Département amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique Cirad-amis

ATP méthode de conception d'équipement

Compte-rendu de mission au Sénégal
du 27 septembre au 5 octobre 1999

Appui méthodologique aux projets de conception de l'ESP

Financement DS-CIRAD, ATP n° 50/96

Claude Marouzé
CIRD-AMIS
Programme Agroalimentaire
N° /99
Octobre 1999

I. OBJET DE LA MISSION

L'ATP "Méthodes de conception d'équipements agricoles et agroalimentaires dans les pays du Sud" conduit à valider et enrichir le premier modèle de la méthode de conception CESAM élaboré fin 1996. Cette validation est assurée par les équipes regroupées autour de l'ESP lors de la réalisation de projets de conception. En 1997, suite à un séminaire de formation réalisé à Dakar, trois projets de conception ont été initiés. Il s'agit de projets de conception :

* d'un trieur de brisure de riz,
* d'un dégermeur à maïs,
* d'un cuiseur émotteur de produits roulés.

Des groupes de conception ont été constitués pour chacun des projets. Sur le plan méthodologique, ces travaux ont contribué à des apports significatifs au niveau de la constitution des équipes de conception, de la réalisation d'un état de l'art, de l'identification du besoin et du pilotage de la trajectoire technologique par la demande. Les projets abordent les phases d'élaboration de la réponse technique pour lesquelles la méthode CESAM doit apporter des réponses méthodologiques. La dernière mission d'appui du CIRAD était celle de F. Giroux en mai 1999.

II. BILAN POUR CHACUN DES TROIS PROJETS

Projet émotteur

La maquette est terminée mais elle n'a pas été testée à cause des congés scolaires, il s'agit quasiment d'un prototype réalisant la majorité des fonctions du futur équipement. La mise en place de l'essai est simple : quelques kg de farine de mil ont été payés à une femme, charge à elle de faire le couscous, de le cuire et en contre partie, elle garde le surplus de couscous. L'essai a été réalisé par deux mécaniciens et en l'absence d'une utilisatrice ou d'une compétence produit.

Les doigts cassent les mottes mais l'efficacité est limitée car il n'y a aucune interférence avec d'autres éléments qui puissent créer un cisaillement de la motte. L'émottage des petites mottes est obtenu pour partie, par leur entraînement par la tôle racleuse et leur frottement sur la tôle perforée et par une action de la brosse. Le produit sortant de la maquette est homogène et d'une bonne granulométrie mais il reste des mottes dans l'appareil.

Pour avancer dans la compréhension du (ou des) principe(s), il est nécessaire de séparer les différentes actions en analysant si les doigts seuls arrivent à casser les grosses mottes, le rôle de la brosse, celui de la lame racleuse, etc.

Il semblerait que l'émottage fin soit principalement réalisé par le frottement des mottes sur la tôle perforée mais sur celle-ci ne possède aucune aspérités franches qui puisse arracher efficacement les granules de couscous à la motte. Le principe de râpe tel que celui de la râpe à manioc serait probablement intéressant. En version artisanale, il s'agit d'un rotor constitué d'une tôle roulée

qui a été préalablement percutée à l'aide d'un clou, les protubérances sont dirigées vers l'extérieur. Les tubercules sont plaqués contre cette surface rugueuse en rotation qui arrache la matière. Il existe des versions industrielles constituées d'un genre de lames de scie disposées sur un cylindre selon une génératrice. Avec le manioc, on obtient une bouillie plus ou moins fine selon la taille des aspérités. Valider ce principe est relativement facile à mettre en oeuvre, une tôle, quelques coups à l'aide d'un clou, puis le frottement d'une motte de couscous sur cette tôle plane (comme pour râper du fromage) pour voir s'il y a émottage.

Pour ce projet, il est urgent d'une part, de comprendre les principes mis en oeuvre dans la maquette (tester les différents éléments un par un) et, d'autre part, de vérifier comment sont assurées les fonctions de service sur l'équipement final à l'aide d'un FAST par exemple. La fonction "*permettre à l'opérateur de charger de couscous en mottes*" n'est pas réalisée de façon satisfaisante ce qui est normal pour une maquette ; une réponse compatible avec le principe d'émottage doit être trouvée.

Projet dégermeur de maïs

Peu de chose à dire, une seule urgence reconstituer l'équipe : les deux acteurs présents depuis le début + une compétence socio-économiste (Me FAYE Sokna est candidate) + l'équipementier (URTAPA est-il toujours intéressé ?). Autour de ces quatre compétences indispensables, on peut adjoindre les "*compétences associées*" déjà intéressées par le projet. Lors d'une première réunion de l'équipe, il sera nécessaire que le chef du projet fasse clairement et complètement le point pour les nouveaux arrivants (si possible avec un document écrit) : quel est le problème, le besoin, les solutions étudiées, celles éliminées, etc. Si cette réunion ne peut avoir lieu dans un délai raisonnable et avec les compétences requises, le projet doit être arrêté.
Badiane considère que l'unité de lieu permettrait de réduire les difficultés de communication et d'organisation au sein de l'équipe, encore faut-il que les compétences soient présentes.

Projet trieur de brisures de riz

Au début de la mission, le constat est clair que le chef de projet s'est approprié le projet (probablement inconsciemment) et que les connaissances des autres membres de l'équipe n'ont pas été valorisées comme prévu dans la méthode. De plus, les membres de l'équipe de Saint Louis ne sont au courant de l'avancement des travaux à Dakar qu'avec retard. Il faut reconnaître que le manque d'unité de lieu du projet accentue ses difficultés. Il en résulte une non-satisfaction des membres de l'équipe avec une divergence de motivation : au moins deux membres sont impatients (voire sont contraints) de voir aboutir rapidement le projet avec son lancement commercial. Néanmoins, l'engagement du chef de projet pour assurer lui-même la réalisation du prototype est remarquable.

