Département des systèmes agroalimentaires et ruraux
CIRAD-SAR

ATP Méthode de conception d'équipements

Méthode CESAM

Conception
d' **E**quipements
dans les pays du **S**ud
pour l' **A**griculture et l'agroalimentaire,
Méthode

Premier modèle
(en date du 15/10/97)

Document de formation

F. GIROUX, C. MAROUZE

CIRAD-SAR n°111/97

ATP Méthode de conception d'équipements

Méthode CESAM

Conception
d' **E**quipements
dans les pays du **S**ud
pour l' **A**griculture et l'agroalimentaire,
Méthode

Premier modèle
(en date du 15/10/97)

Document de formation

Rédigé par F. GIROUX, C. MAROUZE

SOMMAIRE

DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA MÉTHODE 2

Phase n° 1 : DÉCLENCHEMENT DU PROJET 4

Phase n° 2 : ANALYSE DU BESOIN ET ÉTAT DE L'ART 4

Phase n° 3 : RECHERCHE DE PRINCIPES 7

Phase n° 4 : SÉLECTION DES SOLUTIONS TECHNIQUES 9

Phase n° 5 : DÉFINITION DU PRODUIT 10

Phase n° 6 : CONSTRUCTION DU PROTOTYPE 11

Phase n° 7 : VALIDATION DU PROTOTYPE 12

Phase n° 8 : DIFFUSION DE L'ÉQUIPEMENT 12

CONCLUSION 13

ANNEXES

GUIDE D'UTILISATION DE LA MÉTHODE CESAM

Applicable au domaine des équipements à petite échelle dans les secteurs agricoles, agro-alimentaire et énergétique, cette méthode est destinée à des équipes de conception des Pays en Développement, principalement en Afrique. Elle a été élaborée à l'issue d'un séminaire international de 4 semaines qui s'est déroulé en Novembre 1996 à Montpellier et qui rassemblait une douzaine de concepteurs issus de 7 pays du Sud en Afrique, Asie et Amérique latine[1], sans compter les participants français. Elle est issue des recherches menées en génie industriel et de l'analyse d'une vingtaine de projets de conception.

Cette méthode consigne un certain nombre de passages obligés qui ne permettent l'avancement de la conception que lorsque ceux-ci ont été validés, c'est à dire lorsque le groupe de conception a décidé que l'objectif principal de l'étape était atteint. A chaque étape sont associées des actions, des informations nécessaires et des décisions à prendre. La méthode peut être interrompue dès lors qu'une étape ne peut être validée. L'objectif de la méthode vise à ne pas faire de la conception uniquement une affaire de spécialistes de la mécanique. La méthode est présentée schématiquement sur la fig. 1.

DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA MÉTHODE

Chaque étape nécessite de recueillir des matériaux de travail (informations, outils, savoir-faire, etc.) de les exploiter puis de prendre une décision quant à la poursuite du travail de conception ; la décision de poursuite doit se faire par consensus, sans qu'aucun des membres de l'équipe de conception ne se sente lésé. Le travail de conception préconisé est celui d'une équipe multidisciplinaire dont la taille ne doit pas dépasser 8 personnes pour rester opérationnelle, mais peut compter moins de personnes si certaines d'entre elles possèdent plusieurs des compétences requises à chaque étape. Lorsque la compétence nécessaire à une étape ne se trouve pas au sein de l'équipe de conception, il doit être fait appel à une expertise extérieure.

Globalement, on doit trouver dans l'équipe de conception au minimum les expertises suivantes, même si elles ne sont pas sollicitées en permanence :

- finance / gestion
- agronomie / connaissance des matières premières
- génie des procédés
- marketing
- mécanique
- sociologie

---

[1] Ont participé à cet atelier :

- M. BEN ROUINA Béchir	Institut de l'Olivier	Tunisie
- Mme BEJAR Bahia	ENIT (Dép. Génie Ind.)	Tunisie
- M. MAMI Maher	INGREF	Tunisie
- M. SINTCHE Cyprien	APICA	Cameroun
- M. NDONGO Samba	PAMEC	Sénégal
- M. NDOYE Ibrahima	ESP	Sénégal
- M. ZOGO Polycarpe S.	CAIP	Bénin
- M. KOUAKOU K. V	IPNETP	Côte d'Ivoire
- M. SARR Mamadou Bassirou	SIARC	Sénégal
- M. MARTIN Moreno	Univ. Del Valle	Colombie
- M. PHAM CONG Dung	PHIT Hanoï	Vietnam

Méthode CESAM

Fig. 1 : Présentation de la méthode CESAM

	Etape	Mécanique	Vente	Economie	Ergonomie	Fabrication	Procédés	Produits	Sociologie	Animation	Marketing
1	Déclenchement du projet			X					X	X	X
2	Analyse du besoin		X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Recherche de principes	X			X		X	X		X	
4	Sélection de solutions techniques	X	X		X	X				X	
5	Définition du produit	X			X	X			X	X	X
6	Réalisation du prototype					X					
7	Validation globale	X		X	X		X	X	X		
8	Diffusion de l'équipement		X			X					X

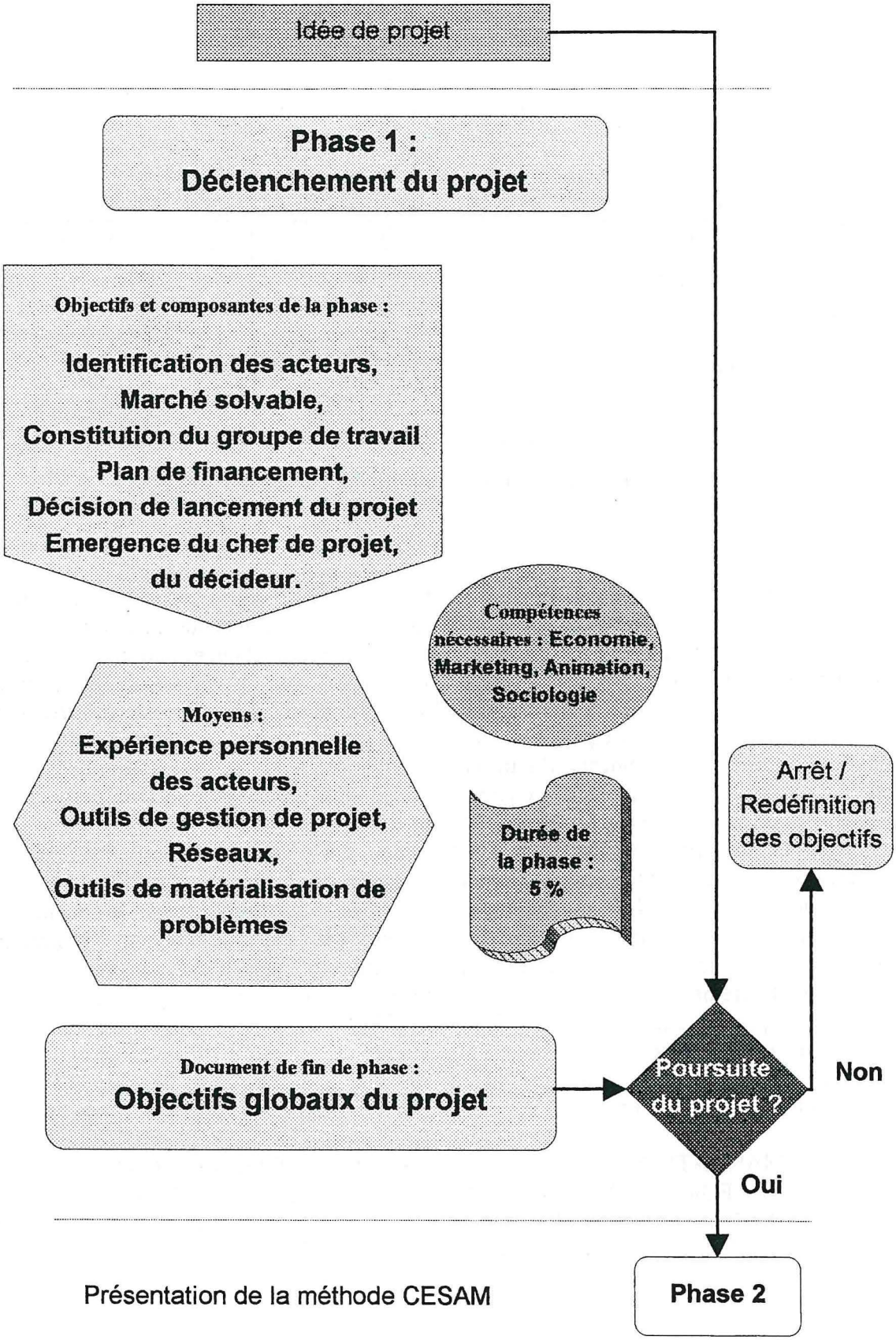
Tableau 1 : **Compétences requises pour chacunes des phases**

L'utilisateur visé de l'équipement à concevoir doit être associé dès le départ du projet et ce ne sera pas le plus facile pour, d'une part, trouver quelqu'un de représentatif de la population visée, d'autre part faire réellement participer cet acteur qui ne sera pas dans son milieu habituel de communication, étant le plus souvent relayé voire remplacé par les vulgarisateurs agricoles dans l'expression de ses besoins. Il faudra résoudre les problèmes de langue, de culture, mais également de transport car les équipes de conception sont rarement localisées sur les lieux mêmes d'utilisation des équipements. Il faut que la confiance s'instaure progressivement ; cela ne peut se faire que sur le long terme, l'équipe de conception connaissant un nombre suffisant d'utilisateurs pour en apprécier la représentativité de chacun.

