



Promotion de l'Électrification Rurale et
de l'Approvisionnement Durable en
Combustibles Domestiques



PERACOD

**APPUI A LA DEFINITION DES STRATEGIES DE LA
MISE EN OEUVRE D'UNE POLITIQUE D'ENERGIE
RURALE PRODUCTIVE.**



Ivan Cyphelly
Alternativas CMR,S.L
Août 2005

SOMMAIRE

1. Contexte, introduction.....	4
2.Répertoires techniques d'applications	6
2.1.La motorisation à partir d'une source en courant continu (batterie)	6
2.2.Les moteurs à commutation mécanique sans aimants permanents	7
2.3.Les moteurs à commutation mécanique avec aimants permanents	7
2.4. Les moteurs à commutation électronique et aimants permanents	8
2.4.1 Les moteurs à circuit magnétique ferreux	8
2.4.2Les moteurs à circuit magnétique non ferreux	8
3. L'adéquation aux tâches des applications ciblées.....	9
3.1.Les puissances	9
3.2.Les vitesses	10
3.3.Les tensions	10
3.4.Transformations des récepteurs:	11
4. Spécifications techniques des applications	11
5. mise en oeuvre pratiques des applications.....	12
5.1. Les modules, leur orientation et leur exploitation	13
5.2.Les MPPT (Maximum Power Point Tracker) ou optimiseurs de modules	14
5.3.L'optimisation de la durée de vie des batteries	14
5.4.L'électrification à l'intérieur d'un village: le Minibatnet	15
5.5.Matériel spécifique d'installation et d'entretien	16
5.6.Aperçu sur les normes et certifications	17
6.Expériences sur quelques applications et perspectives	19
6.1.Les moulins à céréales	19
6.1.1 la motorisation	20
6.1.2 Les marteaux	20
6.1.2 Le bâti	21
6.1.3 Les valves à grains	21
6.1.4 Conclusion	22
6.2. Les décortiqueuses	22
6.3.Les groupes cryogéniques, la filière du lait et les chambres froides	23
6.4. Le bas régime de petite puissance: les brasseurs plafonniers, les agitateurs, les presses	24
6.5 Les machines-outils et outillages à main électriques pour ateliers autonomes	25
6.6 Les applications productives sans moteur: fer à repasser, soudure à l'étain et à l'arc	26
<i>Avec 3 kg de charbon on peut repasser 5 pantalons</i>	26
7 Problèmes rencontrés, leçons apprises et recommandations.	28
7.1 Concept de fourniture-formation (Le NORD-OUEST, 2003)	28
7.2 Actions immédiates	30
7.3 Suggestions concernant les développements prioritaires	30
8. Apport de la filière thermique et problématique d'émission CO2.....	31
8.1 Généralités sur la filière thermique	31
8.2 Les fonderies d'aluminium	33

8.3 La chaîne de CO ₂ et autres pollutions	36
8.4 Conclusions:	37
BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES	38
annexes.....	39

1. Contexte, introduction

La finalité de toute implantation énergétique décentralisée est de toute évidence de faire émerger en milieu rural une structure productive fiable et abordable économiquement afin de pouvoir générer des revenus stables.

Au début, le rôle dévolu aux énergies renouvelables dans ce contexte semblait idéal, vu que les sources en sont apparemment gratuites (vent, soleil, vagues etc) et qu'il suffisait donc de créer des structures administratives (organisation et finances) pour mettre en place un processus auto-géré qui pourvoierait à l'investissement initial et au recouvrement des faibles charges récurrentes.

Mais rien (ou presque rien) n'a bougé dans ce domaine en plus d'une décennie, si bien qu'il faut accepter qu'il manque – entre autres choses – un binôme essentiel: la technique adaptée et sa philosophie d'application.

Pour de multiples raisons, cette technique ne peut se « récolter » au moyen d'appels d'offres même très alléchants – notamment en photovoltaïque, qui est la voie la plus prometteuse en Afrique – car il n'existe pas hors pompage un seul embryon d'élément ou de concept directement implantables en brousse (si ce n'est sur la base d'onduleurs de puissance couplés à des machines à courant alternatif, ce qui déboucherait sur des prix exorbitants tant par le convertisseur lui-même que par la dimension du générateur suite à un plus faible rendement); en conséquence il n'existe pas non plus de procédures d'implantation et de formation s'y référant. Cette situation justifie donc amplement ce travail.

Bien que l'analyse des raisons de ladite situation ne fasse pas l'objet de ce rapport (voir en références ceux qui s'y sont essayés) citons quand-même :

- l'absorption presque complète de l'industrie photovoltaïque par les **injections aux réseaux** subventionnées dans beaucoup de pays développés, ce qui impose des activités dans ce secteur essentiellement sur le binôme modules/onduleurs tout en négligeant complètement la fonction **stockage**, essentielle pour les systèmes décentralisés hors réseau.
- l'impossibilité pour les industries du secteur concurrentiel des pays développés à reconnaître, voire à recenser ou même à trouver des solutions techniques économiques qui correspondraient à des besoins qui ne sont pas encore clairement identifiés (le fameux *satisfaire les besoins exprimés par les populations* est très difficile à manier, vu que pour pouvoir demander un appareil il faut qu'il existe et soit connu).
- Les industriels ne peuvent pas se faire une idée du marché potentiel et des structures à mettre en place pour le développer et le maintenir, connaissance incontournable qui conditionne toute décision d'entreprendre la mise au point d'un produit: soulignons ici que même pour les application domestiques actuelles (lumières, télévision etc) les installations se trouvent souvent à l'abandon par manque de structure de soutien, de formation ou par négligence (et pourtant, le nettoyage des modules ne coûte rien !). Il découle des considérations citées plus haut que le dispositif de génération d'énergie solaire est généralement réduit à sa plus simple expression (montage fixe) pour ne pas être tributaire de manipulations locales, ce qui le soustrait évidemment à une éventuelle action positive du bénéficiaire direct; or pour pouvoir assurer d'une façon économique le minimum quotidien indispensable à la production, il faut « traiter » cette source tout comme on s'occupe des plantes en vue d'une bonne récolte, c.à.d. qu'au labourage,

arrosage ou sarclage en agriculture correspondent le pointage des modules, leur nettoyage ou un « boost » réfléchissant en fonction de la météorologie ou de la saison: c'est donc toute une série de réflexes à introduire à travers des actions à imaginer pour adapter les techniques photovoltaïques disponibles aux besoins productifs sans le recours à des énergies d'appoint tels que le diésel, qui rendraient la dissémination impossible pour des raisons de complexité et de moyens financiers: les opérateurs doivent donc se muer en **Récoltant d'énergies**, fonction qui demande moins de connaissances que le pendant agricole mais peut-être une discipline quotidienne plus rigoureuse.

Notons quand-même que les applications productives solaires ont un énorme avantage sur ce qu'il convient d'appeler l'électrification rurale domestique (**Solar Home Systems**) en ce qu'elles s'adressent à des opérateurs qualifiés qui portent un intérêt quotidien au fonctionnement optimum de leur outil de travail (responsables d'ateliers, opératrices/gestionnaires de moulins/décortiqueuses, repasseuses etc) et sont de ce fait plus aptes à gérer et maintenir les structures de captation énergétique en même temps que l'appareil productif lui-même. C'est donc avant tout ce type d'implantation énergétique qui peut le plus facilement réussir car il peut être centralisé (concept des *plates-forme multifonctionnelles*), surtout si on le compare au domestique, qui bute sur la dissémination d'éléments trop petits et/ou sur le prix de la distribution et où on n'entrevoit qu'une possibilité éventuelle de solution du genre **MINIBATNET** (multiplicateur CC) qui est à l'état embryonnaire (et fera sans doute son chemin comme complément des centres productifs).

C'est pour les motifs exposés ci-dessus que ce travail se scinde en deux volets bien distincts, à savoir un **répertoire des applications productives** avec leurs principaux éléments constitutifs notamment les moteurs – et une **description de la génération électrique avec ses dispositifs d'optimisation et ses spécificités d'installation**. Ce tableau est complété par une **analyse d'exemples choisis** qui englobera l'état de développement et d'implantation des différentes applications ainsi que les obstacles culturels et technico-administratifs auxquels se trouvent confrontées toutes les bonnes volontés qui essaient d'introduire des générateurs de revenus en milieu rural; une dernière partie consacrée au **solaire thermique de concentration** touchera le thème du CO2 en se basant sur le secteur des fondeurs artisanaux très avide de charbon de bois.

Notons finalement que les propositions et concepts décrits dans ce rapport sont le fruit d'une vingtaine d'années de va-et-vient constant de l'auteur entre les industries concernées et le Sahel rural, le tout corroboré par un centre d'essai particulier en Espagne. S'y ajoutent les retombées d'une activité de recherche et de développement dans le secteur du stockage, notamment en tant que « **technology leader** » pour le développement des batteries pneumatiques dans le projet **EU INVESTIRE**, et ceci particulièrement grâce à l'aide de M. Michel VILLOZ dont le livre fait autorité en la matière (les batteries comptent parmi les principales pierres d'achoppement de l'électrification rurale, mais ce thème ne fait pas directement partie de ce rapport), et surtout d'un partenariat avec les Ets. BRÜCKMANN ELEKTRONIK, le promoteur d'un des meilleurs exemples d'électrification rurale décentralisée productive à travers la solarisation de la filière du lait dans les Alpes (traite, froid et transformation), systèmes où la grande majorité des éléments traités ici fonctionnent depuis quinze ans avec une fiabilité exemplaire tout en suscitant constamment la création d'applications complémentaires, situation qui est bien transposable au Sahel avec un peu de bonne volonté.

2.Répertoires techniques d'applications

2.1.La motorisation à partir d'une source en courant continu (batterie)

Quel que soit le type de moteur, tout appareil installé au Sahel doit presque impérativement être étanche aux poussières (surtout si nous parlons de moulins ou de décortiqueuses en ambiance farineuse) et se trouver à l'aise avec une température d'au moins 45 °C. Ces deux conditions en apparence bénignes éliminent ou grèvent lourdement les solutions classiques, vu qu'elles imposent un très haut rendement pour limiter l'échauffement, surtout si l'on doit se passer d'une ventilation (un moteur étanche est par définition fermé, ce qui ne permet pas d'évacuer la chaleur à la source sinon par conduction métallique); on peut donc estimer qu'il faut atteindre un rendement d'environ 80 % pour pouvoir travailler avec un moteur fermé ventilé par l'extérieur et d'environ 90 % pour un moteur sans ventilateur si l'évacuation s'opère uniquement par contact thermique à travers le bridage plat à un bâti solide (une évacuation non négligeable s'effectue à travers l'arbre s'il est bon conducteur, car le plateau trimarteau ou l'ensemble poulie/courroie crantée ont un effet de ventilation excellent, surtout si les pertes sont localisées majoritairement dans la partie tournante; ce système est actuellement utilisé avec plusieurs types de moteur pour les groupes froids, les machines à traire, les moulins, les décortiqueuses et les ventilateurs plafonniers).

Nous voyons donc que le haut rendement ne s'impose pas tant par l'efficacité globale du système (10% de plus sur les modules ne serait pas une catastrophe, toutefois l'économie est bienvenue), mais bien pour des raisons de fiabilité, car la ventilation concentre toujours des poussières et a même tendance à s'obstruer et donc de conduire à la perte totale de l'appareil si l'on n'intervient pas à temps. Nous verrons en analysant les autres contraintes que tout compte fait, ce sont les motorisations les plus efficaces qui sont les moins chères – surtout suite à une baisse spectaculaire du prix des aimants permanents: c'est donc ici que nous devons nous poser les questions fondamentales d'ordre stratégique et politique quant au but à atteindre, car selon que l'on veuille résoudre le problème de quelques applications allant tout au plus jusqu'à quelques centaines d'exemplaires ou si l'on pense établir des bases pour un développement durable qui se centrerait sur une participation locale importante, **la démarche technologique sera toute différente**: dans le premier cas on cherchera sur catalogue une offre pour une chaîne **onduleur – variateur de fréquence – moteur asynchrone** de préférence triphasée qui résoudra le problème avec tous les préceptes académiques et normatifs, ce qui en général laisse de côté l'économie et la maintenance et ne permet même pas d'apport local sous forme de réparations; dans le second cas, il faut non seulement adapter **la machine aux conditionnements de la motricité solaire** dans beaucoup d'utilisations, mais aussi se pencher sur l'état actuel des solutions techniques, et essayer de clarifier si l'on peut couvrir une importante majorité des applications avec un seul type et une seule dimension de moteur¹ et surtout si l'on peut évaluer les développements à court et moyen terme susceptibles de fournir des solutions fiables et économiques avant que ne puisse mûrir la décision de produire certains éléments essentiels localement.

¹ Ce thème a été traité par Ibrahima Thiam sous l'égide du Pr. Cheikh Wade dans un projet de fin d'étude de l'Ecole Polytechnique de Thiès où l'on analyse l'utilisation d'une seule unité de 1500W 4500t/min

2.2. Les moteurs à commutation mécanique sans aimants permanents

Nous citons cette catégorie à titre de curiosité, car elle enfreint presque toutes les recommandations concernant la motorisation rurale en ambiance poussiéreuse: les pertes de l'excitation baissent tellement le rendement (<70%) qu'une ventilation intérieure (aussi à travers l'entrefer) devient pratiquement incontournable; malgré cela, une motorisation de moulin sur cette base a été tentée à Dakar récemment avec des performances plutôt médiocres.

Il faut dire que le démarrage est ici relativement facile à travers l'excitation, mais l'avantage de coût antérieurement associé à ce type de moteur a fondu au rythme de la baisse du prix des aimants permanents; ils n'existent qu'en version radiale, ce qui les rend difficilement adaptables aux outils portables du fait de leur volume et de leur poids.

Notons ici que l'utilisation des moteurs dans les circuits solaires exige que leur arrêt soit télécommandé par la sortie « délestage » du régulateur de charge, en outre la possibilité d'arrêt d'urgence à distance est un impératif de sécurité incontournable; il faut donc motoriser la commande, ne fût-ce que par un déclenchement de la chute d'un poids comme c'est généralement le cas pour les moteurs à aimants permanents commutés mécaniquement décrits ci-dessous:

2.3. Les moteurs à commutation mécanique avec aimants permanents

C'est le cheval de bataille des motorisations actuelles, qui se décline en versions radiales et axiales.