Analyse de la démarche

D'une manière générale, les plans du prototype (on peut parler de prototype à échelle réduite car il assure la plupart des fonctions de service du matériel final) n'ont pas été réellement discutés par l'équipe avec une analyse complète de son fonctionnement. Il s'agit d'une double dérive par rapport à la méthode CESAM : pas de réflexion sur les réponses techniques et réalisation d'un

prototype à la place d'une maquette. Le choix du principe de triage par un cylindre alvéolaire est a priori assumé par tous les participants.

L'exemple de l'évaluation du coût du montage d'une vis sans fin pour le transfert de brisures à l'intérieur du cylindre est révélateur d'une mauvaise intégration des aspects fabrication. L'écart de valeur entre le coût estimé de cette installation et le coût évalué par le fabriquant à partir d'une description sommaire, est de 3 à 1 voire de 6 à 1. Respecter l'objectif de coût en retenant une valeur surévaluée pour la vis impose une réponse innovante pour éviter le montage de cette vis. La solution vis sans fin étant rejetée et l'écoulement des brisures par gravité sur une tôle inclinée ne permettant pas de respecter le débit, le choix d'un principe autre que ceux utilisés sur les matériels de triage disponibles sur le marché international est alors envisagé. D'où le développement d'une solution originale, la réalisation de plans et le lancement d'une fabrication. La réalisation engendre des délais importants et, de plus, la proposition technique n'est pas fonctionnelle ; l'inclinaison de l'axe nécessaire pour l'écoulement du produit en entrée et en sortie, réduit considérablement l'efficacité du cylindre alvéolaire voire, rend l'opération de triage impossible. Le retour à une démarche CESAM impose l'arrêt de cette réalisation.

Par ailleurs, l'atelier mécanique de l'ESP ne dispose pas d'un staff d'ouvriers pouvant assurer dans des délais convenables une réalisation de ce type. Ensuite, la réalisation d'un prototype à la place d'une maquette consomme beaucoup d'heures de travail. Enfin, les modes de fabrication de l'atelier d'une école d'ingénieurs sont assez différents de celui d'un artisan fût-il moderne comme celui d'Aby. A ce stade du projet, la question de la réalisation des maquettes dans l'atelier du fabriquant associé au projet doit être posée ; elle permettrait une meilleure intégration des aspects approvisionnements et fabrication.
Nous verrons au point IV comment replacer le projet dans le cadre d'une démarche CESAM.

III. REMARQUES MÉTHODOLOGIQUES

La difficulté de changement des habitudes de travail des acteurs de la conception imposée par la démarche CESAM (par rapport à une démarche traditionnelle de conception centrée sur la réalisation d'un prototype) a probablement été sous-estimée.

La notion de maquette n'a pas été assimilée de façon satisfaisante : mauvaise compréhension de la notion de principe, refus de solution de type "carton et bouts de ficelles" (qui n'a jamais été préconisée dans la méthode CESAM), volonté de rentabiliser la maquette ce qui conduit à faire un prototype qui pourrait être utilisé par des acteurs ayant besoin d'un équipement ayant une capacité plus faible. A la décharge des acteurs, reconnaissons que nous ne leur avons pas présenté d'exemple d'élaboration de réponse technique et pour cause, puisqu'il s'agit de la première utilisation de la méthode pour ces phases. Il est nécessaire de réaliser un effort de capitalisation dans le domaine le plus rapidement possible.
De plus, les réalisateurs sont persuadés que l'équipement (maquette ou prototype) sera opérationnel car il est issu d'une réflexion longue et souvent personnelle, dans laquelle l'échec

ne saurait être envisagé. Le manque d'expérience des acteurs dans le domaine de la conception des équipements agroalimentaires (en génie des équipements) devrait les conduire à une plus grande prudence. C'est aussi un domaine d'apprentissage. Il se traduit par un mauvais couplage équipements - génie des procédés. Ce manque d'expertise des équipes en génie des équipements rend délicate la phase de test : analyse du fonctionnement, réalisation de transferts de principes d'un équipement à un autre, etc.

Le manque de personnel pour assurer la fabrication des maquettes entraîne un délai important de leur réalisation et un fort investissement des chefs de projet qui réalisent en grande partie, eux-mêmes les maquettes. La réalisation est aussi retardée par le souhait des chefs de projets d'assumer des objectifs pédagogiques et de faire travailler des étudiants sur ces sujets. Ce souhait est louable mais constitue un frein au déroulement des projets. Enfin, la lourdeur administrative pour les accords entre organismes bloque les expérimentations.

L'espace temps est complètement dilaté et aucun délai n'est tenu ce qui créé une divergence entre partenaires du secteur public et ceux du privé ; fabricant et utilisateurs souhaitent un aboutissement rapide des projets. Cette divergence d'intérêts et de motivation est préjudiciable au déroulement futur des projets

Les chefs de projet sont fortement demandeurs d'un voyage d'étude au CIRAD pour connaître l'historique de la construction de la méthode, de son évolution et les perfectionnements récents. D'une manière générale, une formation à la recherche est souhaitée ainsi qu'une connaissance des travaux réalisés dans les autres pays. Le manque de moyens pour assurer la logistique des projets est cruellement ressenti : ordinateur, téléphone, mail, etc. Seul, un financement extérieur permettra de dégager des moyens nécessaires à leur achat.