L'expérience montre que l'argument économique, s'il n'est pas le seul, est souvent prépondérant et apparaît très tôt dans les discussions avec les utilisateurs potentiels.

Par rapport au coût global de possession (investissement + fonctionnement), le concepteur pourra moduler le poids respectif de ces deux facteurs mais, le plus souvent, l'utilisateur recherche un faible coût d'investissement car de nombreux pays n'ont pas de structure opérationnelle de crédit et que leur capacité d'autofinancement est faible ; par ailleurs, nous avons observé que les équipementiers privés en Afrique utilisent la plupart du temps le paiement cash, parfois en plusieurs versements, au fur et à mesure de la construction de l'équipement, l'équipementier lui-même ayant souvent une trésorerie insuffisante pour consentir des traites à l'acheteur.

LES RECOMMANDATIONS DECRITES DANS LA METHODE CI-APRES NE POURRONT PAS FORCEMENT ETRE TOUTES REALISEES, EN FONCTION DES CONDITIONS LOCALES : IL FAUDRA CEPENDANT ESSAYER D'EN CONSERVER L'ESPRIT ET LES GRANDES LIGNES DIRECTRICES.


Idée de projet
Phase 1 :
Déclenchement du projet
Objectifs et composantes de la phase :
Identification des acteurs,
Marché solvable,
Constitution du groupe de travail
Plan de financement,
Décision de lancement du projet
Emergence du chef de projet,
du décideur.
Compétences nécessaires : Economie, Marketing, Animation, Sociologie
Moyens :
Expérience personnelle des acteurs,
Outils de gestion de projet,
Réseaux,
Outils de matérialisation de problèmes
Durée de la phase : 5 %
Arrêt / Redéfinition des objectifs
Document de fin de phase :
Objectifs globaux du projet
Poursuite du projet ?
Non
Oui
Phase 2

PHASE n° 1 : DÉCLENCHEMENT DU PROJET

Cette première étape a pour objectif la rédaction des objectifs globaux du projet et doit permettre de se poser un certain nombre de questions avant le démarrage de la conception proprement dite. Relativement courte puisqu'estimée à 5 % de la durée totale du projet, cette première étape permet de constituer l'équipe de conception et de vérifier sa disponibilité ultérieure ; suivant les étapes, chaque membre ne sera pas pris à plein temps. C'est également à cette étape que doit émerger le **chef de projet** qui aura prioritairement le souci de l'avancement du travail et de la validation de chaque étape. Si le décideur n'est pas le chef de projet, il faudra définir qui prend les décisions et les modalités de prise de décision.

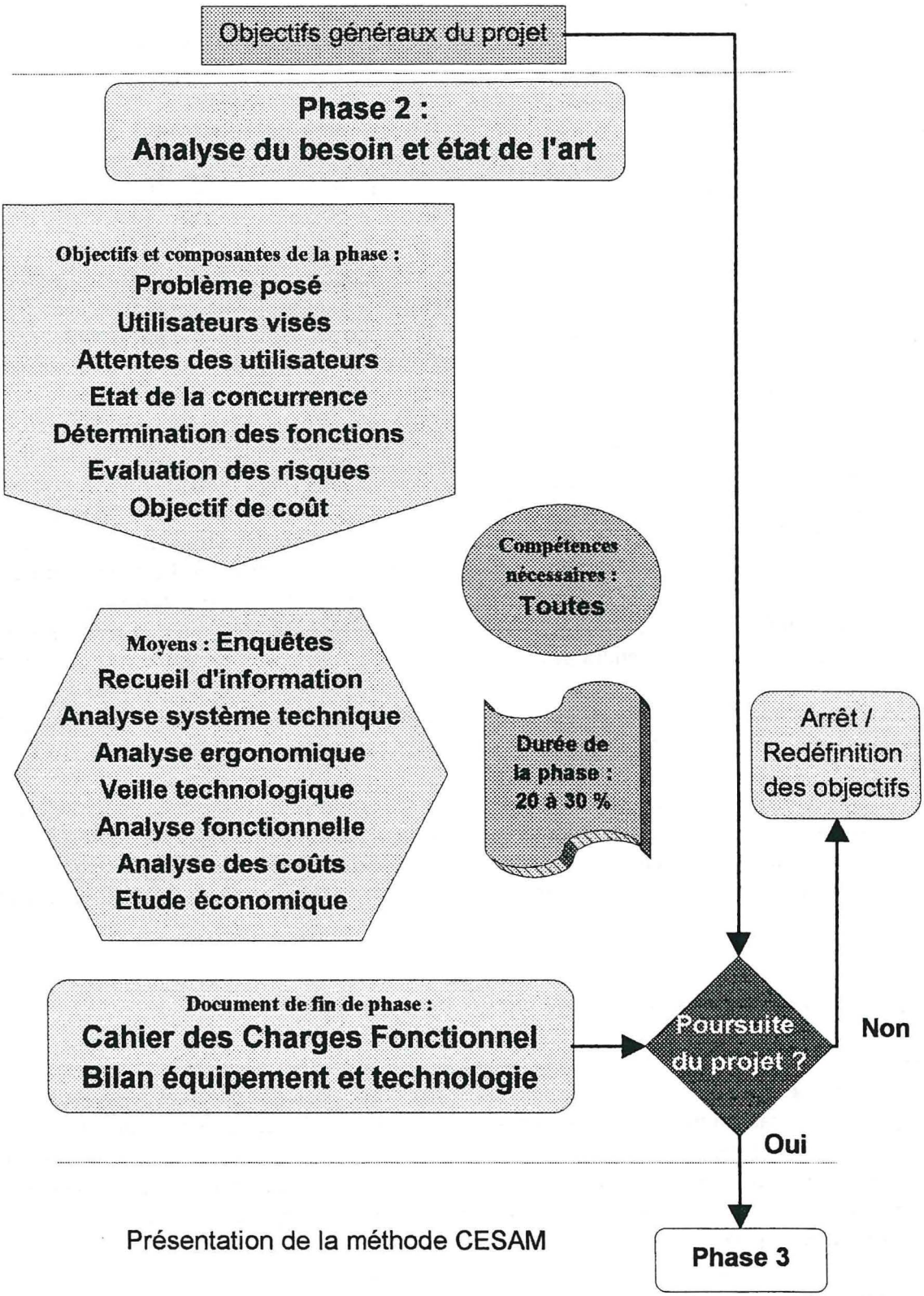
Il faudra commencer par préciser d'où vient la demande et d'en faire l'historique, en particulier s'il s'agit d'une demande diffuse, déjà exprimée par le passé et non résolue de façon satisfaisante. La demande en équipements correspond-t-elle à un projet de développement ? Ce projet se propose-t-il de financer la réalisation d'un certain nombre d'équipements ? La demande vient-elle d'acheteurs potentiels et si oui sont-ils solvables ? A-t-on une idée du marché en terme de quantité à produire et de fourchette de prix de vente ? Toutes ces questions visent à définir de la façon la plus précise possible l'orientation future du travail de conception et à justifier son utilité pour ne pas engager des dépenses inutiles. A ce propos, il ne faut pas perdre de vue les aspects financiers de la conception ; deux budgets sont à prévoir, l'un pour couvrir les coûts des étapes 2 à 5, l'autre pour celui des étapes 6 à 8. A priori, le premier budget qui ne concerne que des études immatérielles devrait être plus faible que le second qui couvre la réalisation du prototype, sa validation et sa diffusion. Le second budget ne sera engagé, à l'issue de la cinquième étape, que si le produit qui a été conçu et dont on peut à ce stade définir avec précision le coût de revient, correspond toujours au marché visé. Un bon produit trop cher ne se vendra pas et il est inutile de perdre de l'argent pour en faire un prototype.

Pour cette première étape, les compétences nécessaires touchent l'économie, la sociologie, l'animation de groupe et le marketing.

La première étape devra être matérialisée par la rédaction d'un document écrit de 1 à 2 pages contenant la justification du projet de conception c'est-à-dire ses facteurs déclenchants, les limites de l'étude, les moyens financiers prévus, la composition nominative de l'équipe de conception, le bilan de ses compétences internes et le nom de la personne qui fera fonction de chef de projet.

PHASE n° 2 : ANALYSE DU BESOIN ET ETAT DE L'ART

Cette étape est **essentielle** et nous recommandons d'y consacrer un quart du temps total de la conception. En effet, un des principaux problèmes rencontrés dans les Pays en Développement a trait au manque d'informations fiables et à la difficulté des communications. Dès lors, il n'est pas rare que les concepteurs comblent cette lacune en faisant comme si c'étaient eux qui allaient acheter le futur équipement et l'utiliser ; ce défaut est parfois encore renforcé dans les projets menés en PED par le fait que les concepteurs soient des expatriés d'une autre culture, parfois hors de leur domaine de compétence professionnelle, pensant que la bonne volonté et le bricolage sont suffisants. Il s'en suit des dérives importantes et des déconvenues lors de la mise en conditions réelles du nouveau produit. Ces problèmes se traduisent par des adaptations successives du ou des prototype(s) aux utilisateurs potentiels,


Objectifs généraux du projet
Phase 2 :
Analyse du besoin et état de l'art
Objectifs et composantes de la phase :
Problème posé
Utilisateurs visés
Attentes des utilisateurs
Etat de la concurrence
Détermination des fonctions
Evaluation des risques
Objectif de coût
Compétences nécessaires :
Toutes
Moyens : Enquêtes
Recueil d'information
Analyse système technique
Analyse ergonomique
Veille technologique
Analyse fonctionnelle
Analyse des coûts
Etude économique
Durée de la phase :
20 à 30 %
Arrêt / Redéfinition des objectifs
Document de fin de phase :
Cahier des Charges Fonctionnel
Bilan équipement et technologie
Poursuite du projet ?
Non
Oui
Phase 3

sans possibilité réelle de remise en question des concepts de base, donc à une complexification technique et à une augmentation des coûts.