La version **radiale** la plus connue sous une forme particulière (évacuation de la chaleur de l'induit à travers l'arbre vers le plateau du trimarteau) est utilisée pour les moulins fabriqués avec un démarreur rhéostatique manuel à délestage par le poids de la résistance déclenché par la coupure de l'alimentation d'une ventouse électrique de rétention. Ce moteur à ventilation extérieure est évidemment étanche aux poussières et pèse env. 16 kg, ce qui ne permet pas de l'utiliser pour des applications d'outillage portable (il est par contre transportable par sac à dos en cas de panne, ce qui n'est évidemment pas possible avec son concurrent diésel). Il est très résistant à des surcharges provoquées p.ex. par des bourrages dans le moulin suite à un mauvais débit ou une mauvaise préparation du produit et l'on peut dire qu'il a fait ses preuves aux plus hautes températures ambiantes, et ce pour certains exemplaires depuis plus de dix ans (dont les balais ne se sont pas usés de plus de 2 mm sur une course de 25 mm!).

Ses éléments constitutifs standard (boîtier, bobinage, aimants, balais etc) sont le fruit d'une longue évolution et proviennent d'une production en série rôdée bien plus importante que celle que pourront absorber toutes les applications productives à l'échelle du Sahel, si bien que le prix actuel EXW de 400 à 500 € ne pourra guère chuter de beaucoup et le rendement (<80%) ne s'améliorera que peu. N'oublions pas qu'il faut y ajouter le prix du démarreur/délesteur qui difficilement pourra tomber en-dessous de 200 à 300 €.

La version **axiale** à commutation mécanique permet du fait de la double face une utilisation plus rationnelle du cuivre (plus de puissance pour les mêmes pertes ohmiques), ce qui se traduit par un effet positif sur le rendement (<85%) et surtout sur le poids: pour les mêmes prestations (1,5 kW, 4500 t/min) nous tombons à 3,5 kg (PermMotor) ^②. Sa forme extérieure de galette aplatie permet une excellente transmission de la chaleur du boîtier au bâti de l'appareil à entraîner par contact plat à pâte thermique, si bien qu'un fonctionnement sans ventilateur est possible avec une bonne conductibilité thermique de l'arbre vers le plateau trimarteau du moulin ou vers la poulie à courroie crantée (pour simplifier le stockage et les approvisionnements, tous les moteurs sont

pourvus d'une poulie qui sert en même temps d'extracteur en cas de besoin et de bride au plateau trimarteau en version moulin).

Contrairement aux moteurs à entrefer radial (cylindrique), ce système ne nécessite pas de bobinage vu que l'induit est constitué par des lamelles ③ : il peut donc être fabriqué de façon artisanale, production qui pourrait très bien s'accommoder d'une demande nécessairement fluctuante au début. Un prototype de ce moteur a subi une campagne de mil assez dure mais a été finalement détruit suite au mauvais fonctionnement d'un fusible, si bien que nous ne disposons pas de données sur sa longévité. Des essais prolongés devraient donc déterminer la viabilité de la formule si l'on veut faire le point sur cette possibilité économique et relativement performante.

2.4. Les moteurs à commutation électronique et aimants permanents

2.4.1 Les moteurs à circuit magnétique ferreux

En termes généraux, ces moteurs existent en version radiale et axiale et frisent les rendements de 90% du fait de l'absence des pertes mécaniques de frottement des balais, il faut par contre y inclure les pertes de la commutation électronique dont la conception et réalisation influencera beaucoup le résultat; avec les progrès récents des MOSFET utilisés en commutation, une commande non modulée (impulsions jointives) pilotée par sondes à effet Hall peut atteindre un rendement de 98%, ce qui donne un résultat global autour de 87% pour les ensembles testés tant sur les moulins que sur les groupes froid du genre DAHRA (au Mexique). Avec les commutations modulées la variation de régime devient possible, ce qui permet p.ex. de compenser la chute de la vitesse liée à la baisse de la tension des batteries tout en perdant quelques pourcents de rendement seulement.

Jusqu'ici, cette technologie était réservée aux entraînements des machines-outils et autres asservissements (sevomoteurs), où l'une des contraintes principales – bien avant le rendement est la réduction de l'inertie au strict minimum; il en résulte des prix presque astronomiques. Ce n'est que récemment que l'on trouve des moteurs avec des spécifications nettement moins sévères pour des marchés allant du caddie de golf motorisé à la voiturette pour handicapés, en passant par les motos électriques etc. Sur la base de ces fabrications (l'utilisation pour régimes stationnaires à puissance constante exige aussi ici une adaptation du comportement thermique), il est possible de mettre en oeuvre des systèmes où le moteur nu sous sa forme axiale peut même être moins cher que l'équivalent en commutation mécanique (<300 € en série), l'électronique restant un obstacle qui toutefois chutera en prix assez rapidement.

S'ils sont bien conçus, ces moteurs peuvent être extrêmement robustes malgré leur légèreté (5kg), l'incertitude réside dans le pas difficile à franchir qu'est l'installation d'électroniques de puissance en milieu rural, car cette démarche nécessite une technique et une logistique qui n'est pas forcément à la portée des groupements relativement fragiles qui implantent actuellement des machines productives en milieu rural: rappelons ici que les systèmes actuels (moteurs et démarreurs/délesteurs) sont intentionnellement conçus **sans électronique** pour permettre les interventions sur place, si bien que le pas à franchir pose la question des structures.

2.4.2 Les moteurs à circuit magnétique non ferreux

Nous avons vu que les trois passages (du moteur sans aimants commuté mécaniquement au moteur à aimants commuté électroniquement, en passant par le moteur à aimants commuté

mécaniquement) sont accompagnés chaque fois d'une amélioration du rendement de 5 à 8%, le dernier saut possible étant l'élimination du fer dans le circuit magnétique qui nous ferait dépasser aisément la barrière des 90%: en effet, le fait de constamment changer le champ magnétique au rythme du passage des bobines provoque des pertes de magnétisation autour de 7-8% et un bruit aigu assez désagréable. Les nouveaux aimants permettent des entrefers (ou plutôt des « entraînements », vu qu'il n'y a plus de fer) allant jusqu'à 8 mm sans grande dispersion des lignes de force, si bien que l'on peut y intercaler des bobinages variés. Ce genre de dispositif est surtout connu dans les petites dimensions (p.ex. le bobinage en cloche de Maxxon), mais des efforts soutenus permettent d'utiliser ces techniques dans la gamme de puissance définie précédemment entre autres grâce au renoncement à la minimisation inertielle, ce qui ne suppose aucune gêne dans notre domaine d'application.

Ces moteurs non-ferreux utilisent la même électronique que les moteurs ferreux, mais comme le prix de revient de la partie mécanique sera plus que probablement inférieur à la version ferreuse, il convient donc sans doute d'attendre leur maturité avant d'abandonner le système actuel en faisant l'impasse sur la version ferreuse.

3. L'adéquation aux tâches des applications ciblées

Une fois cernées les qualités de base des moteurs, il faut analyser l'adéquation de leurs paramètres essentiels aux tâches prévues:

3.1. Les puissances

nous avons postulé que la gamme des puissances choisie (1–1,5 kW) correspond bien à la majorité des applications envisagées, ceci pour trois raisons:

- Les applications principales (p.ex. moulins, décortiqueuses, filière du lait tant pour le froid comme pour la traite en ce qui concerne le génie alimentaire et les scies circulaires, tronçonneuses, les meuleuses d'angle, les perceuses à colonne etc qui sont du ressort de la transformation du métal ou du bois, sans compter les cas ponctuels comme les bétonneuses ou les malaxeurs) correspondent assez exactement à cette gamme qui nécessite toujours moins de 100 A sous 24 V et peuvent donc être câblées avec du matériel relativement courant. Notons surtout qu'avec la commutation électronique le rendement reste bon même si l'on fonctionne à une fraction de la puissance nominale, car les pertes varient en gros avec la puissance (par contre, le frottement des balais reste constant, ce qui grève les moteurs à commutation mécanique pour les basses puissances).

- Le domaine des petites puissances (<800 W) a subi ces dernières années une véritable révolution du fait de l'introduction des outils électriques sans fil à motoréducteurs dont les batteries fonctionnent souvent sous 12 ou/et 24 V et sont donc branchables et/ou rechargeables directement sur le réseau solaire, et ce à des prix imbattables (p.ex. perceuses-dévisseuse à percussion avec variateur électronique 0-900 t/min pour 45 €, batterie, chargeur et accessoires inclus!). Avec ce genre d'éléments, toute la petite motorisation comme les machines à coudre, tourets à meuler etc est facilement réalisable, souvent même avec un seul motoréducteur interchangeable pour plusieurs applications; les durées de vie de ces appareils sont surprenantes, bien qu'elles n'atteignent pas les valeurs des moteurs de la gamme supérieure à entraînements directs, mais il s'agit en général d'applications à caractère plus ou moins intermittent.

Les entraînements lents directs constituent ici une exception, car à basse vitesse l'évacuation thermique des pertes générées dans l'induit à travers l'entrefer ne s'opère plus du fait du manque de turbulences (régimes de 0 à 200 t/min <50 W, p.ex. pour les agitateurs de lait ou les ventilateurs plafonniers): ici il faut aussi utiliser un pont en cuivre⁴ qui équivaut à un court-circuit thermique entre l'induit et les pales de l'agitateur ou du ventilateur.

■ Les puissances supérieures ont peu d'applications et nécessitent en outre un matériel et des connaissances d'installation spécifiques; la génération ainsi que les batteries doivent être évidemment conçues en conséquence. Ces installations sont fragilisées par la rareté des pièces de rechange, si bien qu'il peut être utile dans certains cas d'accoupler plusieurs moteurs standard au moyen de la courroie crantée décrite ci-dessous.

3.2. Les vitesses

Les moulins à céréales, les scies circulaires, les tronçonneuses etc fonctionnent directement au régime supérieur unifié de 4500 t/min pour des raisons de procédé, ce régime a en outre l'avantage de permettre des moteurs relativement petits ou la haute turbulence dans l'entrefer garantit un bon passage de chaleur du rotor au stator. Toutes les autres vitesses peuvent être réalisées grâce à des systèmes à courroies et poulies crantées (dentées), de préférence de la gamme DIN/ISO 5296 au pas de 1/2"- largeur 1" ⁵ qui occasionnent un minimum de pertes de rendement et garantissent de par leur surdimensionnement une évacuation efficace de la chaleur générée dans le rotor à travers l'arbre moyennant une poulie menante en aluminium: c'est ainsi que les groupes froid (vitesse de l'équipage mobile hélice/compresseur 500 t/min), les machines à traire (pompe à vide à vitesse variable), les meuleuses d'angle, les décortiqueuses etc... peuvent travailler à leurs vitesses de prédilection moyennant une panoplie très restreinte de poulies et de courroies, éléments qui devraient se trouver en abondance dans les zones d'implantation afin de permettre une maintenance efficace ou l'élaboration de nouvelles applications. (Notons qu'il faut absolument éviter les courroies trapézoïdales qui ont tendance à glisser en présence de farine et de son même si elles sont surtendues -- et frottent en conséquence: les courroies synchrones dentées admettent une tension minime, ce qui garantit la longévité en même temps que l'efficacité). Notons finalement que les poulies menées peuvent être fabriquées sur place en coulant de la résine dans des formes réalisées avec des segments de courroie, comme p.ex. la poulie-hélice du groupe cryogénique ⁶

3.3. Les tensions

pour les puissances en jeu, un câblage en 12 V n'est guère réalisable au vu des pertes provoquées par des courants nécessairement très forts; en fait, on a le choix entre 24, 36 et 48 V, mais le 48 V pose des problèmes dans les réseaux inductifs au niveau des interrupteurs car il engendre des arcs électriques; entre le 36 V et le 24 V le choix est vite fait: en 24 V il existe un vaste choix d'éléments et d'outils indispensables au montage même des installations (fer à souder, perceuses, lampes etc) ce qui est dû notamment au fait que cette tension est utilisée dans les poids-lourds, alors que le 36 V que l'on annonçait il y a quelques années comme la panacée pour les automobiles piétine dans son implantation, sans doute pour des raisons semblables à celles évoquées pour le 48 V. Soulignons que pour le 24 V il est déjà difficile d'appréhender une inversion sur un des éléments de 2 V constituant une batterie, une tension supérieure rend donc la tâche encore plus difficile; or il est important de détecter ces pannes qui peuvent occasionner des "points chauds" très dommageables et surtout initier le gazage bien en-dessous de la coupure

du régulateur en dégageant de l'hydrogène susceptible de provoquer des explosions. Notons finalement que l'ouverture minimum des contacts en 24 V CC correspond en gros à celle du 230 V CA, il est donc tout à fait licite d'utiliser ici des interrupteurs et des relais conçus pour le réseau.

3.4. Transformations des récepteurs:

là où l'on ne peut influencer le procédé (perceuses, scies, bétonneuses etc), les moteurs peuvent être généralement montés sur les appareils en question, moyennant tout au plus une adaptation mécanique et un bridage modifié. Avec les machines de transformation qui impliquent un débit de produit (moulins, décortiqueuses, malaxeurs, séparateurs etc), il est souvent nécessaire d'adapter la machine aux conditions de l'entraînement solaire en dimensionnement et surtout en rendement, donc un effort d'adéquation en sens inverse: c'est particulièrement important pour les moulins et les décortiqueuses, où cette opération suppose une étude détaillée des phénomènes impliqués dans le procédé lui-même et une recherche itérative des améliorations qui ne s'achève en fait jamais (il existe à notre avis un potentiel d'amélioration de quelques dizaines de pourcents si cette recherche consistante peut être poursuivie). Il y a aussi une possibilité externe d'amélioration de rendement extrêmement importante qui consiste en un dispositif qui élimine les marches à vide où/et les charges non optimales au moyen d'une régulation du débit grâce à une vanne pilotée ① ⑤ par le courant absorbé par le moteur: il devient ainsi possible d'optimiser le rendement avec des moyens très simples qui sont détaillés dans le chapitre 2.3 "Exemples choisis d'applications".