L'expérience de conception a été provisoirement abandonnée, une première réunion a été faîte mais elle n'a pas été enregistrée, de plus, elle ne s'est pas déroulée suivant l'esprit de la méthode CESAM, mais du genre "*je résous le problème de X avec la solution apportée par Y*". Par ailleurs, les comptes rendus ne sont pas systématiquement rédigés, en particulier, pour les actions de conception. Il est rappelé que les frais ne sont couverts que contre remise d'un compte rendu.

Enfin, le rattachement au département Génie Mécanique de l'ESP des travaux sur les méthodes de conception d'équipement permettra une synergie complète recherche - développement - enseignement.

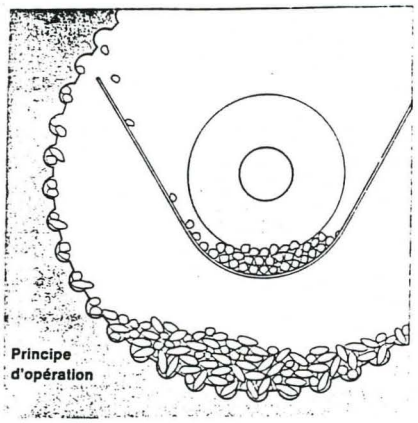
IV. RECONSTITUTION DE L'ÉLABORATION D'UNE RÉPONSE TECHNIQUE POUR LE PROJET TRIEUR

Ce scénario n'est pas strictement celui qui a été suivi mais présente une démarche modèle pour comprendre la méthode CESAM et initier de futures actions CESAM en ce qui concerne l'élaboration de la réponse technique.

Etude des principes du trieur (phase 3 de la méthode CESAM)
A ce stade du projet, le Cahier des Charges Fonctionnel a été défini par l'équipe de conception. On suppose qu'il a été validé par des utilisateurs potentiels. De même, l'état de l'art a été réalisé. Il s'agit donc d'abord de définir les principes permettant la réalisation du futur équipement, c'est à dire de réaliser la phase 3 de la méthode CESAM.
Il n'y a pas eu réellement de séance de créativité pour identifier les principes. Le cylindre alvéolaire s'est naturellement imposé pour séparer les brisures du mélange avec les grains entiers ; c'est le principe utilisé sur la quasi-totalité des trieurs de brisures de riz. D'autres principes tels que les disques alvéolaires, le triage par taille, etc. ont été analysés, ils auraient pu convenir mais ont été écartés car leur mise en ouvre aurait été trop difficile.

Description sommaire du principe de triage par cylindre alvéolaire.

Fig. 1 : Principe du trieur alvéolaire.



Un cylindre tapissé intérieurement d'alvéoles est mis en rotation lente, son axe étant légèrement incliné par rapport à l'horizontale. Le mélange brisures + grains entiers est alimenté à l'extrémité haute du cylindre. La rotation du cylindre brasse le mélange et fait tomber les grains dans les alvéoles et les entraîne dans le mouvement de rotation (voir fig. n° 1). Les grains entiers insérés qu'en partie dans les alvéoles, chutent rapidement de leur logement. Les brisures, plus petites, donc mieux logées dans les alvéoles y restent plus longtemps et tombent après un parcours de 135° environ. Elles sont récupérées par une tôle réglable en inclinaison puis évacuées à l'extérieur du cylindre. Les grains entiers retombent dans le mélange et sont entraînés axialement par l'inclinaison du cylindre. La proportion de grains entiers dans le mélange est de plus en plus importante au fur et à mesure que le produit avance dans le cylindre. L'élimination des dernières brisures est d'autant plus difficile que le mélange contient peu de brisures ; statistiquement les brisures ont moins de chance de tomber dans les alvéoles.

Autres fonctions techniques
Par ailleurs, l'équipe de conception a décidé d'éliminer les impuretés présentes dans le riz provenant des décortiqueurs artisanaux pour éviter une opération de nettoyage en sortie du trieur et améliorer l'efficacité du triage. Compte tenu de la légèreté des impuretés (très petits bouts de balles), le principe d'entraînement par flux d'air a été retenu. Là aussi d'autres principes étaient possibles : séparation par taille dans un cylindre perforé ou sur grilles oscillantes, par densité, etc.

Ces deux principes essentiels étant retenus, il s'agit maintenant de définir l'ensemble des fonctions techniques permettant de réaliser l'équipement (voir fig. 2). Différentes fonctions techniques ou combinaisons de fonctions techniques peuvent être envisagées, elles sont discutées par l'équipe. L'ensemble des FT retenu est présenté sous la forme d'un FAST qui correspond au document de fin de phase 3. Il s'agira aussi d'analyser la compréhension de la présentation FAST par les acteurs.
Certaines fonctions techniques ne requièrent pas de discussion approfondie : la FT "stocker et distribuer" est imposée par le fonctionnement en continu du procédé et l'alimentation en discontinu par l'opérateur. Des solutions existent pour réaliser cette fonction (sur la plupart des équipements agroalimentaires), il s'agira d'en transférer une et de l'adapter.