C'est également l'étape qui requiert le maximum de compétences (voir tableau n° 1).

Dans un premier temps, il s'agira simplement de faire la **liste des problèmes posés** que le futur équipement se propose de résoudre, et de noter si certains se posent depuis déjà longtemps (problèmes correspondants à des besoins diffus mais pas forcément à un marché en terme économique), ou s'il s'agit de problèmes récents (problèmes liés à des changements de mode de vie, de mode de consommation ou de pouvoir économique). Il faudra à ce stade noter si les problèmes énoncés sont spécifiques à une région, à une communauté, ou se retrouvent dans un certain nombre de pays d'une même zone, auquel cas il faudra avant toute chose essayer d'obtenir des informations pour savoir, au moins de façon grossière à ce stade, comment et pourquoi ils ont été résolus.

Il s'agira ensuite, sans aller jusqu'à parler de segmentation du marché bien que ce concept soit dans certains cas déjà une réalité (par exemple au Sénégal, sur le marché des moulins à céréales, on trouve à capacité égale une gamme de matériels dont les prix vont de 300 000 F CFA, fabriqués par des artisans, à 1,5 MF CFA[2], fabriqués par des industries, et correspondent à des segments de marché différents), de bien préciser **quels sont les utilisateurs visés** : qui sont-ils ? Utilisent-ils déjà d'autres équipements ? Comment va se positionner le nouvel équipement par rapport à ceux qu'ils ont déjà ? Quelles modifications dans l'organisation sociale de leur travail cela risque-t-il d'entraîner ? Quelle est leur capacité financière, au niveau de l'investissement et du fonctionnement (détermination du prix psychologique qui sera un premier objectif de coût et entraînera peut-être l'arrêt de la conception à l'issue de la phase n° 5 si l'objectif n'a aucune chance d'être atteint) ? Quelles sont les **fonctions attendues** du nouvel équipement ? Non seulement les fonctions techniques auxquelles on pense en premier lieu (un moulin est fait pour moudre) mais aussi les fonctions d'usage (pouvoir fonctionner en continu, pouvoir être dépanné par le mécanicien local, pouvoir être utilisé en continu, etc...) et les fonctions d'estime. Les fonctions que devra avoir le futur équipement feront ressortir en particulier 3 types de liaisons :

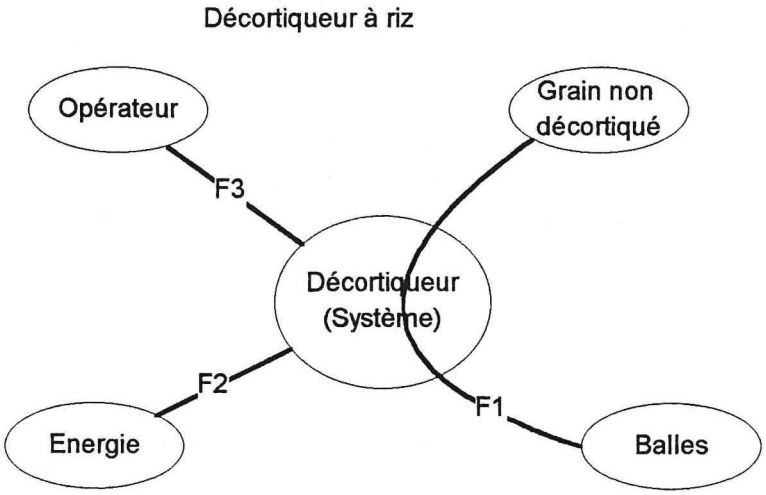
- liens entre les produits (généralement des matières premières agricoles ou des produits semi-finis) et l'équipement, en entrée et en sortie
- liens entre l'utilisateur et l'équipement
- liens entre l'environnement et l'équipement (énergie, installation, respect des normes, etc...).

Ces fonctions seront ensuite classées par ordre d'importance décroissante pour éviter que, par la suite, l'équipe de conception ne donne un poids économique trop fort à une fonction peu importante aux yeux de l'utilisateur. L'analyse fonctionnelle pourra utiliser les outils classiques qui permettent sa mise en oeuvre mais il faut, avant tout, travailler de façon rigoureuse pour ne pas découvrir plus tard des fonctions initialement oubliées ou mal caractérisées.

La collecte de ces données reposera sur des observations, des enquêtes légères et des entretiens en faisant préciser progressivement aux futurs utilisateurs ce qu'ils ne veulent pas car le choix par élimination du contraire est parfois plus facile que le choix direct. Les remarques et critiques formulées sur d'autres équipements existants, même sans lien avec le futur équipement, peuvent être tout à fait pertinentes, que ce soit au niveau des circuits

---

[2] 1 FF = 100 F CFA



Exemple de fonctions (représentation la pieuvre selon la méthode ATPE).

F1 : Le syst. doit enlever les balles du grain
F2 : Le syst. doit utiliser l'énergie disponible
F3 : Le syst. doit être piloté par l'opérateur

Fig. 2 : Représentation des fonctions

commerciaux (distributeurs, grossistes, détaillants, etc...) ou au niveau des utilisateurs. A cet égard, il faudra faire la différence entre les utilisateurs ayant bénéficié de dons dans le cadre de programmes de développement et ceux qui ont effectivement acheté leurs équipements, leurs analyses respectives étant souvent fort différentes. Les observations nécessaires à l'analyse du besoin utiliseront également l'analyse ergonomique du comportement des utilisateurs avec des équipements existants dans des domaines voisins.

Une étude de marché, même sommaire, est indispensable à ce stade de l'analyse du besoin pour évaluer le volume du marché envisagé (on peut accepter des contraintes de fabrication pour un équipement qui sera produit à quelques unités alors que celles-ci deviendraient intolérables pour des séries de 100 ou 500 pièces). Il est rarement possible de mener celle-ci comme cela se fait dans les pays industrialisés pour les raisons suivantes:

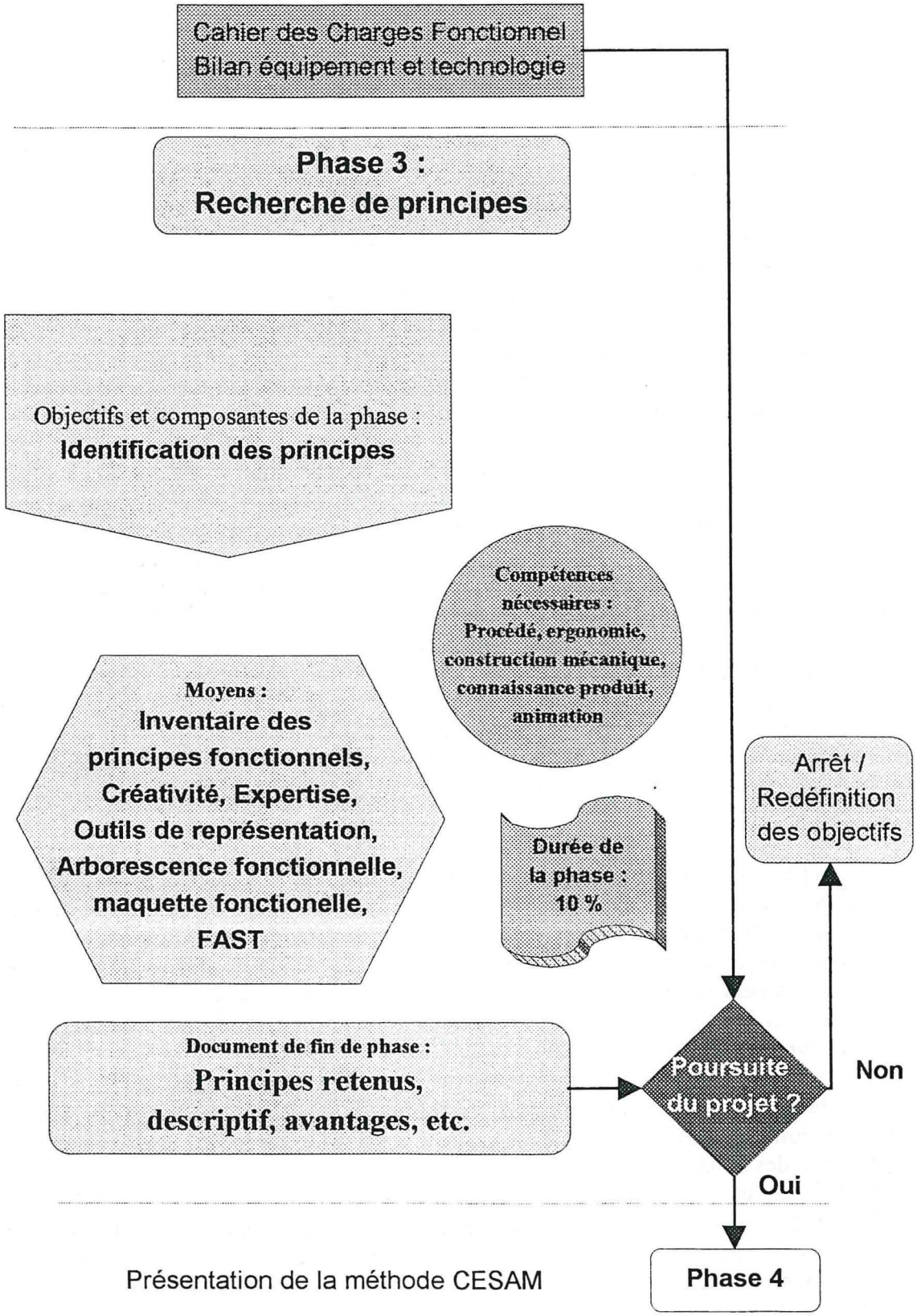
- absence d'observatoire permanent et fiable de la consommation
- accès aux bases de données difficiles
- rareté des experts en marketing pour ce créneau de produits que sont les équipements agricoles et agro-alimentaires.