4. Spécifications techniques des applications

En essayant d'être aussi bref qu'exhaustif, essayons de répertorier par ordre d'importance les principaux exemples d'applications productives en les caractérisant par leur puissance, leur régime et leur état de développement ou d'introduction

Type d'application	Régime [t/min]	puissance [W]	Etat de développement	commentaires
Moulin à céréales	4500	1300	En production; montage direct	mot. aimants perm. radial, comm. mécanique
Groupe froid	500	1400	Fonctionnement en série pilote Récepteur adapté ;	mot. aimants perm. axial, comm. électronique
Décortiqueuse à mil	2200	1450	Prototype avancé ; étude	2 variantes à l'étude
Traite de lait	0 à 3600	1200	Prototype avancé ;	variateur électronique p. maintien du vide
Ventilateur plafonier	150 à 300	8 à 50	En production ; montage direct	moteur lent, arbre cuivre, rhéostat
Meuleuse d'angle	5000	1400	Etude	mot. aimants perm. axial, □ 230mm/22mm
Scie circulaire	4500	1200	Prototype avancé ; montage direct	lame φ 185mm/alésage 20mm/carb. Tungstèn
Perceuse à colonne	200 à 3000	1300	Fonctionne en série pilote Montage direct	mot. aim. perm. rad., variat. poulie ou électr.
Compresseur air atelier	1200	1400	Fonctionne en série pilote Montage direct	8 bar, 12 m³/h, mot. axial, comm. électr.
Agitateur lait	30	50	Fonctionne en série pilote Montage direct	mot. lent, arbre cuivre, régulation électron.
tronçonneuse	4500	1400	Fonctionne en série pilote Montage direct	mot. aim. perm. radial, disque φ 230mm
Ponceuse à bande abras	4500	1300	Fonctionne en série pilote Montage direct	mot. aim. perm. axial, bande 120mm

Nous voyons que la motorisation en **courant continu** avec les puissances et les adaptations analysées permet de couvrir une gamme d'applications extensible à volonté une fois que l'on dispose des éléments et du savoir-faire correspondants, conditions incontournables à ce que le complexe d'énergie rurale productive fasse tâche d'huile pour pouvoir contribuer à la lutte contre la pauvreté.

Rappelons que font aussi partie des appareils productifs une myriade d'applications dépendantes des petits moteurs dérivés de la mouvance portable/rechargeable telles que machines à coudre, tours de poterie, entraînements de machines à griller (arachides, poulets, chawarma et autres) etc, qui ne consomment guère et ne deviennent réalisables que si une installation solaire existe déjà pour une des applications principales; c'est entre autres le cas des systèmes où la version manuelle requiert de la force, car curieusement le système électrique est ici généralement moins cher et plus fiable (pas de grandes forces en jeu) que l'appareil manuel, tout comme le coût d'une pompe manuelle dépasse de loin celui du groupe motopompe équivalent si l'on fait abstraction de la partie génération; c'est d'autant plus vrai si -- du fait de l'intermittence de l'application -- on peut travailler avec un seul moteur déconnectable pour plusieurs applications, comme nous l'analysons en détail pour les presses à huile d'arachide au chapitre 2.3, où nous traiterons aussi d'autres appareils productifs dépourvus de moteurs (repassage, soudure) dont les caractéristiques et les sevitudes sont assez éloignées des systèmes motorisés.

5. mise en oeuvre pratiques des applications

Toutes les applications mises en oeuvre ou envisagées sont du type intermittent, c.à.d. que le fonctionnement se limite soit à des intervalles répétitifs de quelques minutes (p.ex. outils, compresseur à air), soit à des périodes quotidiennes de deux à trois heures (p.ex. groupe froid pour tank à lait ou pour chambre froide suite à une charge; le maintien ne nécessite ensuite que des enclenchements sporadiques). La seule exception à l'intermittence est celle des ventilateurs plafonniers ou éventuellement de leur dérivée en climatisation à rideau d'eau qui fonctionnent presque en permanence en été (donc en situation d'abondance énergétique), mais dont la consommation est fort heureusement des plus modestes (avec ses 10 W, la consommation en 24 h du plafonnier correspond à moins de 10 minutes de mouture). Cet aperçu implique donc l'utilisation d'un stockage énergétique qui ne peut être que du type à batterie acide/plomb au vu de la situation actuelle de la technique et des prix, ce qui place cet élément au centre des préoccupations des installations vu qu'il en constitue le maillon faible; les autres composants de l'installation (génération, régulation/gestion et récepteurs) doivent donc être aux petits soins pour choyer ce stockage si exigeant en garantissant:

- une limitation fiable de la tension minimum de décharge (c'est la tâche du délesteur qui est un élément critique, mais aussi la forme d'utilisation de certains récepteurs peut contribuer à limiter les profondeurs de décharge en prévoyant p.ex. dans le cas du moulin une suite de petites moutures au lieu d'une seule grande et le tout de jour pour pouvoir profiter directement du courant des modules).
- que la tension maximum lors de la charge soit réglée en-dessous du gazage et une période de "floating" avec un courant faible en maintenant la tension soit prévue si possible de quelques heures par jour, sans quoi la batterie perd progressivement de sa capacité: c'est bien là une des exigences qui ne peut être remplie que très difficilement dans le cas des systèmes solaires -- et notamment en ce qui concerne les systèmes productifs -- quitte à prévoir un jour

"férié" de temps à autres; nous verrons plus loin comment on peut gérer un peu mieux ce complexe à l'aide d'un panneau réfléchissant.

■ un maintien "au frais" des batteries, car l'exposition de ce stockage électrochimique à la chaleur détruit les électrodes suite à la stratification de l'acide; on peut combattre la stratification par une charge forcée hebdomadaire qui provoque volontairement le gazage, mais à part le fait que c'est dangereux (émanations d'hydrogène) on retombe dans l'obligation de disposer d'un surplus d'énergie: avec beaucoup moins de surplus il serait par contre probablement plus efficace de refroidir les batteries d'env. 10 °C au moyen d'éléments

Pelletier alimentés dès que la tension de charge est atteinte, ce qui éviterait l'agressivité de la corrosion amplifiée par la stratification et permettrait aux batteries de s'approcher de la longévité dont elles jouissent dans les pays tempérés (l'activité chimique double tous les 10°C!): des versions économiques sont à l'étude aux Ets. Brückmann Elektronik.

■ que l'on observe d'une façon rigoureuse les recommandations usuelles concernant les batteries, à commencer par la fameuse charge complète jusqu'au gazage juste après le premier remplissage d'acide, une procédure importante pour développer toute la capacité du stockage.....et souvent négligée sous la pression des clients impatientes.

Ces quelques notes montrent que les batteries sont un thème central, surtout du fait que l'on ne dispose sur place que de modèles bon marché qui émanent du secteur automobile ou dérivés de celui-ci, à quoi vient s'ajouter que les applications productives requièrent (par rapport aux SHS) une approche assez différente pour tout ce qui touche l'installation et l'exploitation. En effet, les applications productives introduisent des critères spécifiques qui ne sont pas forcément liés à une puissance installée supérieure mais bien aux contraintes de régularité en toute saison, aux formes d'implantation dans les villages en liaison avec la rentabilité commerciale et aux formes d'organisation des opérateurs et -- malheureusement -- aux mesures à prendre contre les vols de modules. Essayons de caractériser les concepts:

5 .1. Les modules, leur orientation et leur exploitation

Il est utile que -- pour les machines productives -- le prix des modules ne condamne pas l'application; il faut donc essayer de trouver le juste dimensionnement tout en sauvegardant l'assurance d'une production régulière, ce qui est n'est pas une tâche uniforme vu qu'elle dépend fortement des conditions locales. Il y a quand même quelques principes de base qui constituent les outils préférentiels pour faire face à des contraintes diverses:

--pour vaincre les *aléas d'ensoleillement au cours d'une journée*, il est indispensable d'orienter périodiquement les modules face au soleil, ce qui minimise le risque météorologique qui consisterait p.ex. en un nuage à midi alors que le matin et l'après-midi sont dégagés: un montage fixe peut facilement faire perdre bien plus de la moitié de la récolte énergétique, sans compter que même un jour d'ensoleillement continu donne un avantage de 20 à 30 % au dispositif mobile; ce dernier consiste de préférence en un tube tourillonant dans deux supports latéraux auquel sont fixés les modules côte à côte, cet axe de rotation étant orienté rigoureusement du nord au sud. Cet axe peut être horizontal sans perte notable en dessous de la latitude de 25°, ce qui permet une construction simple et très peu sensible au vent qui accepte jusqu'à 2 kW_{cr} pour une longueur standard (6 m) de tube galvanisé de 2"⑦. Cette façon de procéder facilite non seulement le nettoyage des modules qui sont facilement accessibles en fin de rotation, mais permet aussi d'y adjoindre des panneaux réfléchissants tournant avec les modules qui permettent d'augmenter sensiblement la génération sans grand effort financier: en effet, l'installation d'une paroi

réfléchissante équivalente à la surface des module faisant un angle de 110° avec ceux-ci en augmente la production théorique de 45 %, ce qui est à peu de choses près la différence d'ensoleillement entre hiver et été au Sahel: ce complément permet donc de *pallier l'effet des saisons ou d'une période nuageuse* ou d'augmenter la production en vue de la fête du village! Ces systèmes ont été étudiés et mis en oeuvre à Tenerife (F. Dobon, Acosta et al.) et ont démontré que leur maniement ne pose pas de problème majeur (TRAXLE), surtout s'ils sont utilisés pour compenser un ensoleillement réduit car ils captent une part importante du rayonnement diffus sans provoquer un échauffement critique. Il est donc suffisant de déterminer une puissance de générateur favorable en été et procéder aux adaptations grâce aux méthodes citées pour les cas moins ensoleillés ou les imprévus, ce qui tout compte fait peut économiser jusqu'à 50 % de modules par rapport à un système fixe.

5.2.Les MPPT (Maximum Power Point Tracker) ou optimiseurs de modules

Indépendamment du fait que les machines productives imposent des générateurs relativement puissants, la technologie des semi-conducteurs a fait de très gros progrès en ce qui concerne les rendements et les prix, si bien que leur utilisation est de plus en plus fréquente même pour des puissances autour de 200 W_{cr}; il faut en outre souligner, que deux circonstances rendent les MPPT particulièrement aptes à alimenter les systèmes productifs:

-- quand la décharge est relativement profonde, surtout si l'on se trouve à la fin d'une période d'ensoleillement déficiente, la nécessaire recharge rapide le matin est alors favorisée par la grande différence de tension provoquée par les modules encore frais et la basse tension de la batterie, le tout amélioré par l'orientation des modules qui permet un pointage optimisant l'énergie produite juste à ce moment-là: la mobilité des modules est donc ici un atout en combinaison avec le MPPT.

-- le fait que le MPPT soit un transformateur CC piloté permet de travailler avec une tension supérieure dans le champ de modules et dans sa liaison avec la batterie, ce qui donne l'option de le placer assez loin sans provoquer des pertes prohibitives: une tension du champ de 48 V permet donc de le placer 4 fois plus loin avec une batterie à 24 V que sans la multiplication de tension, ce qui permet une grande flexibilité d'implantation et facilite le respect des impératifs de sécurité.

5.3.L'optimisation de la durée de vie des batteries

Comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, le stockage est *la* pierre d'achoppement de l'électrification rurale décentralisée, ce qui est évidemment à l'origine d'une multitude d'opinions et de propositions tendant à gérer la situation sans que l'on ait trouvé une solution satisfaisante dans la fourchette des prix en vigueur. Il y a bien des démarches qui amènent des améliorations ou un certain répit sur ce front, d'autres refusent carrément l'entrée en matière technique et prônent de faire avec ce que nous trouvons sur le marché africain en acceptant un renouvellement fréquent, ce qui serait toujours moins fastidieux que de vaincre les problèmes de disponibilité et d'introduire des batteries haut-de-gamme (p.ex. batteries tubulaires) qui ne garantissent pas toujours le différentiel de longévité espéré; il est en effet avéré que l'on n'hésite pas à sous-dimensionner les batteries "bon marché" en admettant une rotation rapide, ce qui contradictoirement améliore leur chance de survie du fait d'arriver rapidement à pleine charge ou même au gazage, ce qui y réduit la stratification: il y a apparemment un rapport maximum entre

capacité de stockage et puissance du générateur qui ne doit pas être dépassé en pays chaud et dont la détermination relève du cas par cas dépendant du matériel en présence. Citons quand-même une solution applicable à toutes les batteries, comme la charge par impulsions (MEGAPULS) qui tend à régénérer la masse active en lui donnant une structure cristalline plus fine qui limiterait la création de sulfates, et aussi le refroidissement par l'excédent estival cité au début de ce chapitre.

5.4.L'électrification à l'intérieur d'un village: le Minibatnet

Une fois une ou plusieurs machines installées avec leur génération photovoltaïque se pose immédiatement le problème de la distribution d'un peu, et ensuite de plus en plus d'énergie domestique: bien que ce ne soit ni le but de l'implantation de la machine productive ni a fortiori le but de ce travail, il est difficile de se fermer à cette demande sans avoir de bons arguments quant aux problèmes de distribution, car c'est la façon de distribuer l'énergie et l'allocation énergétique aux différents consommateurs qui pose problème; donnons l'exemple d'un village d'une cinquantaine de concessions qui se situerait à l'intérieur d'un carré de 300 x 300 m, cas classique mais relativement favorable. Même si nous groupons les gros consommateurs autour des batteries et pas trop loin des modules solaires (conception dérivée de la plate-forme multifonctionnelle qui s'impose de plus en plus), il faudra env. 2 km de câbles de différents diamètres pour brancher toutes les concessions -- à moins de prévoir une installation indépendante pour chaque concession, ce qui est la référence extrême au point de vue du prix et très limitative quant à la capacité de stockage individuel.