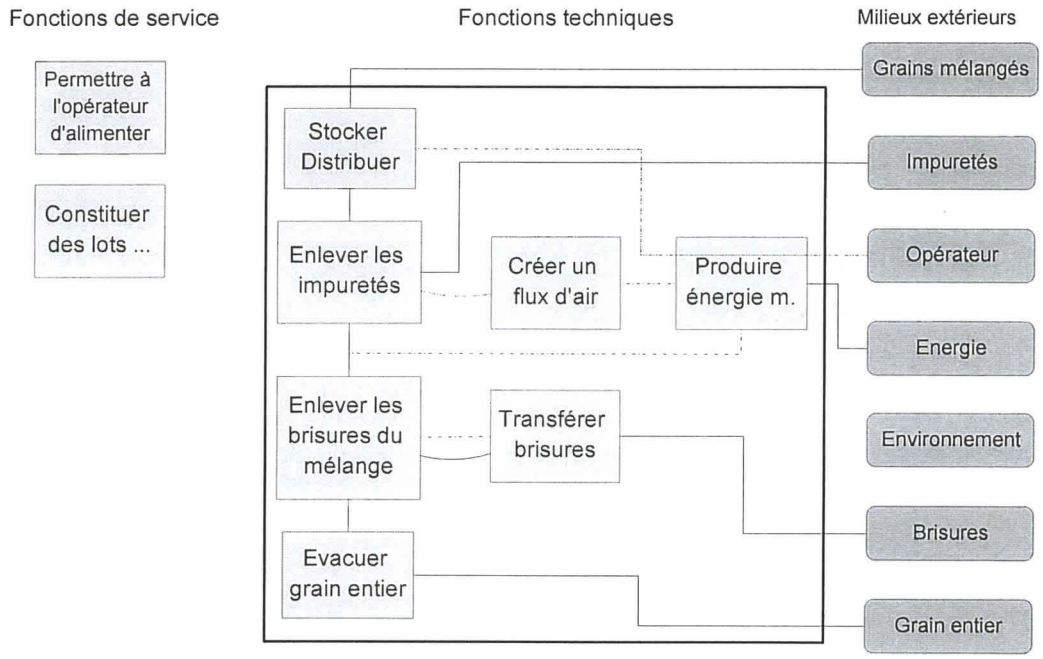


Fig. 2 : FAST du trieur

Nous trouvons dans le trieur fonctions techniques suivantes :

- stocker et distribuer le grain mélange de brisures, grains entiers et impuretés ; l'opérateur alimentant la machine en batch à partir d'un sac, il faut pouvoir stocker une certaine quantité de produit et réguler le débit de mélange à la valeur souhaitée car l'opération est réalisée en continu,
- enlever les impuretés (a priori par entraînement avec un flux d'air),
- extraire les brisures du mélange, fonction technique qui peut être considérée comme la principale,
- évacuer les grains entiers,
- transférer les brisures,
- mais aussi de créer un flux d'air pour assurer la ventilation,
- produire de l'énergie mécanique à partir de courant électrique ou autre source d'énergie.

Ensuite, il faut vérifier que les fonctions de service sont bien assumées par cet état intermédiaire de l'équipement. La fonction "*permettre à l'opérateur d'alimenter le trieur*" est effectivement réalisée, de même pour les autres fonctions de service.

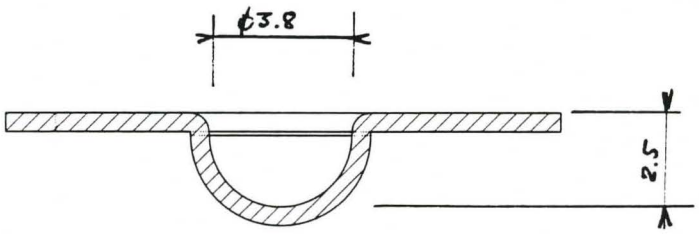
Etude des solutions techniques (phase 4 de CESAM)

Le principe de triage des brisures de riz par la technique de cylindre alvéolaire retenu, la principale difficulté réside dans sa mise en oeuvre ; il s'agit de définir la forme des alvéoles et leur mode de fabrication en respectant les contraintes de coût, de reproductibilité par les artisans et d'efficacité. On se trouve ici dans la phase 4 de la méthode CESAM, la recherche des solutions techniques. En pratique, les phases de recherche de principe et de solutions techniques interagissent.

Forme et dimensions des alvéoles

Le dimensionnement des alvéoles est indispensable. Il faut s'appuyer sur l'état de l'art réalisé précédemment, celui-ci avait identifié sur Saint Louis un trieur de laboratoire. Un déplacement réalisé sur site permet de connaître les dimensions des alvéoles. Le type d'alvéoles correspondant le mieux au triage des brisures de riz local est le 4,75. En machinisme, la copie de matériel existant est une pratique courante, il est inutile des passer du temps à refaire des choses existantes, mieux vaut consacrer son énergie sur les points les plus innovants. Les alvéoles sont disposées en quinconce avec un écartement de 7.8 mm. La surface fonctionnelle (contact avec le produit et assurant le procédé) est ainsi définie.

Fig. 3 : Forme et dimensions des alvéoles



Mode de réalisation

La surface fonctionnelle définie, il s'agit maintenant d'examiner le mode de réalisation. L'inventaire des solutions techniques est issu des discussions au sein de l'équipe. Il identifie les cinq possibilités suivantes :

1. importation de tôles alvéolées depuis l'Europe,
2. récupération de tôles sur des matériels présents dans la vallée mais non utilisés ou abandonnés,
3. réalisation des alvéoles par perçage d'une tôle épaisse qui sera ensuite roulée et cerclée d'une deuxième tôle fine pour boucher les trous et constituer des alvéoles,
4. même solution que précédemment mais avec des tôles perforées importées d'Europe

aux dimensions souhaitées,

5. réalisation des alvéoles par déformation manuelle du métal.

Ces solutions sont évaluées par rapport aux critères suivants :

* coût de réalisation de la solution,
* efficacité probable de la solution compte tenu des connaissances disponibles,
* fabricabilité pour un artisan de la vallée,
* reproductibilité, c'est à dire possibilité de produire des éléments pour le parc de machines permettant une saturation du marché.