Dès lors, nous préconisons de faire des hypothèses, essentiellement à partir de l'observation du marché actuel de produits voisins ou concurrents (en fait, il s'agit d'une analyse de la concurrence) : quels sont-ils ? A quels prix et comment sont-ils vendus, quels sont les circuits de distribution et d'après-vente (cette information permettra d'évaluer également les coûts de distribution à prévoir) ? Quels sont les volumes vendus au cours des 12 derniers mois ? Ce type d'information peut généralement s'obtenir localement, auprès des distributeurs, après identification d'un premier distributeur puis de proche en proche. Pour une équipe de conception travaillant sur plusieurs projets successifs il sera possible par la suite de travailler de façon plus rapide en réactualisant un certain nombre de données de base. En dehors de quelques plans d'équipement massifs, d'ailleurs de plus en plus rares avec le désengagement du public au profit du privé, décrétés par les Etats dans le cadre de programmes de développement, les observations que nous avons faites montrent que le pas de temps d'une année est inférieur à l'évolution des marchés d'équipements où les variations ne sont jamais brutales.

Si l'équipe de conception réalise une analyse fonctionnelle du besoin, la phase 2 doit se terminer par la rédaction d'un Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF). Ce CdCF présente les fonctions attendues du futur équipement, leurs critères d'appréciations, leurs niveaux ainsi que les contraintes du projet. Si l'équipe de conception analyse le besoin sans utiliser l'outil AF, les attentes des utilisateurs seront expliquées le plus complètement possible dans un cahier des charges. Dans tous les cas, une fourchette du coût d'acquisition (voire de possession) de l'équipement devra être définie.

Le cahier des charges doit être complété par une note présentant un état de la concurrence de produits analogues, importés ou fabriqués localement, avec les principales tendances d'évolution (produit en phase de lancement, à maturité, en déclin). Les avantages et les insatisfactions des utilisateurs doivent être notés.

La veille technologique doit aussi être réalisée en phase 2 sous peine de différer la phase suivante. Elle est souvent difficile à réaliser dans des contextes où les moyens de communication sont insuffisants et où les publications sur des équipements analogues sont très rares. La collaboration d'un organisme international ayant la compétence dans le domaine considéré peut être précieuse.


Cahier des Charges Fonctionnel
Bilan équipement et technologie
Phase 3 :
Recherche de principes
Objectifs et composantes de la phase :
Identification des principes
Compétences nécessaires :
Procédé, ergonomie, construction mécanique, connaissance produit, animation
Moyens :
Inventaire des principes fonctionnels, Créativité, Expertise, Outils de représentation, Arborescence fonctionnelle, maquette fonctionelle, FAST
Durée de la phase : 10 %
Arrêt / Redéfinition des objectifs
Document de fin de phase :
Principes retenus, descriptif, avantages, etc.
Poursuite du projet ?
Non
Oui
Phase 4

Les déplacements en zone d'utilisation des matériels effectués pour analyser le besoin permettront aussi d'identifier les modes de diffusion et de maintenance d'équipements similaires à ceux envisagés.

L'ensemble des ces informations représente un document de 5 à 10 pages, format A4, mais ne peut en aucun cas se réduire à quelques lignes comme on le voit souvent. Il ne faut pas perdre de vue que c'est uniquement à partir de ce document de référence que va se construire la trajectoire technologique du futur équipement.

PHASE n°3 : RECHERCHE DE PRINCIPES

A partir du CdCF de l'étape précédente, il faut maintenant trouver les principes physiques, chimiques ou biologiques qui permettent de répondre à celui-ci, sans raisonner pour le moment en terme de solutions techniques qui réduiraient trop tôt le champ d'investigation. Nous recommandons de consacrer 10 % du temps total de conception à cette phase, toute durée supérieure étant le signe d'un recours trop important aux ressources externes, mal identifiées. Cette recherche de principes se fera :

- en interne par la créativité du groupe de conception, à partir de ses expériences propres ; la variété des expertises rassemblées au sein de l'équipe est un gage d'ouverture et même des principes non classiques doivent pouvoir être exprimés ; le raisonnement par analogie ne devra pas être écarté.
- en externe :
    * soit par la veille technologique,
    * soit en s'appuyant sur l'état de l'art et les observations des utilisateurs notées lors de la phase 2,
    * soit en faisant appel à des expertises extérieures.

Pour présenter les principes retenus, on pourra s'aider du FAST (Functional Analysis System Technique), outil de représentation et de description d'un système. La méthode FAST présente l'avantage d'ordonner les Fonctions techniques (Ft) ou principes élémentaires suivant un ordre logique. Les principes élémentaires sont représentés dans des boites rectangulaires (voir fig. 3). Le système est représenté par un diagramme comportant trois parties :

* dans la partie de gauche, on trouve les fonctions de service du système et les attentes des utilisateurs,
* dans la partie de droite, les ressources extérieures au système,
* dans la partie centrale délimitée par des traits forts (représentant l'équipement), les principes élémentaires ou fonctions techniques, on passe d'une fonction à une autre en se posant les questions : Pourquoi ? Comment ? Quand ?

La méthode FAST permet de visualiser la logique fonctionnelle d'un système et les relations entre les principes élémentaires.

Plusieurs fonctions techniques sont associées pour réaliser une fonction de service. Par exemple, pour assurer une fonction "*enlever la balle de riz du grain*", il faut :

* une Ft1 stocker / distribuer,
* une Ft2 détacher l'enveloppe du grain par friction,
* une Ft3 séparer pneumatiquement.