Il y a plusieurs systèmes de distribution possibles, décrits ici d'une façon schématique:

- le tout en courant continu avec batterie centrale sous 24 V (en 12 V la quantité de cuivre à mettre en oeuvre serait prohibitive) permet d'amener une puissance d'env. 50 W par concession au prix de 4 à 5 MFCFA (ce sont près de 300 kg de cuivre sous 24 V); c'est onéreux mais fiable et sans danger d'électrocution.
- le tout en courant continu avec batteries *réparties* sous 24 V (1,5 MFCFA pour les fils, 1,3 MFCFA pour les batteries): ce système de réseau "éponge" donne de bons résultats et est nettement moins cher que le centralisé, surtout si l'on peut réduire la batterie centrale; il fournit une assez grande puissance instantanée mais nécessite le changement périodique de beaucoup de batteries.
- le tout en courant alternatif en 230 V à partir d'un onduleur centralisé (1,3 MFCFA pour le fil, 3-4 MFCFA pour l'onduleur), solution classique mais chère et dangereuse (électrocution possible, car il n'y a généralement pas de protection différentielle, l'installation doit être aux normes SENELEC ou ASER "simplifiée" et si l'onduleur tombe en panne tout le village est dans le noir.....) ; mais il y a un autre point où le bât blesse avec les onduleurs, c'est l'incompatibilité de l'onde sinusoïdale avec les systèmes à découpage où le condensateur d'entrée est chargé à travers des diodes et dont l'application la plus connue est la lampe fluo de basse consommation: ici il n'y a qu'une très courte impulsion de courant de 2 ms env. à chaque crête du sinus le temps de recharger ledit condensateur, si bien que la pointe de courant peut facilement atteindre 10 à 20 fois la valeur moyenne d'un hypothétique courant continu équivalent, ce qui est la cause de distorsions considérables qui interfèrent avec d'autres récepteurs (surtout ceux pilotés par des "zero-crossings") et provoquent des pertes ohmiques dans les lignes qui peuvent aller jusqu'à dix fois les pertes qu'aurait généré un courant continu réparti sur tout le cycle.

en conséquence, une nouvelle solution a été développée sur la base des considérations ci-dessus, qui consiste effectivement à transformer la tension de la batterie par un multiplicateur (MINIBATNET) en tension de crête continue qui peut directement faire fonctionner tous les appareils du marché prévus pour 230 V (ou 128 V s'il s'agit de matériel pour les EEUU) s'ils sont à entrée électronique (lampes fluo à basse consommation, chargeurs de téléphone ou de piles, micro-ordinateurs, imprimantes etc): la tension continue est 2,5 fois moins dangereuse que l'alternatif vu qu'elle n'interfère pas avec le rythme cardiaque et si l'on fait donc une installation en étoile où à chaque concession correspond un multiplicateur Minibatnet avec son fusible, les courants individuels seront si bien limités que l'on pourra utiliser du fil "téléphone" très économique (1x porteur, 2x cuivre) pour des distances allant jusqu'au kilomètre **8**. Une fois ce système homologué, les coûts seraient imbattables (env. 200'000.- FCFA pour le fil et 900'000.- FCFA pour les Minibatnets avec 36 W en bout de ligne, donc assez pour des lumières et une petite télévision: songez qu'il ne faudra plus que 2kg de cuivre pour le village précédemment cité!). Cette technique est même adaptée à l'éclairage public, où non seulement elle réduit substantiellement le coût du câblage, augmente la durée de vie des fluocompactes (le condensateur n'est plus soumis aux pulsations de 50 Hz, c'est l'élément qui lâche en général, surtout si il fait chaud) et finalement le danger d'électrocution est réduit (pour des récepteurs 128 V la tension de crête est de 180 V, mais comme le Minibatnet combine sa tension en \pm à partir de la batterie, un contact éventuel par rapport à la terre serait de 90 V, ce qui est bien en-dessous de la tension de contact accidentel de 120 V admise pour les tensions continues; notons que le système bénéficie en outre d'une séparation galvanique entre l'entrée et la sortie).

5.5. Matériel spécifique d'installation et d'entretien

Ce thème est relativement sensible, car il influence le prix de l'installation, sa fiabilité et la compréhension du fonctionnement: une bonne installation a une valeur didactique qui a un effet positif sur la maintenance. C'est aussi un thème délicat, car il y a très peu de normes qui s'occupent de la basse tension SELV que nous utilisons ici (Safety Extra-Low-Voltage, TBTP = Très Basse Tension de Protection en français, c.à.d. que les tensions restent en-dessous de 120 V dans le cas du courant continu, voir p.ex. DIN VDE 0100-410:1997-01): en appliquant les règles du réseau 230 V CA nous aurons souvent des solutions loin de l'optimum. Prenons un exemple relativement anodin comme l'utilisation des câbles; dans les circuits TBTS de 24 V, la donnée critique n'est pas l'isolation, mais bien l'évacuation de la chaleur provoquée par des courants relativement importants dûs justement à la faible tension pour une puissance donnée. Il est donc recommandé d'utiliser des brins séparés au lieu de câbles à deux conducteurs (c'est 63 A avec le premier et 50 A avec le second pour une section de 10mm²) et même d'utiliser deux brins au lieu d'un, ce qui augmente la surface d'évacuation (deux brins de 10mm² véhiculent 126 A alors qu'un seul conducteur de 25mm² est limité à 100 A). Malheureusement, les règles en vigueur obligent à protéger chaque brin individuellement par un fusible, ce qui freine ces initiatives fort utiles quant aux coûts et à la fiabilité et qui permettent en plus de déjouer les contraintes d'une disponibilité souvent défailante: il serait donc fort utile d'adapter les normes aux réalités des TBTS solaires au moins dans les pays concernés, sans quoi on continuera p.ex. à négliger les mesures adéquates contre la foudre (il ne faut pas mettre à terre les TBTS en CC pour éviter les corrosions par courant de fuite, par contre un varistor est vivement recommandé) ou on continuera à utiliser des connectiques hors normes 2P + T (qui sont expressément réprochées pour les TBTS **9**) au lieu d'une connectique intrinsèquement détournée à courant fort (50 A). Il

est donc compréhensible qu'il soit impératif de prévoir une disponibilité sans faille de ce matériel qu'il faut faire venir de différents horizons ou même le créer pour les circonstances pour pouvoir marier fiabilité et économie; comme il s'agit d'une panoplie réduite, essayons d'en faire une nomenclature non exhaustive:

- câbles pour le courant fort: tous en brins aérés de 10mm² avec cosses terminales. Le reste en 2x2,5mm² en câbleclips de montage pariétal pour fil souple de 10mm² (ϕ_{ext} 6mm).
- fusibles ultra-économiques plats de 30 à 100 A ① ① avec support fabriqué sur place (bakélite)
- ampèremètre magnétique à plage de 70 A (ce type d'instrument robuste et économique permet de mesurer les courants en n'importe quel point de l'installation par simple application *sans dévisser des contacts*, ce qui permet un contrôle efficace) ① ①.
- compte-tours simplifié électrique (les appareils actuels sont extrêmement chers et s'ils sont électroniques ils nécessitent des piles évidemment introuvables en milieu rural) ① ②.
- connectique détrompée 50 A
- fer à souder 24 V / 50 W.
- perceuse à percussion 24 V / sans fil.
- multimètre électrique
- câble type "téléphone": 1 porteur acier + 2 x 0.2 mm²

5.6. Aperçu sur les normes et certifications

Pour le type d'activité technique décrit ici il manque un cadre normatif défini, sans doute parce que le fait de n'utiliser que des TBTS supposés sans danger a empêché une action concertée sur ce sujet, ce qui ne manque pas de créer des situations cocasses sur place (l'auteur a vécu des villages où coexistaient 5 types de connecteurs CC détrompés, sans compter les grands classiques pourvus simplement d'un signe distinctif du genre + ou d'un point de couleur!); les publications ou recommandations qui traitent le sujet de la petite électrification rurale (p.ex. *Universal Technical Standard for SHS* du programme Joule-Thermie de l'UE) réussissent généralement le tour de force de traiter leur sujet sans même mentionner le terme TBTS qui pourrait les relier aux normes générales en vigueur, si bien qu'il est souvent difficile de faire certifier des éléments spécifiques à l'électrification rurale. Par contre, les organismes de certification ne manquent pas, qui entrent en action surtout pour le contrôle des modules, des régulateurs et autres éléments bien introduits sur le marché et où foisonnent les spécifications (citons ici PV GAP, le CERER, le World Lab etc). En outre, il est très facile de se faire certifier tout ce qui a trait à la compatibilité électromagnétique si l'on dispose des finances nécessaires, mais il ne semble pas que ce soit la préoccupation dominante en brousse (il suffit de ne pas trop gêner la radio sur OM). De toute façon, la question de savoir si les normes favorisent ou freinent la mise au point du matériel adéquat est loin d'être tranchée, mais il est évident que dans le cas spécifique des machines productives, le fait de promouvoir des solutions techniques locales (souvent artisanales) choque frontalement avec les exigences quant aux procédures et taxes mises en place par l'industrie et les administrations des pays développés pour leur propres entreprises, à tel point que des remèdes ont été envisagés (implantations du World Lab, Cifres etc) pour faciliter la participation des PVD sans que l'on puisse constater l'émergence de vocations prêtes à participer à cette première ligue, surtout par manque de sécurité juridique et de protection industrielle (le thème des brevets -- à part le fait qu'il a mauvaise presse parmi les ONG en

relation avec les OGM etc -- est d'un maniement difficile mais doit être sérieusement analysé quant à un renforcement et une capitalisation possible des entreprises sahéniennes inventives; les concepts principaux des machines productives bénéficient d'ailleurs d'une protection OAPI qu'il faudra savoir utiliser à bon escient). Notons finalement qu'une des "homologations" les plus réussies a été la série d'essais des composants et récepteurs CC effectués en 1995 par le Fraunhofer ISE de Fribourg-en-Brisgau qui a permis au GTZ d'établir un guide pratique fort apprécié des assembleurs, mais qui n'a pas bénéficié de mises à jour ultérieures (la connectique détrompée de 40 ⑨ A a été certifiée par la même équipe en 1997).

En ce qui concerne les technologies mentionnées dans ce chapitre citons concrètement:

- pour *l'orientation des modules* les exemples foisonnent pour tous les systèmes à concentrateurs à deux axes (Mouchot, 1879) et à un axe (Ericsson, 1883), ce n'est donc pas l'expérience qui manque; pour des systèmes sans concentrateur, la technologie est des plus simples, vu que le pointage n'a pas besoin d'être précis et que les intervalles de correction peuvent être espacés (3 corrections par jour donnent déjà un résultat acceptable) ce qui s'accommode donc parfaitement de l'orientation manuelle. Citons comme exemple les modules montés sur les conteneurs du rayon laitier de Nestlé dans la région de Dahra ou les montages pour les moulins autour de Louga; notons que la forme plus simple de montage des modules est de les fixer sur un tube tourillonnant aux extrémités ⑦, ce qui garantit une très faible prise au vent et permet le montage facile de panneaux réfléchissants cités précédemment. Il existe une multitude d'accessoires de rotation électromécanique pour automatiser le mouvement.
- les *Maximum Power Point Trackers* sont des produits industriels très variés qui vont du plus simple au plus complexe (p.ex. avec télésurveillance intégrée comme le OUTBACK MX 60); citons p.ex. le MPT4/300 de MSTE pour 16 A sous 50V du générateur pour 158 € (100'000 FCFA) comme bas de gamme, mais qui couvre la majorité des applications envisagées, vu qu'il gère près de 800 W. Notons que presque toutes les alimentations d'onduleurs pour l'injection au réseau sont pourvues de MPPT.
- les *Minibatnets* existent en unités de 18 W pour des tensions d'entrée de 12 et 24 V qui peuvent être branchées en parallèle pour augmenter la puissance ① ③. Ils ont été certifiés par le TÜV Pfalz et testés par le CERER de Dakar et sont utilisés surtout pour des fluos de basse consommation, des imprimantes, des micro-ordinateurs, des chargeurs de téléphone et dans des installations d'éclairage public.
- Dans l'état actuel des connaissances, la *durée de vie des batteries* ne peut être améliorée d'une façon simple que par un chargeur à impulsions du type MEGAPULSE qui se branche sur les bornes ou/et par sa mise au frais. Les mécanismes de la charge par impulsion ne sont pas encore bien expliqués (ils travaillent à la fréquence de résonance du sulfate 3.26 MHz), mais l'effet est indéniable et confirmé (NASA, armée Canadienne, rapport d'ISPRA/M.Perujo etc); le prix de cet appareil (actuellement autour de 60 €) suggère une utilisation alternée pour 3-4 batteries. En attendant une solution industrielle pour le refroidissement à partir des surplus d'énergie en été, il faut choisir l'endroit le plus frais et bien ombragé, car l'activité corrosive double pour chaque augmentation de 10°C de la température de la batterie.

6. Expériences sur quelques applications et perspectives

Avant d'entrer dans le détail des applications choisies il est utile de souligner que le but des activités et des solutions présentées est d'introduire des moyens de production élémentaires dans les communautés rurales à un coût rendant possible la pérennisation et la dissémination; pour ce faire, il ne faut pas se voiler la face devant l'indigence des destinataires, qui ne peuvent s'approprier ce développement que si les techniques proposées ne mobilisent à la longue que la part des petites ressources disponibles que les ruraux pourront mettre à disposition, ce qu'ils ne feront que si la technologie minimise le risque, c.à.d. qu'elle doit émaner dans ce qu'elle pourrait avoir d'aléatoire de sources et de **connaissances** locales: tout technicien citadin (et bailleur de fonds) a de la peine à admettre que si la grande majorité des démarches entreprises avec la meilleure intention ne prospèrent pas ce n'est pas à cause d'ingratitude ou de roueries des broussards, mais bien parce que c'est en règle générale beaucoup trop cher pour eux, pas assez efficace, trop compliqué et surtout soumis à des ruptures de disponibilités. Les procédés présentés ici ne font pas exception à ce constat, ce travail doit donc être compris comme incitation à avancer dans certaines directions fondées sur une expérience locale de décennies qu'il faut parachever en éliminant tant soit peu ces blocages, et surtout pas comme proposition de transformer le Sahel en réserve technologique de seconde zone: au contraire, les techniques qui doivent en émerger doivent être portées par l'apport des structures locales pour générer des revenus et capitaliser un savoir-faire d'avant-garde. C'est pour étoffer et rendre plus intelligible ces propos que les thèmes choisis sont précédés d'un bref historique.

6.1. Les moulins à céréales

Le premier essai de solariser un moulin à céréales remonte à 1983 réalisé en montant un moteur de 600 W des Ets. Groschopp sur un bâti de moulin diesel dans le village de Ndoukouk (entre Niomré et Louga); quelques minutes de mouture de qualité moyenne montrèrent clairement l'instabilité thermique du moteur et le très mauvais rendement énergétique de la conception classique. Les améliorations de l'évacuation thermique par conductibilité de l'arbre sur un moteur plus puissant combiné avec le démarrage rhéostatique permirent deux développements plus sérieux, l'un chez l'ONG CISV à Louga et surtout avec les Ets Pène à Thies pour la réhabilitation de l'installation espagnole à NOTTO DIOBASS en 1987-88; après bien des améliorations, ce type de moulin fut présenté à la 11e Conf. Photovoltaïque Intl. de Montreux en 1990 où il suscita une grande curiosité...et une grande incompréhension. Le prochain pas fut d'améliorer substantiellement la partie process et le bâti tout en cherchant des améliorations du côté moteur, si bien que plusieurs unités purent être mises en route vers la fin de la décennie sous une forme déjà très semblable au modèle actuel. Ce n'est qu'au début du millénaire que s'est constitué une GIE unissant des artisans de Louga sous le nom de MOTorisation AGRICole SOLaire qui maintient le flambeau et dont les dernières réalisations se situent dans des périmètres gérés par l'association FAPAL de Kelle Gueye après les installations pour AquaDev et en préparation des 50 moulins commandés par le Ministère de la Famille. Les dernières années ont vu la mise au point de la sécurité de porte qui élimine le danger en cas d'ouverture et de la valve automatique anti-bourrage ① ⑤, deux améliorations qui ne se sont pas encore généralisées.