Solutions	Coût	Efficacité	Fabricabilité	Reproductibilité
Importation	Très élevé	Bonne	OK	Dépendance importation et de l'importateur
Récupération	Faible	Bonne si dimensions correctes des alvéoles	OK	Valable uniquement pour quelques trieurs
Perçage	Faible	Inconnue, A vérifier	100 % locale temps de fab. élevé	OK
Tôle poinçonnées	Elevé	Inconnue A vérifier	OK	Dépendance importation
Mise en forme manuelle	Très faible	A vérifier, a priori bonne si possibilité de reproduction de la forme des alvéoles	100 % locale	OK

Tabl. 1 : Analyse de différentes solutions de réalisation des alvéoles

Les solutions "Importation" et "Tôles poinçonnées" sont éliminées à cause de leur coût et de leur importation qui impose un intermédiaire ; un artisan ne peut pas maîtriser cet achat. La solution récupération l'est aussi car elle n'est valable que pour quelques modèles alors que le marché est estimé à 80 machines. A ce stade du projet, les solutions "perçage" et "mise en forme manuelle" paraissent les plus intéressantes. Il est donc envisagé de les valider.

V. RÉALISATION D'UNE MAQUETTE DE VALIDATION DE LA SOLUTION TECHNIQUE DE "MISE EN FORME MANUELLE" DES ALVÉOLES

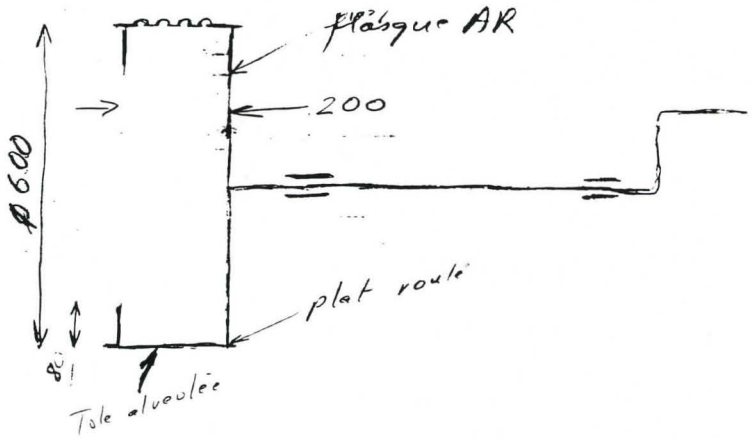
Le mode de fabrication des alvéoles a été abordé à plusieurs reprises par l'équipe, il faut maintenant passer à la réalisation pratique c'est à dire valider une ou plusieurs solutions de réalisation qui seront celles de l'équipement définitif. La maquette a été réalisée par l'artisan

associé au projet Trieur assisté du chef de projet et de moi-même. Elle a été réalisée en premier car l'artisan partenaire du projet préférait cette solution (prise en compte du point de vue de l'acteur fabricant).

La maquette doit répondre à la question suivante : une mise en forme manuelle des alvéoles permet-elle de réaliser un triage correct des brisures de riz ?

Une préparation va être engagée : la réalisation d'une matrice (un trou non débouchant légèrement chanfreiné) dans une tôle épaisse, un poinçon (vaguement arrondi) et un essai dans différents types de tôle. Le repoussage du métal est possible et permet la réalisation d'une forme semblable a celle des alvéoles. Les tôles d'acier nécessitent un effort important et risquent à terme d'user le poinçon. La mise en forme des tôles aluminium est facile mais elles ne sont pas disponibles en faible épaisseur
Un poinçon-matrice correspondant à ces alvéoles est réalisé. Il résulte de cette préparation que la mise en forme artisanale des alvéoles est possible mais qu'il est préférable de la réaliser dans de la tôle aluminium de 10/10.

Fig. 4 : Schéma de la maquette



Après l'achat d'une tôle à Dakar, la réalisation de la maquette est engagée quelques jours plus tard par l'artisan et le chef de projet. Il est décider de réaliser une tranche d'un trieur ayant un diamètre identique au modèle final et de 200 mm de largeur. Cette roue comporte deux flasques parallèles et un élément de virole en tôle alvéolée. Le flasque extérieur est ouvert, l'autre est solidaire d'un axe muni à l'autre extrémité d'une manivelle. Cet axe guidé par deux bagues est monté sur un petit châssis en cornières comme indiqué sur les photos. La possibilité d'une utilisation de la maquette au niveau familial a probablement renforcé la motivation de l'artisan pour le réaliser. La volonté de "rentabiliser" la maquette est forte même si ses frais sont couverts par le projet. A ce stade, aucun plan n'est réalisé ; un simple schéma à main levée suffit comme celui présenté sur la figure 4.

Il est d'abord nécessaire de redéfinir les dimensions de l'outillage poinçon - matrice adapté à la nature et l'épaisseur de la tôle. Ensuite, une matrice comportant trois rangées de perforations en quinconce sur la largeur de la tôle est réalisée : deux rangs serviront à la mise en forme des alvéoles alors que le rang du bord permettra un positionnement de la partie de tôle déjà mise en forme. Un tiers de la circonférence est mis en forme. La durée du poinçonnage est de 2 à 3 heures pour une surface utile de 200 x 600 mm.

En parallèle, les autres parties de la maquette sont réalisées, les flasques, l'axe, le châssis. La tôle aluminium est rivetée sur les flasques. La maquette a demandé une journée de travail pour un artisan aidé de cinq à six apprentis. Les premiers essais sont prometteurs mais des grains se coincent dans l'angle formé par le flasque AR et la tôle alvéolaire ce qui perturbe le triage. Après mastiquage les tests peuvent réellement commencer.