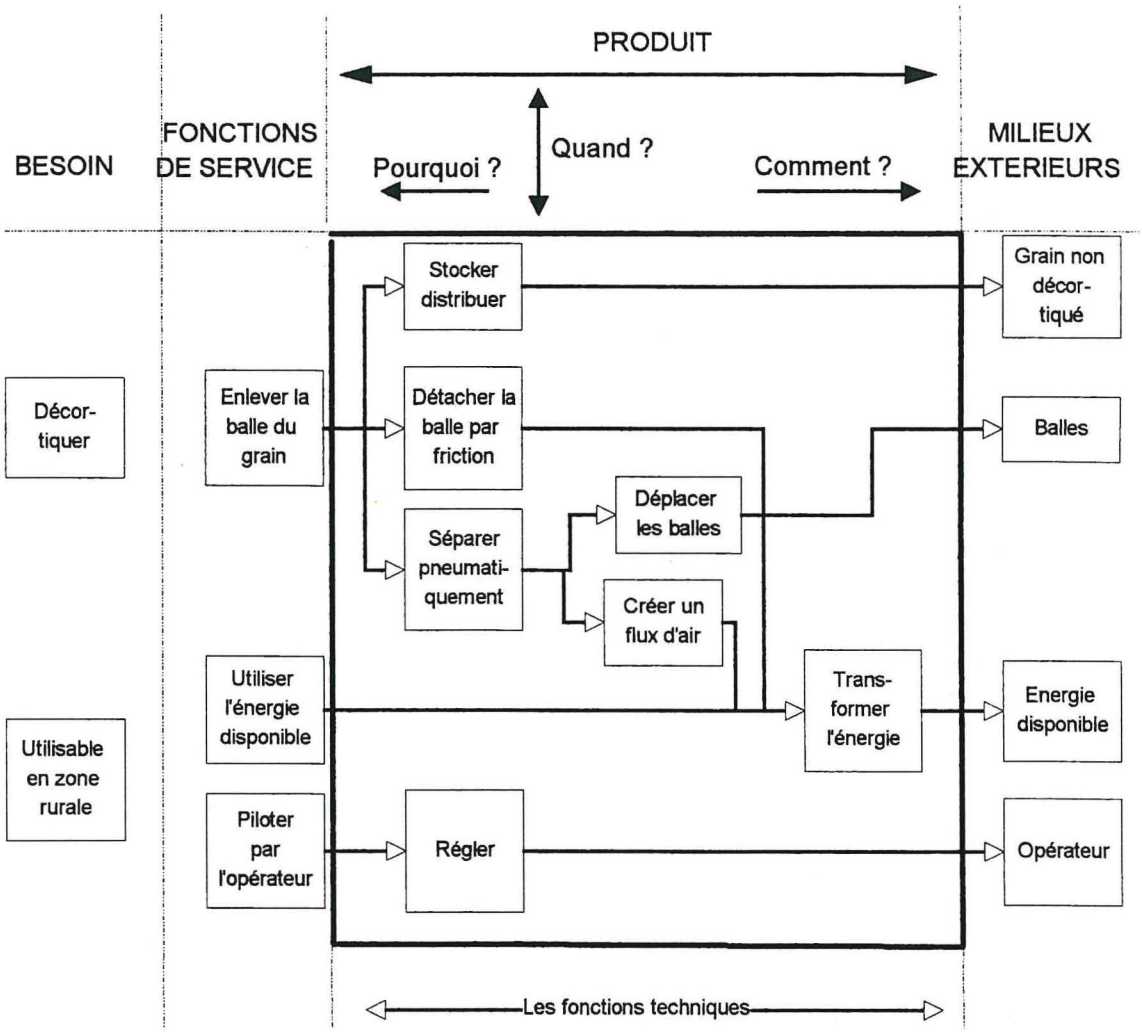
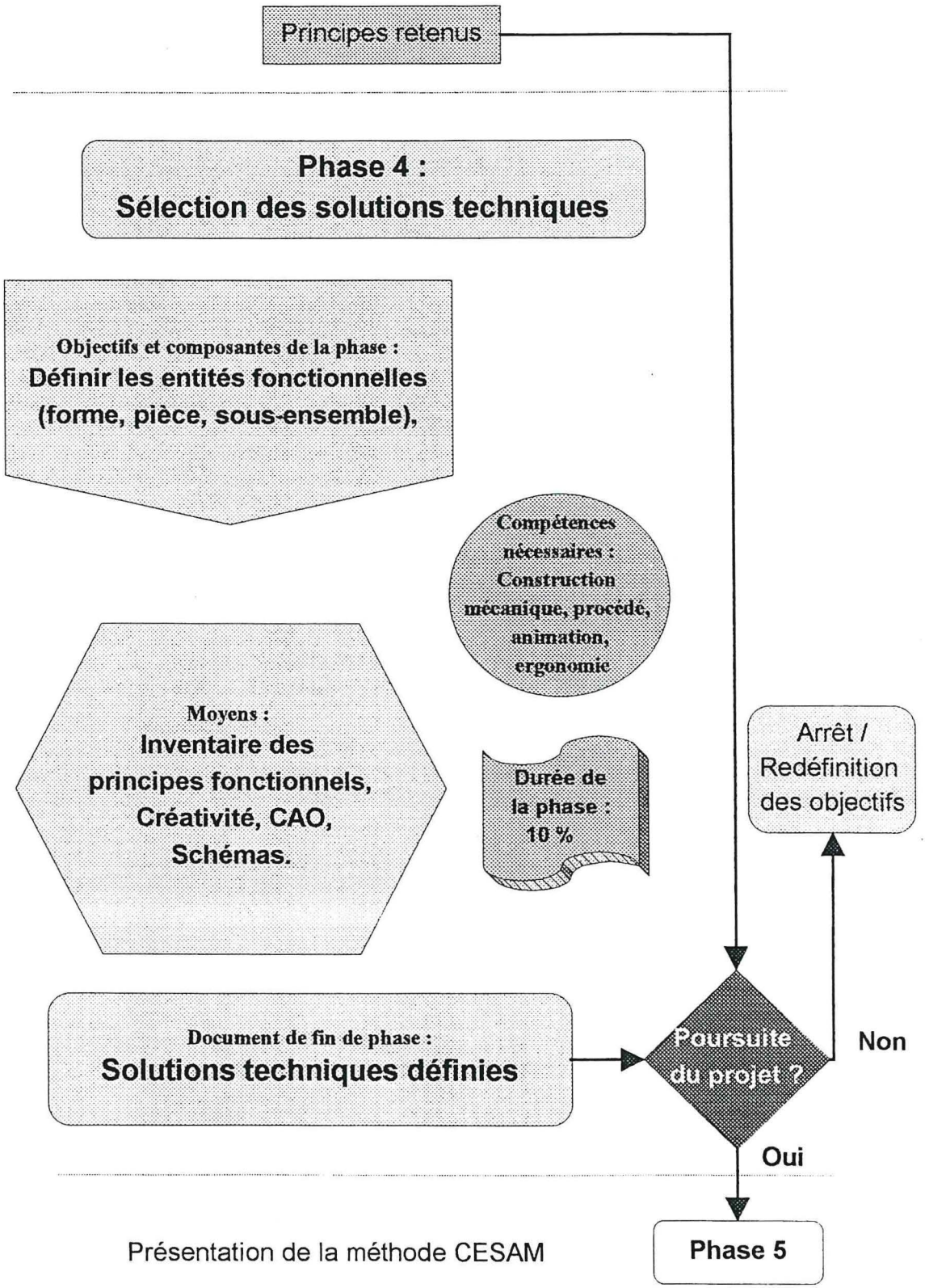
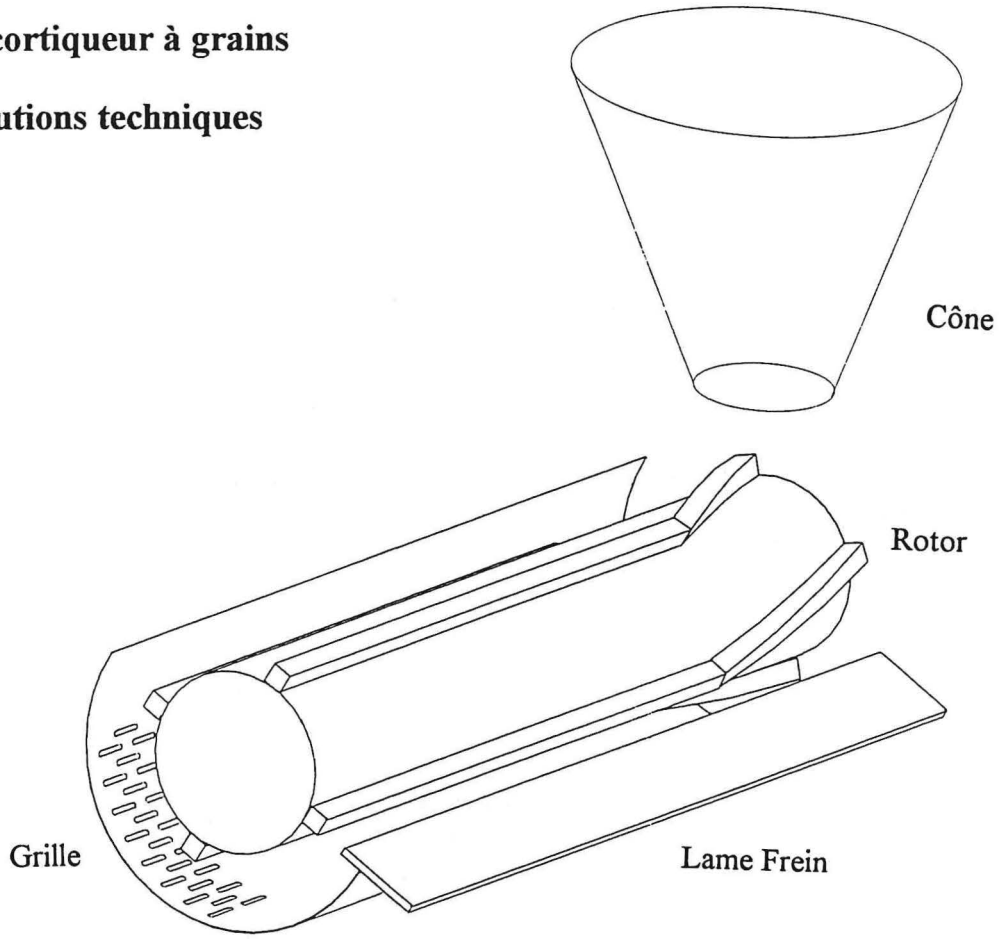


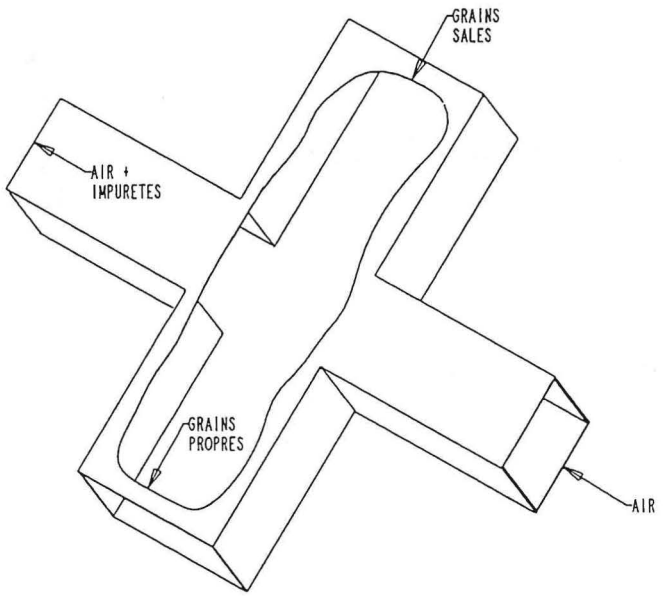
Fig. 3 : FAST d'un décortiqueur à riz.


