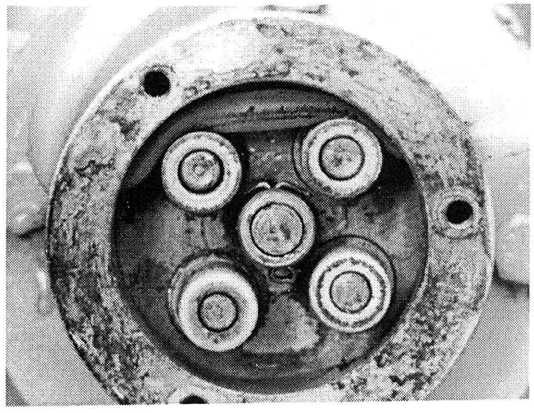
Coutre soudé sur le
soc semeur



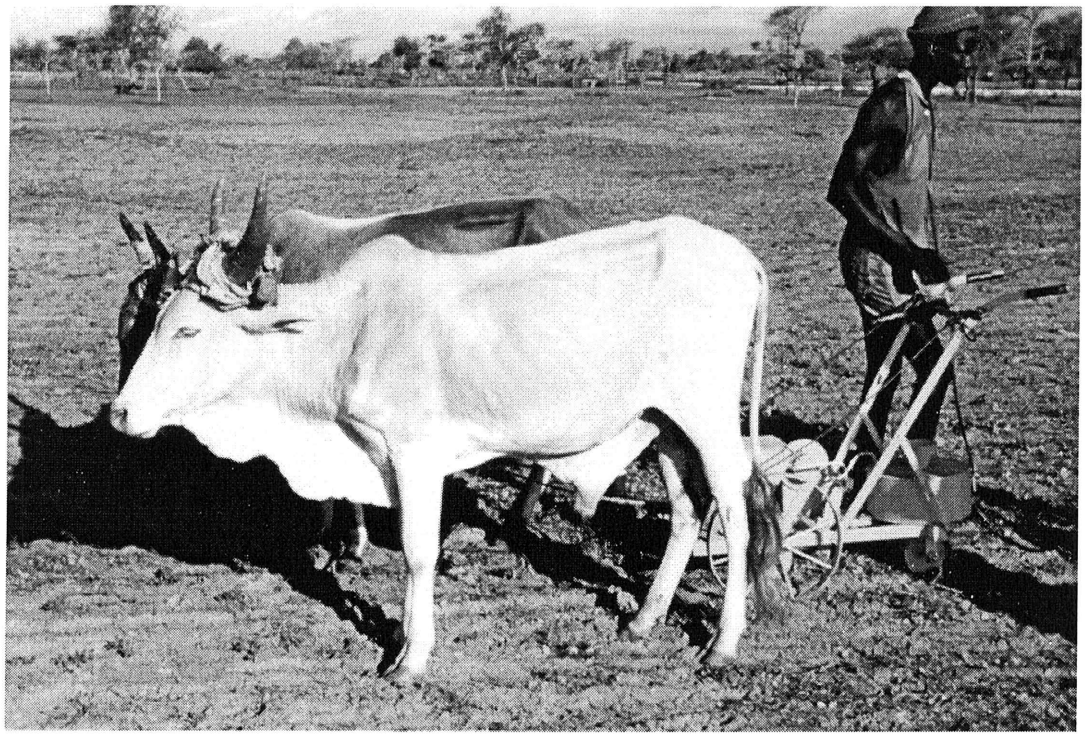
Usure de la pointe du coutre après
0,5 ha de traitement



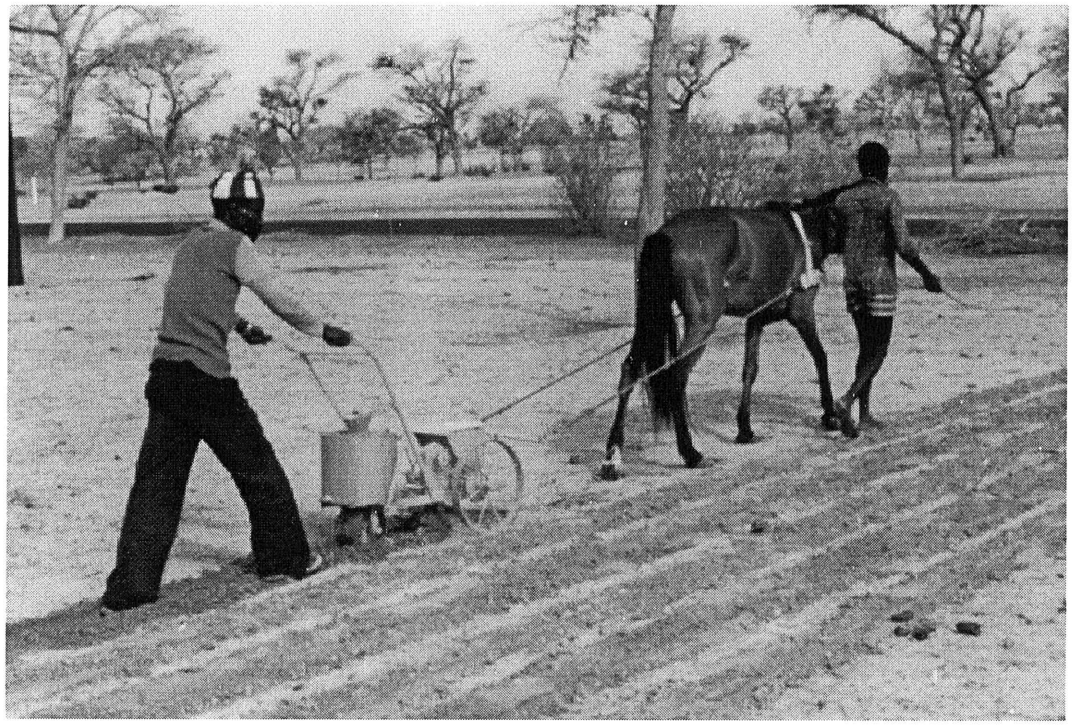
Les essais au champ du système d'injection
CNRA Bambey, Sénégal. Photo : M. Havard



La pompe péristaltique fabriquée
par la SISMAR
Photo : M. Havard



Semis arachide et traitement nématicide simultané avec le stériculteur SISMAR chez un paysan.
Bassin Arachidier, Sénégal. Photo : M. Havard



Semis arachide et traitement nématicide simultané avec le stériculteur SISMAR chez un paysan.
Bassin Arachidier, Sénégal. Photo : M. Havard