Test rapide de la maquette de validation de la solution technique de "mise en forme manuelle" des alvéoles

Si la réalisation de la maquette doit être rapide, il en est de même de son test afin que la durée totale de la validation d'un principe (délai entre la prise de décision de la réalisation d'une maquette et la disponibilité de l'information relative à cette activité) soit compatible avec le déroulement du projet et ne constitue pas un frein à son avancement. La maquette est testée en batch, un demi-kg de mélange y est versé. La vitesse optimum de rotation, déterminée par l'observation de la trajectoire et de la nature des produits entraînés par les alvéoles, est de 40 tr/mn. Le prélèvement de grain dans la partie supérieure montre que le triage est satisfaisant. La maquette enlève les brisures du mélange, les gains entiers et les intermédiaires restant dans la virole. Pour enlever avec les brisures les grains intermédiaires, les alvéoles doivent être plus profondes.
A ce stade d'avancement, il n'est pas nécessaire d'étudier la solution de "réalisation des alvéoles par perçage d'une tôle épaisse..." car elle ne présente pas d'avantages potentiels par rapport à celle réalisée et sa fabrication est plus onéreuse.

Il est important d'avoir une bonne régularité de la forme de la virole et des flasques pour éviter les entraînements intempestifs de grains qui perturbent le triage. L'outillage de mise en forme des alvéoles devra être amélioré pour obtenir la plus meilleure régularité possible. Il sera nécessaire de brider la tôle pour éviter son cintrage intempestif. Un poinçon multiple permettrait une mis en forme de tôle plus rapide.

Remarque sur la réalisation de la maquette

Un travail conjoint artisan - ingénieur en génie mécanique est indispensable pour surmonter les difficultés techniques : explications pour comprendre l'arrachement et le cisaillement du métal pour la mise au point de formes complémentaires du poinçon et de la matrice, définition des dimensions de la maquette, analyse du triage, etc. Un châssis a été réalisé spécifiquement pour la maquette alors qu'il aurait été possible d'utiliser l'arbre d'une machine disponible dans l'atelier, ce choix répond aussi au souhait de rentabiliser la maquette.
Il faut prendre conscience des difficultés matérielles de réalisation dans un atelier artisanal : aller à Dakar pour l'acheter de la tôle, difficulté de trouver des forets sur place, outillage en mauvais état, difficulté de réaliser en tournage une pièce en respectant une côte, que seule la volonté des acteurs permet de les surpasser.

Ces difficultés sont récompensées par la satisfaction des participants lors de la finalisation, du

test et surtout, des résultats de la maquette. L'enrichissement mutuel des acteurs trop habitués à travailler dans leur "monde" est un apport essentiel de la méthode CESAM.

VI. SUITE ENVISAGÉE DU PROJET

Validation de la fonction technique enlever les impuretés

Revenons au FAST. Seules, deux Fonctions Techniques "*Trier*" et *"enlever les impuretés"*, posent des difficultés de définition des solutions techniques. Les autres FT n'en présentent pas car on peut trouver sur des matériels des fonctions similaires : stocker-distribuer, transférer des brisures, transformer l'énergie, etc.

La Fonction Technique *"enlever les impuretés"* doit permettre d'enlever les bouts de pailles et de balles et les "*brisures d'oiseaux*" (les toutes petites brisures). L'équipe avait décidé d'enlever les produits légers par entraînement d'un flux d'air et de faire passer le mélange sur un tissu métallique (type tamis) pour les éliminer. Il est préférable d'éliminer les pailles en premier pour éviter qu'elles ne colmatent le tamis. Cette solution exige une validation par la réalisation d'une maquette.

Les surfaces fonctionnelles de la FT "stocker et distribuer le mélange" peuvent être définies de la façon suivante :

* une pyramide inversée assurant le stockage du produit,
* une trappe pivotante ou coulissante assurant une régulation du débit.

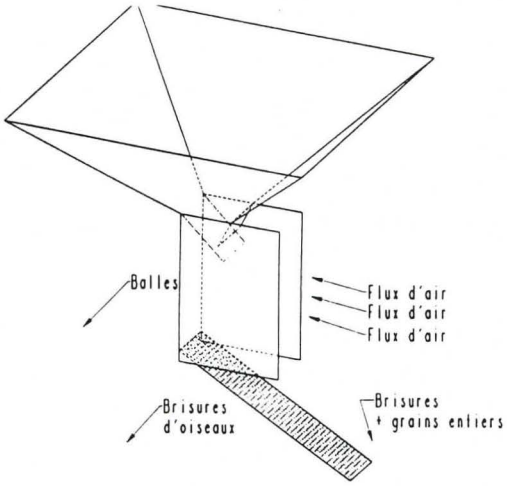


Fig. 5 : Surfaces fonctionnelles pour les FT "stocker ..." et "enlever les impuretés"

Les surfaces fonctionnelles de le FT "enlever les impuretés avec un flux d'air" peuvent être réalisées par :

* le flux d'air horizontal traversant le flux de grain chutant librement, l'air entraîne les produits légers,
* puis, le grain tombe sur un tamis fixe, celui-ci est incliné pour évacuer les grains au fur-et-à-mesure de leur arrivée et la dimension de mailles est telle que les brisures d'oiseaux

passent au travers.

Ces deux FT peuvent être réalisées telles qu'elles sont représentées sur la figure 5 et validées par une maquette : utilisation d'une trémie existante, création d'un flux d'air, etc.