Principes retenus
Phase 4 :
Sélection des solutions techniques
Objectifs et composantes de la phase :
Définir les entités fonctionnelles
(forme, pièce, sous-ensemble),
Compétences nécessaires :
Construction mécanique, procédé, animation, ergonomie
Moyens :
Inventaire des principes fonctionnels, Créativité, CAO, Schémas.
Durée de la phase :
10 %
Arrêt / Redéfinition des objectifs
Document de fin de phase :
Solutions techniques définies
Poursuite du projet ?
Non
Oui
Phase 5

Décortiqueur à grains

Solutions techniques





Ces trois fonctions techniques correspondent à trois principes différents. Dans le domaine qui nous intéresse, l'équipement agricole et agro-alimentaire, un certain nombre de principes de base sont utilisés sur différents types de matériels ; il sera donc intéressant d'en faire un inventaire.

Nous préconisons de ne retenir qu'un principe élémentaire par fonction technique car les études techniques ultérieures seraient beaucoup trop longues et trop coûteuses s'il fallait retenir tous les principes évoqués lors de cette étape, chaque principe pouvant lui-même conduire à plusieurs solutions techniques. L'avis de l'utilisateur sera particulièrement important dans le choix du principe mais il faudra qu'il y ait, comme aux étapes précédentes, consensus de toute l'équipe de conception sur le principe retenu.

Dans certains cas, une maquette fonctionnelle sera réalisée pour valider un principe retenu, non usuel pour le groupe de conception. Il ne s'agit en aucun cas de la construction d'un premier prototype mais simplement de vérifier la faisabilité technique grâce à un montage qui n'aura aucune ambition de durabilité. Cette maquette permet de matérialiser le principe ce qui facilite sa compréhension par l'équipe.

Le document de fin de phase doit comporter une description des fonctions techniques et de leurs avantages par rapport à celles qui n'ont pas été retenues.

PHASE n°4 : SÉLECTION DES SOLUTIONS TECHNIQUES

Comme l'étape précédente, celle-ci est relativement courte et ne devrait pas dépasser 10 % du temps global de la conception. Un risque évident est de mélanger les étapes 3 et 4 et de réfléchir directement en terme de solutions techniques qui sont plus restrictives que les principes eux-mêmes.

Il faut maintenant passer des principes aux solutions techniques, c'est à dire aux entités fonctionnelles qui vont réaliser ces fonctions. Ces entités peuvent être des formes, des composants ou des sous-ensembles.

Pour le décortiqueur précédemment cité, nous aurons une solution technique par fonction technique c'est à dire (voir fig. 4) :

* un cône pointe en bas pour Ft1,
* un rotor, une grille, une lame frein, un capot supérieur pour Ft2,
* un canal de vannage pour Ft3.

Il s'agit de définir les formes géométriques représentant les esquisses de pièces qui assurent ces fonctions. En aucun cas, nous ne définissons complètement la pièce. Il est souhaitable de proposer différentes solutions techniques afin de choisir la meilleure.

La solution technique de la fonction technique "*créer un flux d'air*" est un ensemble de composants : rotor et volute de ventilateur. Celle de la fonction "*transformer l'énergie disponible*" est un ensemble complet : le moteur thermique ou électrique selon le cas, etc...

Dès cette phase, la CAO est utilisée pour représenter et disposer les solutions techniques les unes par rapport aux autres, sinon, une première mise en plan est réalisée à la

Cahier des Charges Fonctionnel
Solutions Techniques définies
Cahier des charges environnement produit

Phase 5 :
Définition du produit

Objectifs et composantes de la phase :
Définition des pièces, de l'architecture, des sous-ensembles, des approvisionnements, des modes de fabrication, du type de maintenance, du coût de fabrication.

Compétences nécessaires :
construction mécanique, fabrication, distribution, ergonomie, animation .

Moyens : RdM, documentation technique, CAO, planche à dessin, inventaire des technologies de fabrication, des moyens de production, des matières premières, des coûts de fabrication.

Durée de la phase : 20 à 30 %

Document de fin de phase :
Cahier des Charges Produit
Plans, gammes, etc.

Poursuite du projet ?

Non → Arrêt / Redéfinition des objectifs

Oui → **Phase 6**

planche. A ce stade de la conception, il s'agit d'un "montage en l'air" ; il n'y a ni châssis, ni support.

A la fin de la phase 4, l'équipe de conception dispose des esquisses sur CAO ou sur papier et d'un document décrivant les solutions techniques retenues correspondant le mieux aux fonctions de service et à toutes les contraintes énoncées précédemment.

PHASE n° 5 : DÉFINITION DU PRODUIT

C'est la dernière phase de réflexion avant matérialisation complète de l'équipement. Il s'agit maintenant de définir de façon précise le futur équipement, les modes de fabrication et les approvisionnements. Cette phase devrait prendre 20 à 30 % du temps total de la conception. Les principaux outils utilisés sont les outils du bureau d'études (feuilles de calcul, catalogues de composants, planche à dessins ou CAO) et ceux permettant la prise en compte des approvisionnements, de la fabrication et de la maintenance des futurs équipements. L'avantage de la Conception Assistée par Ordinateur est de représenter, dans l'espace, le futur équipement ce qui permet une meilleure compréhension pour tous les acteurs. De plus en plus d'équipes dans les PED disposent de cet outil.

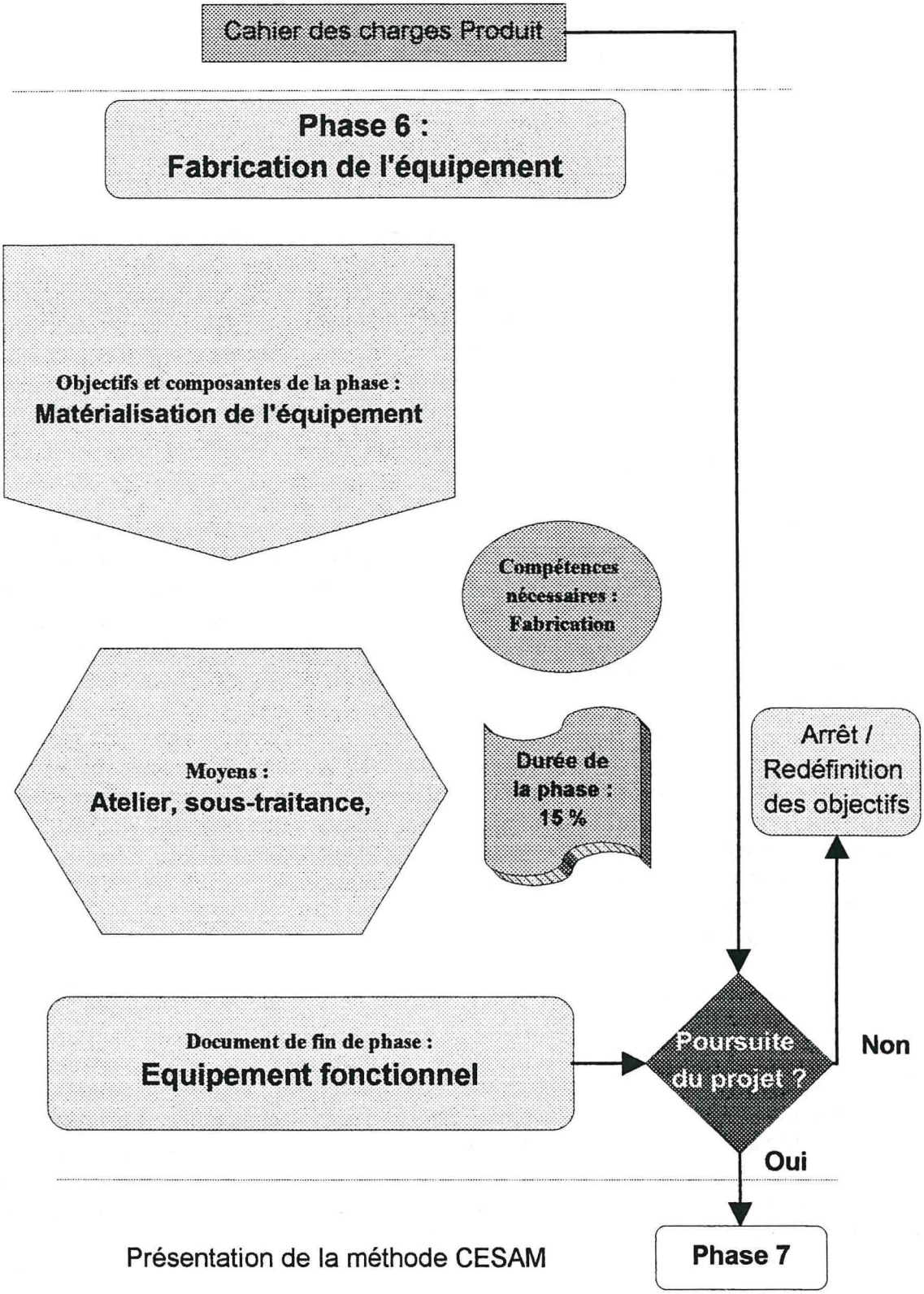
Il est indispensable de définir les composants du produit en tenant compte d'une part, des fonctions à réaliser et d'autre part du matériau, de la forme et du procédé de fabrication. Il y a interaction très forte entre ces trois facteurs. Le choix du moulage comme procédé de fabrication impose un choix de matériau (fonte ou aluminium) et de formes spécifiques de la pièce (congés, dépouille, épaisseur constante, etc...). Un équipement réalisé en mécano-soudure est réalisé à partir de profilés et de tôles ; certaines formes de pièce sont imposées par la disponibilité des matériaux, etc...