Le moulin que nous décrivons ici est du type à impact, c.à.d. que les graines éclatent sous l'effet du choc répété contre les marteaux à plus de 50 m/s avant de pouvoir s'échapper à travers un

tamis qui détermine la finesse de la mouture (en opposition aux broyeurs qui écrasent les graines à vitesse lente et qui détruisent la majeure partie des valeurs nutritives, notamment les vitamines); c'est donc un appareil simple, où la seule partie mobile est l'induit du moteur qui est solidaire du plateau porte-marteaux et ne génère donc pas de charge appréciable sur les roulements (il n'y a pas de courroies et de poulies, source d'efforts sur les paliers). Les autres éléments déterminants du système sont -- à part les composants classiques du circuit photovoltaïque -- les tamis (adaptables au produit à traiter), la valve à grains dans la trémie et le démarreur qui assure une lente mise en route et un arrêt télécommandé (p.ex. par la sortie "délestage" du régulateur de la batterie); voici une courte description de ces spécificités:

6.1.1 1a motorisation

Dans la majorité des cas, celle-ci se base sur un *moteur en courant continu à balais* tournant à 4500 t/min sous 24 V *complètement étanche aux poussières* (condition indispensable au Sahel, surtout en ambiance farineuse). Pour éviter une pointe de courant excessive lors de la mise en route, ce moteur doit être complété par un *démarreur rhéostatique* manuel à arrêt télécommandable par effet de poids **① ⑥**; en effet, le démarreur doit permettre d'insérer cette motorisation dans un circuit photovoltaïque classique et donc de pouvoir interrompre le fonctionnement en cas d'ordre de délestage venant du régulateur de charge de la batterie, fonction qui est assurée par la coupure de la tension de maintien d'une ventouse électrique à laquelle la bobine de résistance du rhéostat est suspendue. Un frein hydraulique limite la vitesse tant du mouvement ascendant (effort de l'opérateur lors du mouvement de levée du démarrage) comme la chute de la bobine de résistance lors du délestage, ce qui assure un fonctionnement fiable pour une tâche relativement complexe malgré une rusticité à toute épreuve: notons que toute cette motorisation *ne comprend pas d'électronique*, ce qui est un gage de pérennité et de fiabilité.

Le choix de ce système se justifie par sa rusticité qui permet de comprendre rapidement son fonctionnement et de pouvoir se baser sur des interventions locales pour la maintenance, ce type de moteur étant très bien connu dans les zones rurales vu qu'il est directement dérivé du démarreur de camion. Les alternatives sont bien plus délicates à mettre en oeuvre, car il s'agit soit de l'entraînement oléohydraulique ou du moteur CC à commutation électronique, ce dernier présentant des potentialités à moyen terme du fait des progrès attendus, tant du côté de l'électronique que du côté de la conception du moteur—avec l'espoir d'arriver à en faire baisser les prix. (le moteur CA avec onduleur est difficilement envisageable du fait du coût et du rendement: n'oublions pas qu'il faut tourner autour de 4500 t/min, ce qui exige des poulies ou une fréquence variable).

6.1.2 Les marteaux

Il s'agit d'un système breveté *trimarteau/monodisque* parfaitement équilibré en usine qui *réduit notablement les pertes aérodynamiques de ventilation* tout en assurant l'évacuation de la chaleur de l'induit à travers l'arbre du moteur. La fixation du trimarteau sur l'arbre du moteur au moyen d'un moyeu/poulie comprend en outre un dispositif d'extraction de celui-ci en cas de nécessité de changement du roulement du moteur ou de la transformation de la motorisation en entraînement à transmission par courroie crantée (pour décortiqueuses, groupes froid etc), ce qui simplifie sensiblement la gestion des stocks et des pièces de rechange. Ce principe de fixation

est dérivé des systèmes bien connus pour les perceuses (filetage central permettant la rotation seulement dans le sens anti-horaire).

Ce modèle de moulin est le fruit d'une longue recherche et d'une série d'essais avec l'unique tâche d'allier la meilleure qualité de farine avec un minimum de consommation électrique tout en maintenant un prix de fabrication raisonnable: ce but a été atteint au-delà des espérances, vu qu'en outre cette conception permet l'évacuation efficace à travers l'arbre de l'échauffement généré dans l'induit, ce qui donne une résistance accrue du moteur aux fortes chaleurs sahéliennes.

6.1.2 Le bâti

D'une conception anti-vibratoire avérée, le bâti a été en outre adapté pour garantir un auto-nettoyage efficace, l'utilisation de grandes bassines et la pose sur le sol sans ancrage ni dalle de béton („grands pieds“). Pour éviter les fréquentes erreurs de positionnement des tamis dues aux effort radiaux et à l'usure des gonds en cas de centrage sur la porte, le montage choisi prévoit une double portée sur la partie fixe du bâti: c'est grâce à l'effort contrôlé du moteur que l'on évite la déformation des tamis lors du bourrage (déformation en „ballon“ bien connue), ce qui permet le choix de cette solution ultra-robuste et qui a l'avantage de râcler l'extérieur du tamis quand on le retire en faisant tomber la farine qui y adhère à l'intérieur sans salir, c.à.d. directement dans la bassine.

La trémie est solidaire de la porte, à laquelle elle est reliée par une cheminée à profil carré qui sert de logement à la valve de dosage des grains: celle-ci peut donc être retirée par le haut et secouée dans la trémie pour éviter un mélange de céréales: l'échange de la valve en fonction du type de produit peut donc s'effectuer instantanément, ainsi que la mise en place d'une valve automatique anti-bourrage.

Les roulements du moteur fixé au bâti servent de palier aux marteaux („arbre solaire“), vu que dans cette conception il n'y a pas besoin de poulies, ce qui élimine l'effort latéral et donc la charge sur les roulements: la durée de vie est de ce fait extrêmement prolongée, à tel point que nous ne considérons plus les roulements comme pièce de rechange.

Malgré le fait qu'elle ne supporte plus d'effort, la porte est pourvue de gonds sur-dimensionnés qui assurent une grande précision dans la fermeture et une étanchéité à toute épreuve; cette même précision permet d'intégrer en option un système de sécurité qui coupe le moteur en cas d'ouverture intempestive.

6.1.3 Les valves à grains

Si nous utilisons ici le pluriel, c'est que cette conception permet l'adaptabilité instantanée du moulin au produit par le simple échange de valves pré-tarées à insérer par le haut de la trémie: nous savons que certaines farines exigent des précautions particulières au niveau du dosage, et c'est par un effort constant de variation que l'on peut trouver un optimum pour chaque cas; dans des situations particulièrement difficiles ou dans le cas d'une recherche de la productivité maximum, une valve automatique pilotée par la charge du moteur peut être insérée, ce qui a l'avantage de faire marcher le moulin à l'optimum du rendement énergétique et sans surveillance)

Le modèle standard est dérivé d'un système à pointeau dont l'ouverture est réglable par vis, mais qui peut être annulée par simple pression sur le pommeau, ce qui a l'effet de nettoyer l'étranglement au cas où un collage des grains dérangerait le débit.

6.1.4 Conclusion

Les avantages du moulin solaire (démarrage à volonté sans le besoin de l'assistance d'un meunier, pas de carburant et d'huile à organiser etc) sont en même temps ce qui rend son implantation délicate vu qu'il faut prévoir non seulement une formation mais aussi un système de gestion pour allouer et répartir correctement l'énergie récoltée et financer la maintenance (qui tourne principalement autour de la batterie et de son remplacement); ce qui pose le plus grand problème sur place, c'est de convaincre le groupement utilisateur d'enregistrer au moyen d'un carnet de contrôle les observations utiles datées des incidents, performances, météo etc qui permettraient un suivi de la part de l'autorité compétente et de cerner rapidement d'éventuelles dérives. Soulignons finalement le haut degré de sécurité -- électrique et mécanique -- que présente ce système par rapport aux concurrents diesel (courroies gourmandes de boubous, pas d'arrêt d'urgence en cas d'incident ou d'ouverture de porte) ou sur réseau (les mêmes courroies auxquelles s'ajoute le risque électrique du courant alternatif sous 230 V) et l'amélioration qu'apporte la valve automatique en réduisant les problèmes de formation tout en améliorant le rendement.

6.2. Les décortiqueuses

Le développement de la solarisation des décortiqueuses à mil a suivi de très près la mise au point du moulin, si bien qu'à la foire de St. Louis en 1992, les moulins et les décortiqueuses fabriquées par les Ets. Pène de Thies créèrent la surprise et furent même présentés à la télévision. Le système à double étage abrasion/balayage du son s'est toutefois avéré gourmand en énergie, en partie à cause des transmissions à courroie trapézoïdale, si bien que différentes voies ont par la suite été explorées, dont l'une semble près de l'aboutissement (modèle à un seul arbre).

Bien que les machines soient fondamentalement dissemblables, la majorité des concepts décrits pour le moulin du côté de la motorisation s'appliquent aussi aux décortiqueuses, surtout si l'on parvient à rendre le processus de décortiquage continu (à la place de charges successives): ceci permettrait l'utilisation des valves d'alimentation automatiques mentionnées sous 2.3.a et donc de réduire substantiellement la consommation grâce à une charge constante et optimale, ce qui garantirait environ la même puissance pour le même débit en ce qui concerne **le petit mil**: il y a donc encore du travail de développement à réaliser bien que quelques machines fonctionnent déjà.

Le problème majeur des décortiqueuses est plutôt commercial: peu de céréales nécessitent un décortiquage comme le mil (qui peut être effectué sur place avec un effort nettement moindre par rapport à la mouture), par contre pour décortiquer le riz (qui n'a pas besoin de mouture) il faut -- du fait des structures productives -- des machines techniquement adaptées et surtout beaucoup plus puissantes que pour le mil: elles ne sont peut-être pas du ressort du solaire aussi du fait d'une plus grande intermittence. Une enquête à ce sujet serait fort utile pour bien orienter les efforts à ce stade de développement.

6.3. Les groupes cryogéniques, la filière du lait et les chambres froides

C'est le lait qui est le trait d'union entre les différentes motorisations autonomes, vu que les systèmes utilisés aujourd'hui proviennent d'une recherche conjointe initiée dans le courant des années 80 pour trouver des solutions hors réseau pour la traite et le refroidissement du lait: je peux même affirmer que les acteurs actuels se sont rencontrés en constatant qu'ils se battaient avec des problèmes communs en relation avec des moteurs à aimants permanents commutés mécaniquement et que les offres de solutions industrielles étaient plutôt rares, limitées et chères. Dès le début des années 90 -- sans doute poussé par les directives européennes de plus en plus strictes -- le besoin de transposer en zones non-électrifiées les méthodes de traitement industrielles se fait sentir, tant p.ex. dans les alpages que dans les pays en développement: les notions de chaîne de froid et d'hygiène animale firent rechercher des solutions tendant à maintenir les standards de qualité avec une consommation énergétique compatible avec la faiblesse des sources d'énergie renouvelables. Dans cette compétition, la palme revient aux systèmes de traite à groupe vide modifié, qui ont réussi à diviser par 4 l'énergie spécifique par litre en atteignant 2-3Wh/l, alors que le froid doit se contenter d'un facteur de 2 avec env. 10 Wh/l, tout cela par rapport aux machines standard marchant au courant alternatif. En 1991, la première installation de traite autonome de 600W (2 faisceaux) a été installée à Dischma, dans les Alpes Grisonnes, suivie d'une installation de 4 faisceaux en 1992 qui fonctionne encore! Les compresseurs cryogéniques pour le lait ont peiné au début du fait de l'inadéquation du système du tank de refroidissement à formation de glace et aspersion qui consommait entre 30 et 40 Wh/l dans l'installation de Somme (entre Dahra et Linguère) à 40°C de température ambiante; ce n'est que vers 1995 que la collaboration avec les Ets. Japy a permis de mettre en oeuvre des systèmes à détente directe qui ont fait frôler les 12 Wh/l dans le rayon laitier de Nestlé à Wendou Loumbel (entre Dahra et Touba), peu avant que la filière du lait ne soit abandonnée par manque de rentabilité; citons comme anecdote que le Mexique a saisi l'occasion pour reprendre le flambeau en installant des équipements initialement prévus pour Nestlé dans le Nord de l'état de Jalisco, où du fait du climat tempéré on atteint facilement 7 Wh/l.

L'astuce du groupe vide pour la traite consiste en gros d'éviter les pertes de la valve de maintien de dépression qui fixe la consigne en injectant plus ou moins d'air ambiant dans le ballon, c.à.d. en annulant plus ou moins l'effort de la pompe à vide: en réglant électroniquement la vitesse de la pompe à vide de telle façon à maintenir cette même valeur consigne on peut éliminer cet appel d'air et donc des pertes qui s'approchent de la puissance nominale en cas de consommation d'air réduite, p.ex. lors du changement des faisceaux. Il est donc logique qu'en procédant ainsi on gagne sur deux tableaux, en pneumatique donc, mais aussi en mécanique vu que le moteur ne tourne jamais plus vite qu'il ne faut, ce qui rend plausible les réductions de pertes enregistrées. En prime, l'usure de l'équipage mobile (surtout de la pompe) se minimise et une soudaine montée en régime avertit immédiatement d'une fuite dans l'installation: la course au rendement amène donc dans ce cas une augmentation substantielle de qualité. Nous retrouvons ici les ingrédients de la motorisation productive, à savoir le moteur CC relié à la pompe à vide par la courroie synchrone sur poulies dentées, le tout complété par un régulateur de vitesse à découpage mesurant continuellement le vide dans le ballon au moyen d'un petit tuyau ① ⑦

Le groupe cryogénique ne procède d'aucune idée géniale, mais bien d'un effort soutenu pour éliminer la complexité et les pertes tout au long de la chaîne, effort de bénédictin qu'il faut sans doute considérer comme norme pour la majorité des adaptations de l'outil productif à une source solaire. En partant du constat que les compresseurs usuels sont généralement du type hermétique

où l'équipage mobile est confiné dans une cloison étanche et alimenté par du courant alternatif, il coule de source que l'on doit remplacer cet ensemble par un compresseur ouvert mû par un moteur CC à travers une combinaison de poulies avec courroie dentée pour éviter l'onduleur; comme il faut en plus souffler de l'air à travers le condenseur, il semble logique de transformer la poulie menée fixée sur l'arbre du compresseur en hélice de ventilation intégrée dans une structure tubulaire soutenant ledit condenseur: cette disposition permet non seulement de réduire les pertes d'entraînement, elle introduit aussi une sécurité intrinsèque (dans notre cas, le compresseur ne peut pas tourner pas sans la ventilation^⑦) qui doit être établie au moyen de pressostats dans le cas de ventilations motorisées séparément (ce qui est inévitable avec les hermétiques), car un arrêt intempestif de la ventilation sans arrêter le compresseur provoquerait une surchauffe qui détruirait inmanquablement des éléments du système. Ainsi nous disposons d'un appareil d'où les pertes des motorisations séparées et les aléas de la chaîne pressostat-disjoncteur sont éliminés, sans compter le fait que nous évitons un onduleur surdimensionné qui grèverait inmanquablement le budget de l'installation. Avec la motorisation à commutation électronique, le système atteint un facteur de performance (COP) de 4 en début de refroidissement, c.à.d. que nous retirons plus que 5 kW à la source chaude, ce qui permet de refroidir 800 l de lait par jour de 37°C à 4°C à 33°C d'ambiance en environ 4h avec un champ pointé de modules d'env. 1 kWcr pourvu d'un MPPT.