Définition de l'équipement

La démarche CESAM préconise de s'appuyer sur les surfaces fonctionnelles appelées solutions techniques pour définir l'équipement.

Les surfaces fonctionnelles de la FT triage sont définies : un cylindre alvéolaire tournant autour d'un axe horizontal. Le diamètre a été choisi pour utiliser au mieux une tôle de 2m soit un diamètre de 600 mm, une longueur de 2 m peut être retenue (voir fig. 6).

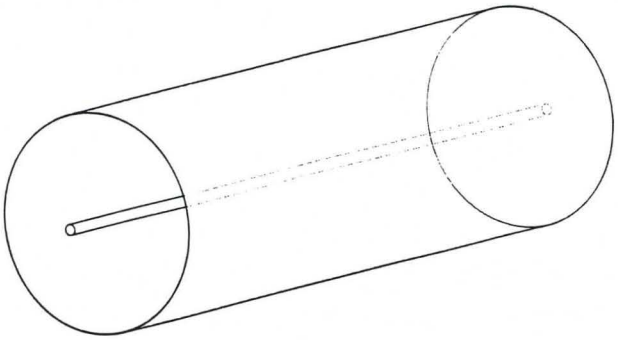


Fig. 6 : Surfaces fonctionnelles de la FT "trier"

Les surfaces fonctionnelles de la FT "récupérer et transférer les brisures" peuvent être définies de la façon suivante : une vis sans fin, un auget et une tôle réglable en inclinaison permettant un réglage de la qualité du triage (voir fig. 7). La vis sans fin peut être montée sur l'axe du cylindre alvéolaire.

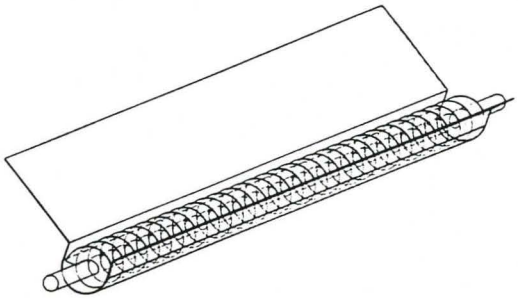


Fig. 7 : Surfaces fonctionnelles de la FT "récupérer et transférer.."

Les surfaces fonctionnelles de l'équipement sont ainsi définies et elles peuvent être positionnées les unes par rapport aux autres (voir fig. 8). C'est à partir des surfaces fonctionnelles que sont définis les composants (phase 5). Des composants participent directement à la réalisation des surfaces fonctionnelles, ils sont définis en "mettant" de la matière sur la surface. Ou alors, il s'agit de composants qui ne participent pas directement aux surfaces fonctionnelles, ce sont des

pièces de liaison, de structure ou d'habillage c'est-à-dire des fonctions de conception au sens de l'AV qui sont définies en tant que telles.

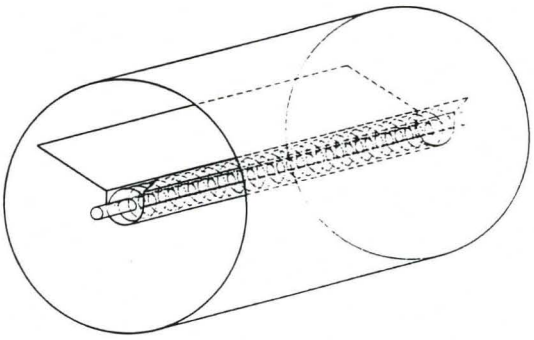


Fig. 8 : Assemblage des surfaces fonctionnelles "trier" et "récupérer et transférer"

Définition de la transmission

La définition de la transmission va être réalisée en parallèle des surfaces fonctionnelles, nous avons les indications suivantes :

* moteur électrique :1 450 tr/mn (ou 980), puissance < 1 kW
* ventilateur : inconnu
* cylindre et vis : 35 tr/mn

L'entraînement du cylindre alvéolaire avec une courroie s'enroulant sur le moyeu qui soutient la tôle alvéolaire permet d'avoir une poulie réceptrice de grand diamètre donc un rapport de réduction assez élevé entre un axe intermédiaire et le cylindre dont la vitesse sera :

$$N = 35 \times (620 : 90) = 240 \text{ tr/mn.}$$

Vérifier la puissance transmisse par une courroie SPA entraînée par une poulie de diamètre 90 mm à 240 tr/mn. Il faudra un tendeur pour d'assurer d'un arc d'enroulement satisfaisant de la courroie sur la petite poulie.

Si on dispose de poulie de grand diamètre, l'entraînement de l'axe intermédiaire à partir du moteur peut être réalisé directement. Etc.

Les composants du châssis et de l'habillage sont définis ensuite

VII. CONCLUSION

La réflexion sur les principes, couplée à une recherche de solutions techniques appuyées par la réalisation de maquette permet une intégration réelle dans la démarche de conception des points de vue approvisionnement, fabrication et maintenance du futur équipement. Cette mission a permis de traiter une partie de l'étude de la réponse technique avec la réalisation d'une maquette et des construire un scénario d'élaboration de la réponse technique pour la suite du projet "Trieur de brisures de riz" ; l'ensemble constituant un référentiel pour les démarches à venir.