Il s'agira d'abord d'étudier, pour l'équipement, les principales caractéristiques des **sources d'approvisionnement local en matières d'oeuvre** : type de matériau (fonte, acier, bois, PVC, etc...), forme de vente, prix au kg, au mètre linéaire, au m², disponibilité, etc... Un travail de même type sera fait pour les sous-ensembles les plus courants :

- moteurs électriques et système de commande / protection,
- moteurs thermiques,
- roulements, paliers, poulies.

Ces recherches d'information porteront aussi bien sur des éléments neufs que sur des éléments de récupération. Il est inutile à ce stade d'avoir des listes très longues de prix et de disponibilité de tout le petit matériel (visserie, joints, raccords, courroies, etc...) puisque dans tous les équipements, cette partie représente souvent un coût inférieur à 10 % du coût total.
Ce travail sera complété par des recherches dans d'autres technologies (pneumatique, hydraulique, électronique, etc...) uniquement si les solutions techniques étudiées y ont recours.

Il faudra dresser ensuite la **liste des savoir-faire locaux** dans la zone où va se faire la fabrication des futurs équipements : moulage et fonderie d'aluminium, mécano-soudure, tournage/fraisage, plasturgie, etc... Cela permettra au groupe de conception d'écarter des solutions techniques ne correspondant à aucun savoir-faire local (un équipement très bien conçu en inox dans une zone où le savoir-faire de la soudure inox n'existe pas n'est pas à recommander). Enfin, il faudra préciser les **possibilités de maintenance locale** en distinguant


Cahier des charges Produit
Phase 6 :
Fabrication de l'équipement
Objectifs et composantes de la phase :
Matérialisation de l'équipement
Compétences nécessaires :
Fabrication
Moyens :
Atelier, sous-traitance,
Durée de la phase :
15 %
Arrêt / Redéfinition des objectifs
Document de fin de phase :
Equipement fonctionnel
Poursuite du projet ?
Non
Oui
Phase 7

la maintenance que l'on pense pouvoir demander à l'utilisateur moyen, la maintenance qu'il pourra réaliser en faisant appel à des ressources techniques proches de son lieu d'utilisation et la maintenance qui nécessitera forcément de faire appel au constructeur. L'analyse de ces différentes capacités permettra d'orienter les solutions techniques et de faire des choix en fonction de la maintenabilité prévisionnelle du futur équipement. Lorsqu'il s'agit de projet de conception d'équipements innovant, on procédera par analogie avec des produits de même nature. Dans tous les cas, la prise en compte de la maintenance du futur équipement devra se faire dès la phase de conception.

Tous ces éléments pourront être regroupés dans un Cahier des Charges Environnement du Produit (CdCEP). Ce CdCEP sera utilisable pour plusieurs projets similaires. L'équipe de conception assurera une réactualisation des données de base en fonction des expériences réalisées.

Le travail de la phase 5 consiste d'abord à définir de façon précise les composants répondant aux solutions techniques (appelés éléments indispensables) puis ceux correspondant aux fonctions de construction. Ces derniers ne participent pas directement à la mise en oeuvre des principes ; mais ils permettent de positionner ces éléments indispensables, de réaliser des liaisons et d'assurer l'architecture de l'équipement.

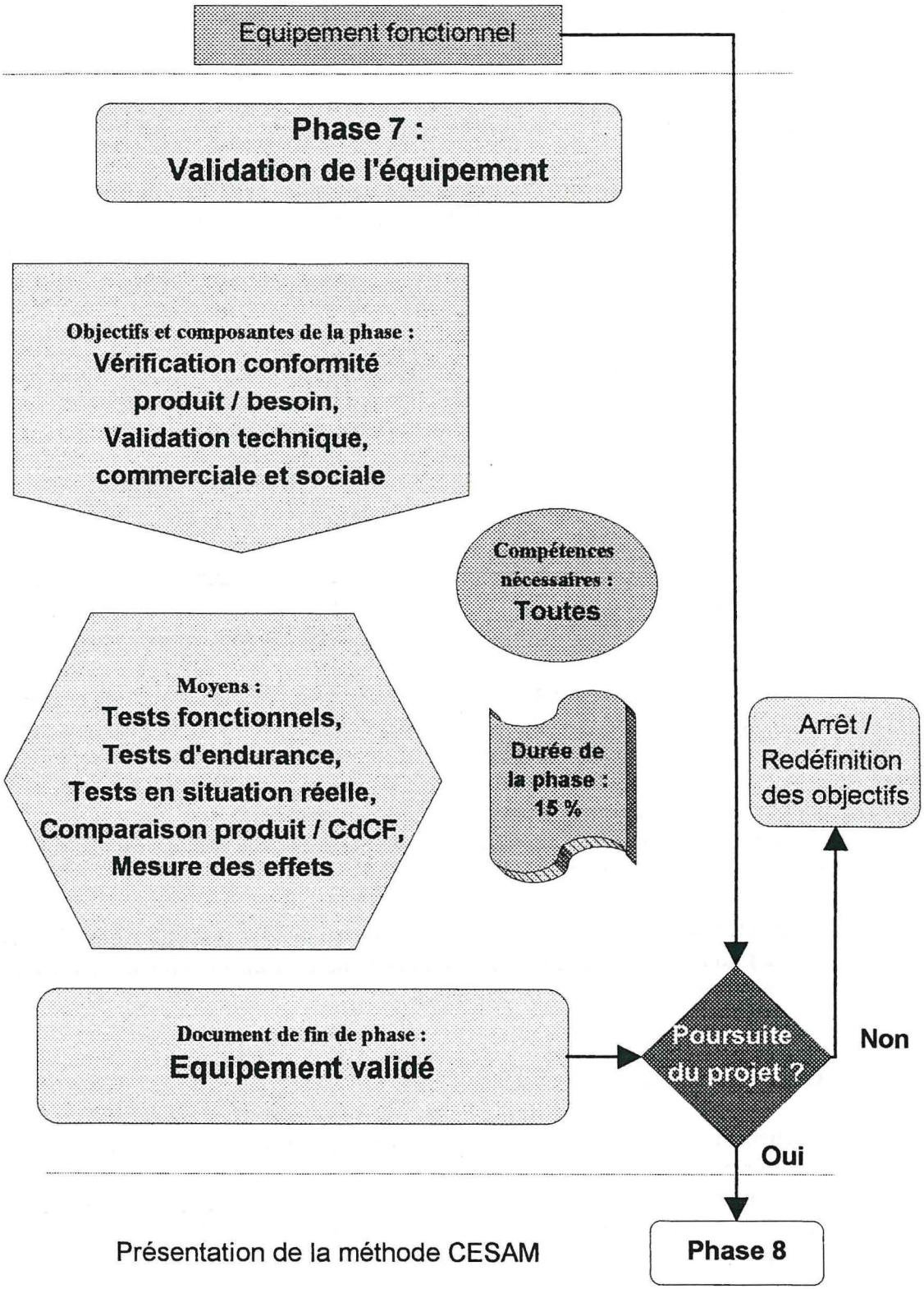
Les éléments indispensables sont définis à partir des esquisses de solutions techniques précédemment définies. Le CdCEP permet de prendre en compte les aspects liés à la fabrication, la maintenance, etc... Puis, les composants correspondants aux fonctions de construction sont définis. L'ensemble de l'équipement est défini en même temps que les approvisionnements et les modes de fabrication. Les plans de détails sont ensuite réalisés.

Tous ces éléments permettent maintenant d'avoir une idée précise du coût de revient du futur équipement et de connaître, en fonction des circuits de distribution envisagés, quel sera le prix proposé à l'utilisateur, incluant la marge des différents intermédiaires. Si ce prix est largement supérieur au prix issu de l'étude de marché, il est inutile d'aller plus loin : seule une modification importante de l'environnement économique pourra redonner ses chances à ce projet. Toutefois, cette situation devrait être relativement rare dans la mesure où les objectifs de coût ont été définis et pris en compte dès l'étape n° 2.

A l'issue de cette étape, le groupe de conception devra rédiger le **Cahier des Charges du Produit (CdCP)** sous forme des plans de l'équipement et d'un document de quelques pages de notes de calcul et indications de construction.

PHASE n°6 : CONSTRUCTION DU PROTOTYPE

Le déclenchement de cette étape devra obligatoirement associer, si ce n'est pas déjà fait, un équipementier puisque c'est lui et lui seul qui prendra la décision financière d'investir dans le prototype puis de faire tous les efforts financiers pour le lancement des nouveaux produits. Dans certains cas, les projets de développement, financés par des bailleurs de fonds étrangers, peuvent être assimilés à des équipementiers : toutefois, il faut noter que la rentabilité économique n'est que rarement leur priorité (il n'est, par exemple, pas rare d'observer des équipementiers locaux privés qui vendent leurs équipements à de tels projets à des prix 3 ou 4 fois plus élevés que le prix du marché).