Signalons finalement que la partie essentielle constituée par l'hélice est coulée en résine dans un moule en bois confectionné avec un bout de courroie pour imprimer les 173 dents qui donnent la démultiplication adéquate, une technique parfaitement maîtrisable par un artisan spécialisé; la plus vieille hélice en fonctionnement a déjà plus de dix ans!...

Le groupe cryogénique décrit ci-dessus se branche sans problème aussi sur des évaporateurs de chambre froide pour conserver des aliments ou sauvegarder des récoltes; les études réalisées à ce sujet en se basant sur l'utilisation de conteneurs "dernier voyage" dûment isolés pour le poisson dans la région de St. Louis se sont avérés positifs tant du point de vue technique qu'économique, mais l'arrêt des rayons laitiers a bloqué toute activité du fait de la disparition du substrat technique principal; de toute façon, la motorisation prévue était du type à commutation électronique, vu qu'ici se conjugaient un nombre réduit d'installations dans une zone bien déterminée avec des grandes durées ininterrompues de fonctionnement. Cette voie a été reprise pour l'implantation au Mexique après des essais approfondis en salle climatique aux Ets. Japy^{①⑧}.

6.4. Le bas régime de petite puissance: les brasseurs plafonniers, les agitateurs, les presses

C'est depuis les années 80 que la motorisation directe des brasseurs (150 - 300 t/min) a été le précurseur des technologies utilisées plus tard dans les machines productives; en effet, plus le moteur est lent pour une tension donnée, plus sa résistance interne (et à travers celle-ci sa sensibilité à la température) est grande, si bien que p.ex. un brasseur peut perdre plus de 20% de son régime maxi. entre 25°C au démarrage et les 45°C au moment le plus chaud de la journée: il faut avouer qu'un ventilateur qui perd de sa performance au moment où le besoin est crucial ne se justifie guère, d'où le remède du pont thermique□ décrit plus haut, qui maintient l'induit à quelques dizaines de degrés de la température ambiante. Ce système est produit en série depuis plus d'une dizaine d'années et s'est étendu aux agitateurs des tanks à lait (30 t/min) et est actuellement en cours d'adaptation aux presses à arachides.

Le ventilateur plafonnier doit bien être classé comme générateur de revenus, vu qu'il semble difficile de proposer des campements ou des restaurants au sahel sans le moindre bien-être en saison chaude quand il n'y a pas un souffle de vent (situation habituelle), sans compter que bien des tâches administratives ou de formation perdent énormément en effectivité si elles sont trempées dans la transpiration. Mais pourquoi la motorisation directe et non pas un petit moteur avec réducteur comme quelques fabricants l'ont proposé? A part le problème du rendement, c'est la longévité, le coût et surtout le bruit qui obstruent cette voie: qui veut bien essayer de dormir avec un bourdonnement persistant (pensez à votre perceuse!); rappelons ici que le brasseur plafonnier standard (ϕ 132 cm) qui suffit parfaitement pour un bureau de 20m² ne consomme que 10 à 12 W sous 12 V et fonctionne souvent 24h sur 24...

Le même moteur est depuis peu utilisé comme **agitateur du tank à lait** où il substitue un moto-réducteur cher et peu efficace, moyennant une petite électronique qui règle le régime à env 30 t/min indépendamment de l'effort (niveau de submersion); évidemment, le pont thermique doit ici être branché sur les pales d'agitation afin de stabiliser la température de l'induit.

Le développement actuel vise à utiliser ce moteur pour la motorisation des **presses à huile d'arachides** que l'auteur avait amélioré il y a plus de vingt ans en y introduisant un vérin de cric hydraulique, comme le montre bien le dessin de M. Dramé de Pout ☉☉; ce pas en avant n'a toutefois pas éliminé la vis-mère qui sert à la précompression et au positionnement et qui rend cet équipement cher et délicat à manier. En exploitant une des caractéristiques du moteur en question (forte variation de la vitesse en fonction de la charge) une simple pompe hydraulique entraînée par celui-ci ferait en même temps l'approche rapide et la lente compression du pressage, accessoire qui pourrait être déconnecté de la presse et emmené dans un autre village solarisé vu que l'on ne presse pas tous les jours. Ce développement aurait aussi l'avantage de corriger un défaut d'origine dans la forme de dissémination libre choisie à l'époque, qui a été la source de malfaçons de mauvaise qualité dues notamment à la dégradation progressive des arrivages des crics orientaux: un élément certifié amènerait ici une garantie de succès à moindre prix.

6.5 Les machines-outils et outillages à main électriques pour ateliers autonomes

Quiconque a visité des ateliers sahéliens connaît la prépondérance de la mécanosoudure, et donc de la meuleuse d'angle/tronçonneuse -- de préférence de ϕ 230 mm -- sur tout autre équipement, perceuses à colonnes incluses. Or c'est justement cette meuleuse d'angle qui rend l'atelier autonome aléatoire du fait de sa haute consommation à vide (autour de 1000 W) et de ses pointes de démarrage qui, combinées avec les impulsions de la soudure à arc électrique, rendent inviable un système à onduleur aussi surdimensionné soit-il: on utilisera donc des groupes électrogènes qui sont par nature pourvus d'une bonne inertie et qui absorbent sans trop broncher toutes ces pointes qui peuvent s'additionner: c'est notamment le cas des ateliers ambulants qui se déplacent de village en village pour réparer et installer. Pour les petites tâches, la panoplie des outils rechargeables est grande et peut être alimentée facilement à partir d'une installation solaire villageoise: ceci résout déjà beaucoup de problèmes insurmontables il y a seulement une décennie et offre l'avantage de déplacer le problème dans le temps en attendant un besoin accru qui ne peut venir que des succès de la lutte contre la pauvreté à travers l'implantation des premières machines productives et leur environnement technique. A l'heure actuelle, il est donc sans doute prématuré d'évaluer l'avenir des ateliers autonomes (qui dépendra aussi de l'extension du réseau et de la qualité de celui-ci, car bien des installations font de plus en plus appel à des batteries

pour combler les déficiences du courant alternatif), mais ce que l'on peut prévoir avec une grande certitude, c'est qu'il faudra commencer par mettre au point une bonne meuleuse d'angle (les autres motorisations de la liste des éléments d'atelier ne nécessitent pas une adaptation particulière): ici, le poids du moteur axial commuté électroniquement ou à lamelles est déterminant, si bien qu'une simple transmission par courroie ⑤ vers le disque enfermée dans un étui ergonomique détermine l'essentiel de l'appareil et garantit ainsi une basse consommation avec une inertie réduite, ce qui a pour effet d'éliminer en grande partie les pics de courant des appareils à moteur universel et renvoi d'angle classique.

Par contre une installation complète d'un atelier autonome avec son générateur et ses batteries serait un outil didactique de premier ordre pour la formation des artisans du secteur des machines productives au vu du concentré des techniques en courant continu à manipuler tous les jours; nous en reparlerons dans le cadre des recommandations pour une mise en oeuvre au Sénégal.

6.6 Les applications productives sans moteur: fer à repasser, soudure à l'étain et à l'arc

Toutes ces applications ne présentent guère de surprises si ce n'est que le fer à repasser ② ① représente une application quasiment hérétique (faire de la chaleur avec du photovoltaïque, allons donc...) et fournit une fiche signalétique des plus convaincantes quant au "coût prévisionnel de mise en oeuvre" (2 modules de 50 W = 400'000 FCFA + 2 batteries de 210 Ah = 140'000 FCFA + 1 régulateur 4 A = 21'000 FCFA + 1 fer à repasser 24 V = 30'000 FCFA → **591'000 FCFA** hors support), au "contexte de mise en oeuvre de l'application"(lutte contre le déboisement par élimination du charbon de bois), aux "mesures pour la maîtrise du fonctionnement"(ne pas se brûler les doigts) et finalement quant aux "revenus prévisibles de l'application"(969'000 FCFA en trois ans à raison de 3,5h de travail par jour, 5jours par semaine, amortissement de l'équipement inclus).

Situons-nous par rapport aux indications du tableau confectionnée par la communauté rurale de Kelle Gueye (FAPAL) reproduit ci-dessous:

Utilisation du fer à charbon :

Avec 3 kg de charbon on peut repasser 5 pantalons

1 kg pour 1 grand boubou trois pièces

1 kg pour 5 chemises

Donc il faudrait en théorie 1236 kg de charbon de bois par jour si tous les 6189 habitants de la communauté de Kelle Guèye faisaient un seul repassage quotidien équivalent à une chemise, un chiffre sans doute très conservateur.

Actuellement, 3 professionnelles effectuent chacune des repassages, avec un prix par lot de 1500 à 2000 FCFA, lot qui est constitué p. ex. par 10 pantalons, 5 chemises, 5 robes, 4 boubous trois-pièces et par quelques habits pour enfants ; ce rythme est donné par les temps de repassage que nous citons à titre indicatif :

Pantalon:

8 minutes

Boubou:	10
Grand boubou trois-pièces:	15
Chemise, robe:	5

Le charbon est devenu plus cher (actuellement à 125 FCFA/kg !) avec la rareté du bois, sans compter les fréquentes pénuries qui bloquent souvent le travail.

Inconvénients:

- *L'utilisation du charbon encourage le déboisement*
- *Le vent active le charbon et accélère la consommation*
- *Perte de temps en attendant le chauffage du fer*
- *Risque de pénurie du charbon*
- *Peut entraîner la brûlure de certains habits*
- *....et produit du CO2 en grande quantité.*

Il faut aussi prendre en considération qu'il faut du temps pour chauffer le fer à repasser et qu'il faut périodiquement enlever les cendres (et re-chauffer).

Transposons ces données en termes d'énergie, en sachant que le fer consomme en moyenne 200 W, donc:

Gd. boubou 3-pièces	15 min / 50 Wh / 1kg de charbon
Pantalon	8 min / 26 Wh / 0,6 kg
Chemise, robe	5 min / 16 Wh / 0,2 kg

Insérons ceci dans le lot indiqué ci-dessus:

10 pantalons	80 min / 260 Wh / 6kg
5 chemises	25 min / 80 Wh / 1kg
5 robes	25 min / 80 Wh / 1kg
4 boubous 3-pièces	60 min / 200 Wh / 4kg
habits pour enfants	15 min / 50 Wh / 0,6kg
TOTAL	205 min / 670 Wh / 12,6kg
ou	3h25 min / 100 Wcr / 1575 FCFA

Si ces données sont justes (elles datent d'il y a 2-3 ans), la repasseuse traditionnelle est rémunérée de 425 FCFA par lot vendu 2000 FCFA une fois payé le charbon contre 1242 FCFA par lot dans le cas du solaire une fois payée l'installation en se basant sur 3 ans d'activité: qui dit mieux?

7 Problèmes rencontrés, leçons apprises et recommandations.

Peu (ou plutôt aucune autre) application ne peut être circonscrite aussi simplement que le repassage, qui est donc un cas atypique qui ne s'appuie sur aucune technicité locale: la nouveauté toute relative de la démarche qui est à l'origine des applications présentées est bien d'introduire des concepts technologique et mettre à disposition les quelques éléments physiques dûment sélectionnés et incontournables et de laisser se constituer les lignes de force et les groupes de produits par la dynamique même des intervenants, donc les groupements d'artisans sous leur propre responsabilité en prise directe avec la clientèle telles que groupements villageois, ONG ou particuliers. Cela n'est pas une vue de l'esprit puisque cela fonctionne pour des appareils relativement complexes (presses à huile, moulins), mais avec bien des problèmes qu'il faudrait mieux maîtriser sans tomber dans la bureaucratie; en effet, les problèmes quasiment insurmontables qui s'empilent devant une petite entreprise (nous devons à MOTAGRISOL -- le GIE qui fabrique le moulin -- le rôle pénible de poisson-pilote) sont en général d'ordre administratif, financier et/ou d'approvisionnement:

- évaluation des coûts, taxes et frais annexes à l'heure d'établir un prix de vente
- gestion interne de l'entreprise, contrôle des stocks et commandes d'approvisionnement
- démarches douanière et de transit lors de la réception de marchandises
- acquisition de contrats de vente et démarches administratives, publicité & traductions
- assurances, questions juridiques et protection industrielle (brevets)
- financement du fonds de roulement et de la croissance
- gestion du retour d'information et son exploitation pour les fiches techniques
- organisation du SAV et de la maintenance

Une grande partie de ces tâches arrondies par une fonction de mémoire des succès et des échecs pourrait être intégrée dans une structure rurale -- de préférence rattachée à une communauté villageoise performante et gérant un atelier de formation à énergie autonome pour rester à une des sources du savoir-faire -- qui à part l'implication dans une partie des secteurs énumérés ci-dessus fonctionnerait comme une centrale d'achat et de contact technico-commercial avec l'extérieur et veillerait aux aspects sociaux des formes et lieux d'implantation; certains reprochent de vouloir ressusciter une espèce de SONADIS sous forme solaire (sans doute du fait de la volonté de se limiter à un choix très réduit de produits), ce qui n'est qu'un tout petit grain de vérité dans un contexte totalement différent qui a été publié il y a des années et que je reproduis ici:

7.1 Concept de fourniture-formation (Le NORD-OUEST, 2003)

Ceci est un essai de cadrer la démarche d'introduction du solaire productif dans l'ensemble des efforts de développement en se basant sur des constats d'échecs plus ou moins répétitifs en ce qui concerne l'introduction "utile" de cette technologie:

constat 1: la grande majorité des applications ne sont pas couvertes par des produits d'importation adaptés, car:

constat 2: il est impossible et pas rentable pour un industriel étranger de concevoir et de mettre au point ces produits.

constat 3: donc, les choix et la mise au point des procédés doivent donc être effectués localement

constat 4: la réalisation de cette approche ne peut être effective que si l'on associe formation et mise à disposition des éléments essentiels pour les artisans dans une démarche concertée avec les chambres des métiers.