ANNEXE I

Déroulement de la mission du 26 septembre au 6 octobre 1999

Dimanche 26 septembre	10 h, Départ de Montpellier, 22 H arrivée à Dakar.
Lundi 27 septembre	9 h, Réunion avec les chefs de projets et A. Diagne.
Mardi 28 septembre	9 h, M. S. Diakhité décortiqueur Fonio 15 h, Réunion avec les chefs de projets et A. Diagne
Mercredi 29 septembre	7 h, départ pour Saint Louis, 15 h, Aby Thiam
Jeudi 30 septembre	9 h Essai de mise en forme des alvéoles avec Aby Thiam, 15 h, J. Moreira, SAED, 17 h, Retour vers Dakar.
Vendredi 1er octobre	9 h, M. Badiane groupe dégermeur, 15 h, M.. Dubernard représentant CIRAD, 16 h, MM. Diagne, Moctar Gueye, Abdoulaye Ndiaye
Samedi 2 octobre	10 h 30, M.. Oumar Sock, directeur de l'ESP 11 h, M.. Pape M'Boup, responsable du département Génie Mécanique 13 h, Marché Rebeus, achat tôle d'aluminium
Dimanche 3 octobre	10 h, Départ pour Saint Louis, 15 h, M.. Moreira SAED, 17 h, Aby Thiam, réalisation du poinçon-matrice pour tôle d'aluminium.
Lundi 4 octobre	8 h 30, Lancement de la réalisation de la maquette chez Aby Thiam, 11 h, M.. Moreira SAED, 18 h, Essai de la maquette, 19 h, Départ sur Saint Louis.
Mardi 5 octobre	9 h, Réunion des chefs de projets avec Mandiang, 11 h, M. Alioune Diagne, 12 h, Essai de la maquette émotteur, 13 h, point sur le projet émotteur et trieur avec les chefs de projets 15 h 30, Me P. Moinard, 16 h 30, Badiane, 22 h, Départ pour Paris.
Mercredi 6 octobre	10 h, Arrivée à Montpellier

Fonctionnement des projets CESAM
Rappel des règles définies d'un commun accord en 1998

Compte rendu de réunion
Le compte rendu doit être rédigé sous la responsabilité du chef de projet selon la présentation définie par F. Giroux (1998). Ce compte rendu manuscrit (ou mieux tapé si le rédacteur dispose de moyens informatiques) sera laissé au coordinateur après la réunion ou au plus tard trois jours après. **L'envoi aux participants** extérieurs à l'ESP, par mail pour URTAPA, ITA, SAED et le CIRAD (Marouzé et Giroux), par fax pour le PAMEC et autres participants qui n'ont pas de mail **sera assuré par le chef de projet**. Celui-ci a aussi la responsabilité de mettre le compte rendu dans les casiers des enseignants ESP de son équipe. Le compte rendu est envoyé à toutes les personnes de l'équipe car il doit permettre aux absents de suivre le projet et de participer à la réunion suivante. Le compte rendu comporte la date de la prochaine réunion.

Une **convocation est envoyée dix jours à une semaine** avant la date de toute réunion sous la responsabilité des chefs de projets comme pour le compte rendu.

Téléphone Les dispositions seront prises pour que les chefs de projet puissent téléphoner depuis l'ESP

Remboursement des frais
Les chefs de projets doivent demander au coordinateur et avant la réunion la somme correspondante aux remboursements des frais engagés. Les chefs de projet disposeront d'un carnet à souche pour faire la demande. C'est le chef de projet qui verse l'argent aux participants contre émargement de la feuille de présence. Ces frais comprennent les indemnités de déplacement pour la réunion ainsi que les frais des déplacements et autres actions réalisées depuis la réunion précédente. Les frais (de réunion ou pour les activités réalisées entre les réunions) ne sont remboursés que contre remise du compte rendu de la réunion ou de l'action.

Nota : Pour le projet Trieur les participants de Saint Louis auront une indemnité de 3 000 F pour leur déplacement sur Saint Louis.

Barème :
Journée complète de déplacement avec nuit sur place : 15 000 F
Indemnités pour déplacement court (demi journée) : 3 000 F
Indemnités pour déplacement long (journée) : 5 000 F
Frais de transport tarif en vigueur
Maquette : devis préalable indispensable.
Les fiches de frais doivent être détaillées.

Aspects techniques,

Calcul du débit d'une vis sans fin pour le projet Trieur

D'après catalogue Prud'homme Transmissions

Pour vis diamètre 100 mm, vitesse de rotation 120 à 170 tr/mn, auget rempli ente 30 et 45 % avec du blé, auget horizontal.

Q = 25 à 35 Q/h

Soit pour une vitesse de rotation de 35 tr/mn si la vis est entraînée par l'axe du cylindre à alvéoles

Q = (3000 * 35) / 150 = 700 kg/h

Une vis de diamètre 80 mm peut parfaitement convenir pour l'évacuation des brisures par l'axe central

Résumé

L'objet de la mission est d'apporter un appui méthodologique aux trois projets de conception d'équipements agroalimentaires menés par des équipes constituées autour du pôle ESP. Ces projets assurent une validation et un enrichissement de la méthode CESAM (Conception d'Equipements dans les pays du Sud pour l'Agriculture et l'agroalimentaire, Méthode) développée par le CIRAD. Les travaux actuels portent sur la recherche d'une réponse technique aux spécifications fonctionnelles. La réflexion sur les principes appuyée par la réalisation de maquette et couplée à une recherche de solutions techniques permet une intégration réelle dans la démarche de conception des points de vue approvisionnement, fabrication et maintenance du futur équipement. L'application de cette démarche pour le projet "Trieur de brisures de riz" constitue un référentiel pour toutes les démarches à venir.
Le rattachement au département Génie Mécanique de l'ESP de la collaboration avec le CIRAD sur les méthodes de conception d'équipement bénéficiera d'une synergie complète recherche - développement - enseignement.

Mots clés

Conception Equipement Fabrication Maquette Méthode
Principe Sénégal