Equipement fonctionnel
Phase 7 :
Validation de l'équipement
Objectifs et composantes de la phase :
Vérification conformité produit / besoin,
Validation technique, commerciale et sociale
Compétences nécessaires :
Toutes
Moyens :
Tests fonctionnels,
Tests d'endurance,
Tests en situation réelle,
Comparaison produit / CdCF,
Mesure des effets
Durée de la phase :
15 %
Arrêt / Redéfinition des objectifs
Document de fin de phase :
Equipement validé
Poursuite du projet ?
Non
Oui
Phase 8

La décision de construire l'équipement ayant été prise, cette étape ne présente aucune particularité et il s'agit simplement de passer à la matérialisation du produit, soit en utilisant les ressources internes du groupe de conception ou de l'équipementier associé, soit en ayant recours à la sous-traitance. Cette étape est relativement rapide et ne devrait pas dépasser 15 % du temps global de conception.

Contrairement à des démarches classiques où le premier prototype, vite construit au début du projet, n'est qu'une approche très imparfaite du produit fini, dans la démarche que nous proposons, il s'agit d'un produit bien élaboré, avec une peinture soignée, la marque, etc... qui est très proche du produit qui sera commercialisé, même s'il est évident que quelques mises au point finales seront encore nécessaires. L'importance de l'étude préalable diminue les risques d'erreurs graves. Il faut toutefois noter qu'il n'est pas possible d'avoir un risque nul.

PHASE n° 7 : VALIDATION DU PROTOTYPE

Le prototype ayant été construit, il s'agira maintenant de le valider sur le plan technique (fonctionnalité, performances techniques, endurance, etc...), commercial et social. La validation technique doit être solide avec un cahier des charges décrivant les tests et mesures à réaliser, les matières premières, les rendements, la qualité des produits finis. Ces tests devront être faits avec un utilisateur potentiel au niveau du maniement de l'équipement, les mesures étant assurées par une personne compétente.

La première chose à faire est évidemment de valider la fonction principale pour laquelle a été réalisé le prototype, mais cette validation sera courte dans le cas où une petite maquette fonctionnelle a été réalisée à l'étape n° 4. Il faudra également valider une par une les autres fonctions telles qu'elles ont été décrites dans le CdCF à l'étape n° 2. Les tests d'endurance devront être limités à une ou deux semaines de fonctionnement en continu, les pannes majeures survenant généralement dès le début de l'utilisation. L'ensemble de ces validations devrait se faire sur une durée de l'ordre de 15 % du temps total consacré à la conception.

PHASE n° 8 : DIFFUSION DE L'ÉQUIPEMENT

Cette dernière étape a été introduite au sein de la démarche de conception, car bien souvent, il y a rupture entre le travail de réalisation du prototype et la mise en marché des produits finis. Il nous semble important que la diffusion de l'équipement, même si elle n'est pas directement réalisée par le groupe de conception, soit suivie par celui-ci pour permettre de vérifier que les analyses antérieures des circuits de distribution et de service après-vente correspondent bien aux informations qui avaient été recueillies à l'étape n° 2. Cette étape, dont la durée n'a pas été intégrée dans celle de la conception puisqu'elle peut s'étendre sur plusieurs années, permet également d'envisager l'élargissement de la gamme de produits initialement prévue (nouvelles capacités, possibilités de fabrication avec des séries plus importantes que celles initialement prévues, etc...) ; elle permettra également d'observer si, après quelques années de diffusion du produit, une nouvelle démarche de conception doit être entreprise dans le cadre d'une opération de reconception.

La rédaction d'une publication sur le processus de conception de l'équipement doit clore le projet. Elle nécessite une réflexion et une analyse approfondie, permet une capitalisation de l'expérience et bénéficie aussi bien aux acteurs du projet qu'aux personnes extérieures.

CONCLUSION

Les différentes étapes d'une démarche de conception décrites dans la méthode CESAM ont été spécialement réfléchies dans la perspective du développement d'équipements agricoles et agro-alimentaires, incluant les équipements de valorisation non-alimentaire des matières agricoles à but de production d'énergie, à petite échelle car c'est un domaine où l'offre est encore faible alors que la création de petites unités (PME/PMI ou micro-entreprises) est largement encouragée dans de nombreux pays en développement, en particulier en Afrique où le désengagement de l'Etat est de plus en plus fort. Cette méthode sera validée et affinée au cours des années 1997 et 1998 dans le cadre de l'ATP "Méthodes de conception" ; elle sera ainsi enrichie et illustrée d'exemples concrets, dans le cas de conception de nouveaux équipements (produits très innovants dans le contexte socio-économique étudié) ou de la reconception d'équipements existants suite à une évolution de l'environnement social, technique et/ou économique.

ANNEXES

Alternatives technologiques de fabrication : CESAM-TECH

Lors de l'atelier d'échange-formation avec les partenaires du Sud, animé par le CIRAD à Montpellier en octobre-novembre 1996, un premier inventaire de solutions techniques alternatives a été élaboré. Cet inventaire complète la méthode CESAM puisqu'il permet d'étudier des solutions alternatives intéressantes mais peu diffusées

Les objectifs de CESAM-TECH sont les suivants :

* identifier des solutions techniques permettant de réaliser des équipements agricoles et agro-alimentaires de petite et moyenne capacités en utilisant au mieux les ressources locales disponibles,
* limiter les coûts de ces équipements tout en respectant leurs fonctions,
* assurer une diffusion de ces technologies auprès de tout utilisateur potentiel.

Nous souhaitons poursuivre cette démarche et enrichir la liste des propositions. Il ne s'agit que d'une première version qui doit être complétée pour être utilisable. Il est indispensable, pour que cette démarche ait toute sa pertinence, de préciser les limites des solutions proposées.

ATP Méthode de Conception d'Equipements dans les Pays du Sud
Alternatives technologiques de fabrication : CESAM-TECH

Proposition d'alternative technique	Solutions classiques	Exemple - référence	Initiateur de l'alternative ou rapporteur de la sol.	Avantages / Commentaire
Peinture alimentaire sur tôle ou châssis en acier pour équipement agro-alimentaire Peinture époxy	Tout inox	Extracteur de miel Rouleur CIRAD	M. SARR ESP Sénégal Cirad	Coût ↘. Economie importante sur châssis. Pb. disponibilité Inox. Précautions à prendre pour parties en contact avec les produits alimentaires.
Palier applique mécano soudé ∅ 40 usiné + roulement	Palier applique type SKF auto aligneur	Moulins	PAMEC Sénégal	Coût ↘↘. 2 paliers SKF 75000 F palier usiné 6000 F
Boîte à roulements avec roulements rigides	2 Paliers auto-aligneurs	?		Coût ↘
Moyeux de mini-bus récupérés pour rotor de moulin	Palier-roulement	Moulins	PAMEC Sénégal	Coût ↘↘
Fonderie d'aluminium + usinage	Poulie (importée) Moyeu rouleur (pièce en inox)	Matériel de transformation Rouleur	APICA, Cameroun autre CIRAD	Coût ↘↘. Facilité de reprise d'usinage. Grande disponibilité des fondeurs
Masse en béton	Acier	Equipements divers	ESP, Sénégal	

Découpe de versoirs cylindriques dans tube pétrole XAR 400	Acier Triplex. Acier au bore	Charrue de traction animale	M. MAMI, INGREF, Tunisie	Coût ↘↘. Pb. disponibilité du tube.
Tôle alu + soudure par points + colle Tôle alu soudée Tôle alu rivetée	Tôle inox soudée " "	Torréfacteur à café Rouleur	M. ZOGO, Bénin Cirad	Coût ↘↘ : tôle 1x2m x1,5mm . Inox 167 000 F . Alu 49 000 F Facilité d'assemblage local
Tôle alu repoussée pour réalisation trémie	Tôle acier roulée, pliée, soudée	Décortiqueurs artisanaux café RCI	M. KOUAKOU, IPNETP, Côte d'Ivoire	Approvisionnement Alivoir Abidjan
Courroies plates sur poulies plates	Courroie trapézoïdale	Décortiqueurs DM74 SACM	Colombie, Brésil, M. KOUAKOU	Maintenance et fabrication faciles.
Bagues plastiques (Ertalon ?)	Bague bronze Acier / fonte	Pompe manuelle Roulette de charrue		Résistance conditions sévères
Tube plastique PVC	Acier / Bronze	Pompe manuelle	Lycée Pikine, Sénégal	Coût ↘↘↘. Grande disponibilité du PVC

RESUME

Une méthode de conception applicable au domaine des équipements à petite échelle dans les secteurs agricoles, agro-alimentaire et énergétique, a été élaborée à l'issue d'un séminaire international de 4 semaines qui s'est déroulé en novembre 1996 à Montpellier et qui rassemblait une douzaine de concepteurs issus de 7 pays du Sud. Cette méthode, appelée CESAM (Conception d'Equipements dans les pays du Sud pour la production Agricole et agroalimentaire, Méthode), découpe le processus de conception en huit phases. Elle est destinée à des équipes de conception des Pays en Développement.
Elle consigne un certain nombre de passages obligés qui ne permettent l'avancement de la conception que lorsque ceux-ci ont été validés, c'est à dire lorsque le groupe de conception a décidé que l'objectif principal de l'étape était atteint.
A chaque étape sont associées des actions, des informations nécessaires et des décisions à prendre. Le processus de conception est interrompu ou redéfini dès lors qu'une étape ne peut être validée.

MOTS CLEFS

Méthode, Conception, Equipement, Afrique, Pays en Développement