On propose en principe un projet solide de formation associé à une fourniture directe des éléments dont la théorie d'utilisation pour des appareils créateurs de revenus fait partie du cours, et où les premiers pas commerciaux des élèves seraient en fait une prolongation des travaux pratiques encore sous le contrôle des enseignants. Cette conception peut donc vaincre l'obstacle en principe insurmontable pour les industriels européens que constitue l'introduction de leurs produits localement, vu qu'en fait ce système établirait un marketing adapté et sélectif pour eux tout en sauvegardant les intérêts sur place à travers la définition et la confection des produits finaux.

-Les produits importés seraient avant tout des modules et quelques éléments auxiliaires.

-Les produits standardisés à intégrer dans la formation et dont l'approvisionnement est à assurer seraient le moteur, quelques poulies et les courroies, dont la fabrication à terme se ferait sur place

-Les produits confectionnés vendus et entretenus par les artisans formés conditionneraient en fait les importations.

Cette démarche a été présentée à divers fabricants de modules qui l'ont accueillie favorablement, à tel point qu'un soutien sous forme de produits pour la formation (surtout des modules, c'est le plus cher, mais aussi des moyens didactiques et de mesure) semble négociable, surtout pour quelques cours-pilotes.

Même un programme de formation modeste aurait une influence positive sur le développement des entreprises artisanales engagées dans ce processus: nous voyons bien que Motagrisol peine énormément à développer son activité du fait d'un manque d'environnement informé quant aux possibilités offertes et à la fiabilité atteinte: ce "calme plat" est aussi un obstacle majeur dans la lutte contre la pauvreté qui freine l'élan d'équipement de toute une région par le manque de mobilisation des ONG, des institutions et des bailleurs de fonds.

Concluons donc en insistant sur la particularité de la démarche proposée et mise partiellement en oeuvre depuis des décennies, à savoir d'agglutiner des groupements d'artisans-créateurs autour de bases techniques consensuées dans le cadre d'une structure qui comprendrait différents volets tels que formation, approvisionnement et surtout forum de discussion (qui fait cruellement défaut au niveau des groupes ruraux directement impliqués): les définitions et les fiches techniques des applications, l'évaluation des coûts et des besoins ainsi que les mesures d'accompagnement seraient définis par les promoteurs et seulement validés par la structure à créer (fonction jusqu'ici exercée tant bien que mal par *Alternativas* CMR), les promoteurs restant propriétaires et responsables de leur projet, comme dans une pépinière d'entreprises.

Evidemment, ce modèle doit être encore affiné, mais il présente des perspectives justifiées vu que d'un côté il permettrait d'établir un interlocuteur valable à fort enracinement rural qui pourra traiter avec l'industrie des modules photovoltaïques et même conseiller les décideurs politiques quant à la direction à suivre dans la lutte contre la pauvreté, car les revenus seront augmentés non seulement par l'implantation de machines productives mais *aussi* par la fabrication de ces dernières.

7.2 Actions immédiates

Le modèle de développement présenté ici suppose la présence de partenaires se responsabilisant d'une application ou d'un groupe d'applications, et c'est donc à ces derniers d'établir les documents correspondants (coûts, revenus prévisibles, mesures d'accompagnement etc, toutes des données qui doivent s'établir dans le cadre et avec les conseils de la structure à établir, en tenant compte des conditions locales); il faut distinguer ici cinq types de situations:

- systèmes en opération et en production (moulins, ventilateurs plafonniers)
il s'agit ici d'en étendre géographiquement l'utilisation, toutes les données sont disponibles et basées sur une longue expérience; tout au plus peut on développer des améliorations annexes, p.ex. valves automatiques, sécurité, etc
- produits éprouvés mais pas encore disséminés, prêts à l'application dans un cadre social à définir (repassage, réseau de distribution avec Minibatnet, tank à lait).
dans les deux cas il s'agit de faire les premiers pas contrôlés, pour le repassage en se basant sur l'étude FAPAL, dans le cas Minibatnet on peut commencer par des installations d'éclairage public en suscitant éventuellement une fabrication local du fil (1 porteur+2x 0.2mm²)
- applications où un travail d'adaptation classique est encore nécessaire
toutes les applications ne nécessitant pas un récepteur adapté
- concepts à mettre au point, comme la meuleuse d'angle, la décortiqueuse, la presse à huile etc
l'adaptation de chambres froides au groupe cryo tombe aussi dans cette catégorie
- les applications inconnues qui surgiront par génération spontanée.
une fois le concept de formation-fourniture mis en place

7.3 Suggestions concernant les développements prioritaires

Ceci est une liste non-exhaustive à compléter de dispositifs utiles qui peuvent déboucher sur des fabrications ou des activités universitaires locales:

- refroidissement Pelletier des batteries (étude, essais, évaluation)
- valve anti-bourrage (introduction)
- MPPT simplifié (manipulation électronique)
- pulsateur-désulfateur (manipulation électronique)
- transfert de chaleur sur courroie (manipulation mécanique, p.ex. fin d'études)

8. Apport de la filière thermique et problématique d'émission CO2

8.1 Généralités sur la filière thermique

Si nous parlons de *filière thermique* il faut souligner dès le départ qu'il ne faut pas la confondre avec la mise à disposition d'eau chaude sanitaire, bien que certains types de capteurs ou d'autres éléments puissent être utilisés indifféremment dans les deux circuits: la filière thermique qui nous intéresse ici prévoit des températures relativement élevées bien au-dessus de l'ébullition de l'eau, ce qui impose un liquide caloporteur tel que l'huile (végétale) pour des températures allant jusqu'à 400°C; appelons-la dorénavant *filière haute température (HT)*.

La filière HT peut être comparée à la filière photovoltaïque (PV) dans ses buts, ses composants et ses rendements:¹⁰

- Pour la production d'énergie, l'équivalent des modules PV correspond à des capteurs de conception variée : plan, à tube sous vide ou à concentration -- ces derniers avant tout à foyer fixe et hautes températures; ils sont d'une application immédiate comme nous le verrons ci-dessous.
- Pour le stockage, un simple réservoir d'huile isolé (1m³ permet de stocker environ 3 kWh, si l'on se limite à une variation de température entre 150 et 200°C, avec un rendement proche de 90 % pour un cycle quotidien si l'isolation est performante).
- Pour le consommateur, la chaleur peut soit directement alimenter des postes de cuisson (ou créer du froid à l'aide d'un système à absorption) soit être transformée en électricité par effet Seebeck (pour de petites puissances) ou au moyen d'un générateur Stirling.

Bien que tous les éléments de cette chaîne HT aient subi des améliorations énormes ces derniers temps (y compris les moteurs Stirling qui ont atteint un stade de maturité indéniable), une mise en oeuvre de l'ensemble sous conditions de brousse nécessiterait un effort considérable qui n'apparaît pas encore comme urgent aux décideurs, et ce malgré des perspectives fondées extrêmement favorables (rendement supérieur et coût inférieur à la filière photovoltaïque, stockage d'énergie économique et durable, proportion de fabrication locale importante etc.). En revanche, des applications partielles ont vu le jour et elles valident des parties de la chaîne en accumulant une expérience qui sera utile en cas de changement d'attitude. Un cas fort probable si l'on ne parvient pas à éliminer bientôt le MARASME DU STOCKAGE ELECTROCHIMIQUE EN PAYS CHAUD d'une façon satisfaisante. Citons ici quelques exemples tout en soulignant que le système complet mériterait une étude approfondie particulière :

- Systèmes de cuisson à huile chaude qui bénéficient d'une expérience de plus de dix ans en Afrique et en Amérique latine, notamment grâce aux travaux du Prof. Klemens Schwarzer¹⁴. (capteur+stockage huile d'arachides+casseroles)②①



- Pompage direct, p.ex. le moteur Stirling basse température de BSR Solar Technologies couplé à un bélier-aspirateur "Cyphelly". (*capteur formant directement la partie chaude d'un Stirling + circuit eau du bélier, système sans stockage au fil du soleil*)²²



- climatisation de serres au moyen de concentrateurs Fresnel avec stockage de chaleur et restitution la nuit (*système ENVI/Trebon pour serres en pays chauds*)²³



Notons que l'un des éléments-clefs pour le développement total de la filière HT jusqu'à la génération est la machine tournante électrique (générateur) qui comprend les mêmes éléments qui sont décrits plus haut en tant que moteurs sous 2.1.a, notamment en ce qui concerne les systèmes non ferreux spécialement mis au point pour couvrir aussi cette application.

Tout comme les machines productives de la filière photovoltaïque, la mise en oeuvre d'un système générateur de revenus sur base thermique est surtout recommandable pour un collectif d'artisans spécialisés, qui sauront prendre les mesures et précautions nécessaires du fait de leur préparation plutôt que d'envisager des applications domestiques ou p.ex. la cuisson avec des simples fours solaires peut même être dangereuse (aveuglement et brûlures, d'où la démarche du prof. Schwarzer citée plus haut avec capteur communautaire sécurisé et transfert d'huile par thermosiphon, qui a en plus l'avantage de fonctionner aussi de nuit).

8.2 Les fonderies d'aluminium

Les fonderies artisanales d'aluminium pourraient constituer une application spécifique idéale du solaire pour les raisons suivantes:

SANTE : les fours de charbon de bois dégagent des gaz nocifs que le fondeur et l'opérateur de la soufflante inhalent abondamment (emphysème, bronchite) et qui sont à l'origine de maladies chroniques.

Environnement : le combustible utilisé engendre un déboisement brutal à cause des énormes quantités de charbon nécessaires. L'approvisionnement est de ce fait de moins en moins gâté.

Economie : les prix du charbon de bois s'envolent du fait de sa raréfaction, ce qui pénalise gravement cette activité pourtant fort utile pour le recyclage des déchets automobiles et industriels; les ruptures d'approvisionnement obligent à de longues manœuvres de rallumage.

Compatibilité temporelle : cette activité métallurgique s'effectue en principe de jour pour différentes raisons, si bien qu'une utilisation directe au fil du soleil est concevable. Toutefois, les surplus de chaleur générés permettent d'envisager le stockage d'aluminium fondu pour flexibiliser les opérations.

Emission CO₂ : c'est peut-être l'argument principal en faveur d'une solution solaire, étayé par la petite analyse et les relevés effectués par l'auteur en collaboration avec les ateliers Baba MARR pour la ville de LOUGA cités ci-dessous:

Prenons le cas typique de la petite fonderie de M. THIAM située en bordure du marché central de Louga. Elle transforme des déchets d'aluminium (70-100 kg/jour, en majorité des blocs moteurs automobiles) en pièces mécaniques ou en vaisselle d'un poids unitaire allant jusqu'à 30 kg, ce qui suppose env. 2000 kg/mois ou 24 Tonnes/année pour cette petite entreprise, qui avec la dizaine d'entreprises similaires produit donc env. 240 Tonnes/année pour la seule ville de Louga. Etant donné que 2 kg de charbon de bois sont nécessaires pour fondre un kg d'aluminium, c'est 480 T de charbon de bois (et $480 \times 3,66 = 1745,6$ T de CO₂!) qui partent en fumée pour cette seule activité artisanale! En jouant sur le rapport entre les populations, ceci voudrait dire que près de 10 % des env. 300'000 T de charbon de bois consommé au Sénégal alimentent cette filière. Ce poste dévoreur d'énergie pourrait

être approvisionné par seulement quelques centaines de concentrateurs solaires à foyer fixe de BSR Solar Technologies (voir image ❷❸ et explication ❷❹).

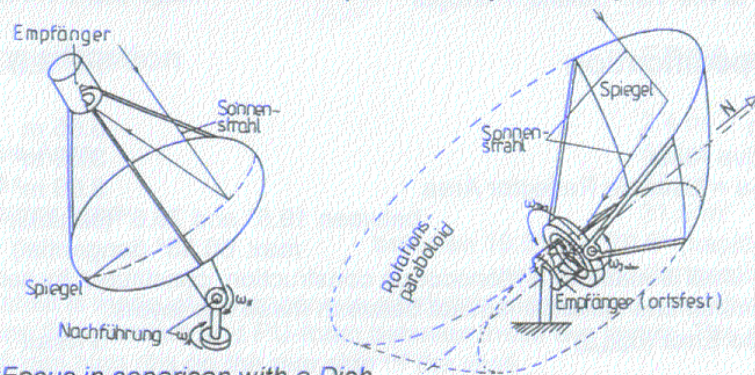




The **FixFocus concentrator** is a special designed **off-axis parabolic** concentrator which generates a fixed, ground based focal spot.

The FixFocus concentrator is **polar tracked**. The reflecting shell follows the sun by revolving round an axis through the focal point which is parallel to the earth's polar axis. The tracking of the declination is managed by tilting the shell round an axis perpendicular to the polar axis through the focal point.

The aperture level of a FixFocus receiver is placed always vertically to the polar axis.



FixFocus in comparison with a Dish

The FixFocus concentrator enables the use of heavy and location sensitive receiver systems which are placed **stationary** on the ground, e.g.:

- chemical reactors with open cavity
- thermal storage systems, e.g.: MgH_2 -storage systems
- fluidized bed receiver
- location sensitive, heavy machinery

The flux density in the focal plane varies by the declination. This seasonal variation in the peak flux does not harm the mean concentration of a FixFocus concentrator. The **mean concentration** is for an interception of 0.92 about **2000 suns** by definite receiver diameter all over the year.

Pourquoi un concentrateur à foyer fixe? Simplement parce que ce système permet de garder le creuset immobile tout en orientant le capteur **sans échangeur ni liquide caloporteur**. Il n'y aura donc peu de pertes thermiques, facteur très important car on exige des températures de près de 700°C. En outre, ce système peut être réalisé de telle façon à éliminer les dangers liés à ces hautes températures tout en conservant une simplicité qui garantit une sécurité intrinsèque.

Actuellement, il faut compter 2 à 3 heures pour chauffer le premier creuset (10 à 20 kg, on ajoute ensuite une seconde charge à la première maintenue en ébullition etc.), c.à.d. que pour fournir les 0,274 kWh pour faire fondre un kg d'aluminium, il suffit de 3 à 6 m² de surface du concentrateur. Cette surface peut être sensiblement réduite si l'on utilise un stockage efficace de l'aluminium fondu, ce qui se fait couramment aujourd'hui.

Même si l'on se base sur un prix bradé de 125 FCFA/kg, les 24 T/an coûteront au fondeur 6 millions de FCFA en charbon de bois, somme qui est à mettre en regard du prix de l'installation qui devrait pouvoir s'amortir en moins de deux ans (un important effort de développement est en cours pour simplifier le dispositif au moyen de lentilles fresnel).

Notons finalement qu'une approche globale du circuit des fonderies fait apparaître qu'à peine 10 % du pouvoir calorifique du charbon de bois (env. 8 kWh/kg) sont investies dans le processus physique (échauffement + fusion) avec la méthode traditionnelle, le reste part en pertes et maintien de l'état liquide. Il serait donc extrêmement utile de mettre au point cet outil thermique tout en rôdant sa mise en oeuvre locale selon les préceptes analogues à l'introduction des machines productives photovoltaïques (voir § 3.1 "Fourniture/formation"). Un succès dans ce secteur permettrait d'envisager une extension à beaucoup de systèmes dépendants de la chaleur (rappelons que p.ex. les Iles Canaries furent déboisées surtout par l'industrie du sucre) et établirait une base fiable pour promouvoir plus tard toute la filière HT.

8.3 La chaîne de CO₂ et autres pollutions

La "bataille" du CO₂ ne fait que commencer, et le classement des gaz à effet de serre n'est pas définitivement figé : ainsi, toute source renouvelable n'est pas obligatoirement neutre si son exploitation passe par une combustion, vu que d'autres pollutions peuvent alors être libérées (NO_x, soufre, etc.), mettant un bémol à l'utilisation de produits d'origine végétale dans la chaîne énergétique, sans compter les effets néfastes au niveau local comme le déboisement dans le cas du charbon de bois ou du bois lui-même.

Pour le Sahel, le critère le plus important sera sans doute le déboisement, d'où l'utilité de l'alternative HT solaire. Pour d'autres régions, une surabondance de biomasse permettra de favoriser d'autres options qui pourront aussi bénéficier d'une partie des éléments HT, mais le critère général peut se résumer par: **réduire la consommation des récepteurs en général et l'utilisation des énergies fossiles en particulier**. Donc, le choix et l'utilisation du récepteur est d'une importance primordiale, mais la situation n'est pas toujours aussi claire comme dans le cas du remplacement d'un moteur diesel par du solaire, où l'on élimine le CO₂ *et* les pollutions de combustion, *et encore*: si l'énergie solaire passe à travers un stockage de batteries, non seulement leur rendement doit être pris en considération, mais aussi leur durée mise en regard de l'énergie dépensée pour les fabriquer ("énergie grise", "embedded energy"), et c'est bien là que l'horizon s'obscurcit au vu du fait que *toute la somme des énergies stockées au long des cycles d'une vie de*

*batterie au plomb correspond en gros à l'énergie déployée pour la fabriquer!*¹⁴ Ce qui veut dire que d'un point de vue global il faut diviser par au moins 2 tout rendement d'énergie qui y passe, d'où l'intérêt de la filière HT nettement moins pénalisée ou des applications au fil du soleil. Consolons-nous avec la constatation que même pénalisées, les applications solaires ont un rendement nettement meilleur que les système à combustion interne, sans compter sur le fait que les batteries du futur (lithium-métal-polymère? air comprimé?) ne souffriront sans doute pas de cette tare.

8.4 Conclusions:

L'ambition de ce condensé très partiel de quelques techniques adaptées n'est pas de se faire plaisir en proposant des solutions originales aux problèmes de l'équation énergie-pauvreté, mais bien d'essayer tracer les formes possibles que peut prendre un renouveau technologique pour les pays en voie de développement en poussant à une symbiose entre technicité d'avant-garde et expériences de mise au point et de créativité mécanique locales avec les procédures correspondantes; se pose évidemment la question de savoir quelle structure pourrait être le moteur de ce changement, car évidemment l'apport de cet ouvrage S'INSCRIT EN FAUX SUR LE CONSENSUS ACTUEL QUI PROCLAME QUE LES SOLUTIONS EXISTENT ET QU'IL SUFFIT D'UNE MARTINGALE ECONOMICO-ADMINISTRATIVE POUR ALLER DE L'AVANT. Et pourtant le temps presse et la paupérisation avec la faim en corollaire nous guette au bord du chemin. Le fait de que les progrès dans la couverture énergétique soient désespérément lents et que les solutions proposées soient souvent rejetées par les populations rurales concernées devrait être une motivation forte pour démarrer un dialogue entre tous les acteurs qui déboucherait -- souhaitons-le -- sur une reconsidération profonde des orientations actuelles pour enfin dynamiser techniquement et économiquement le monde rural.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- 1 M. Villoz, A. Labourdet
Energie solaire photovoltaïque, DUNOD 2003, ISBN 2 10 005610 7
- 2 Ph. Brückmann, M. Hintermann
Stromversorgung in den Alpen mit Kleinspannungsanlagen, Fachstelle für Wasser- und Energiewirtschaft, Graubünden 1992
- 3 Ibrahima Thiam, Cheikh Wade
Production locale de moteurs à courant continu adaptés à la filière photovoltaïque pour l'équipement rural au Sénégal, projet de fin d'études de l'Ecole Supérieure Polytechnique, Centre de THIES, année universitaire 2001/2002.
- 4 I. Cyphelly, P. Jourde
DC Rural Off-Grid Motive Power for Developing Countries, Paper OB8, 17th European Photovoltaic Solar Energy, Munich, Oct. 2001
- 5 Hans K. Köthe
Solarantriebe in der Praxis, Franzis' 1993, ISBN 3 7723 5192 1
- 6 F. Dobon, G.N.Marichal, L. Acosta
Very Low Concentrating System (VLC), Dept. of Physics, University of La Laguna 2004
- 7a Pape Cissé
Espérons que ce ...plomb d'achoppement sera bientôt éliminé, Le Nord-Ouest # 22
Octobre 2002
- 7b P. Jourde, I. Cyphelly
Batteries for Developing Countries, STORE-Conference, Aix-en-Provence, Oct. 2003
- 8 ETSI Madrid, EC-DGXVII
Universal technical standard for solar home systems, Thermie B SUP 995-96, 1998
- 9 C. de Gouvello, Y. Maigne
L'électrification rurale décentralisée, p. 268, Systèmes Solaires 2000,
ISBN 2 913620 06 X
- 10 A. Tupin
Poste de cuisson et moteur Stirling basse température sur un circuit d'huile chaude avec accumulateur, DESS VERDEC 2001, Université de Savoie, Savoie Technolac
- 11 K. Schwarzer, Th. Krings
Demonstrations- und Feldtest von Solarkochern mit temporärem Speicher in Indien und Mali, Shaker Verlag 1996, ISBN 3 8265 1981 7
- 12 GTZ
Solarkocher in Entwicklungsländern, Akzeptanz und Markteinführung, Mars 1999
- 13 L'observatoire des combustibles domestiques,
Consommation des ménages, Dakar, 1999.
- 14 P. Jourde
Battery Energy Pay-Back Time, CEA Cadarache, 2001

annexes



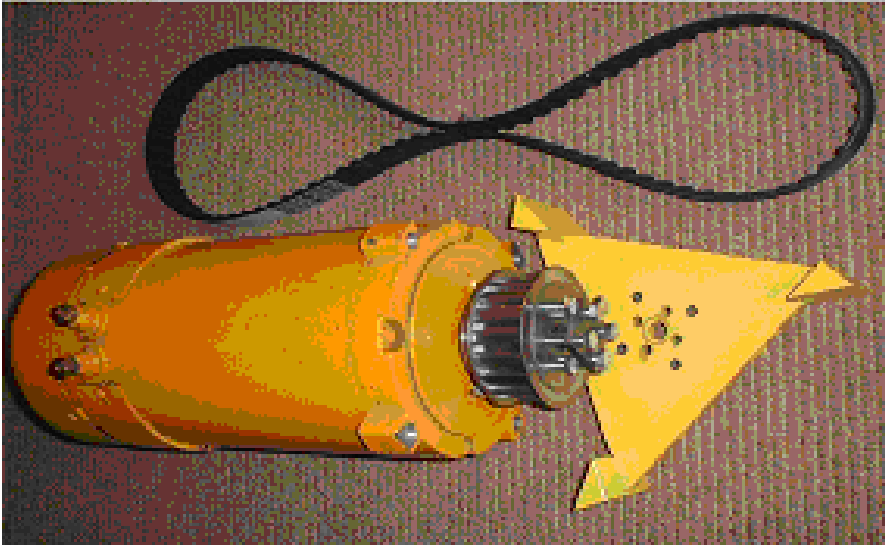
②. Moteurs radiaux et axiaux 1 à 1,5 kW ;4500tr/min



③: Vue d'un rotor à lamelles pour commutation mécanique



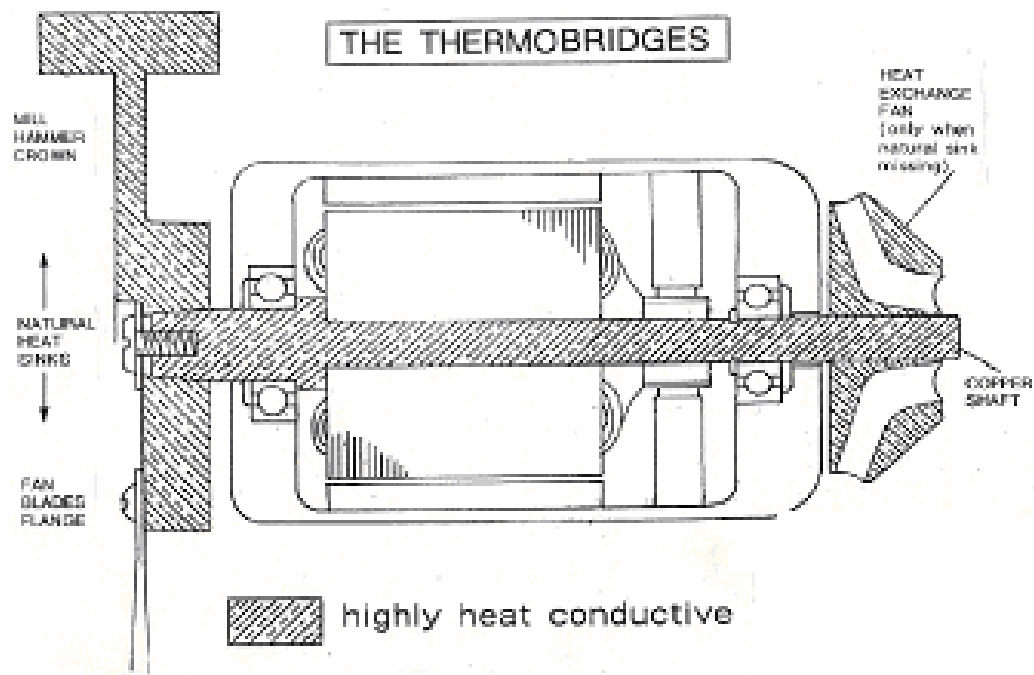
⑥ vue du groupe cryogénique sans cache de protection



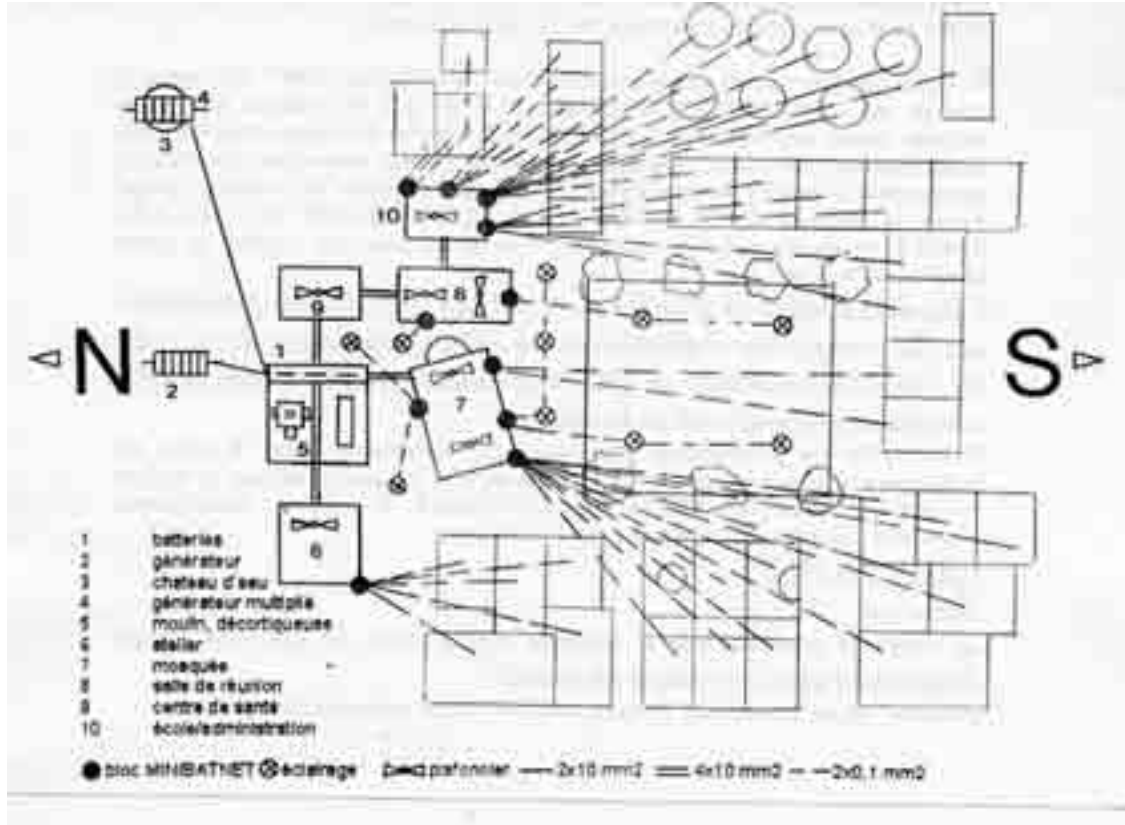
⑤ Moteur avec courroie et poulie synchrones et fixation alternative pour trimarteau (la poulie sert aussi de bride au triarmarteau, elle intègre son propre extracteur)



Plafonnier en courant continu



④ Pontage en cuivre pour évacuation thermique à partir de l'induit vers les pâles (rend le plafonnier insensible à la chaleur ambiante)



⑧ Schéma d'un village câblé avec avec Minibatnet (le réseau à courant fort est câblé en 2 x 10mm² sous 24 V)



①③. Multiplicateur Courant continu Minibatnet
(génère une tension crête correspondant à 230 Vca)



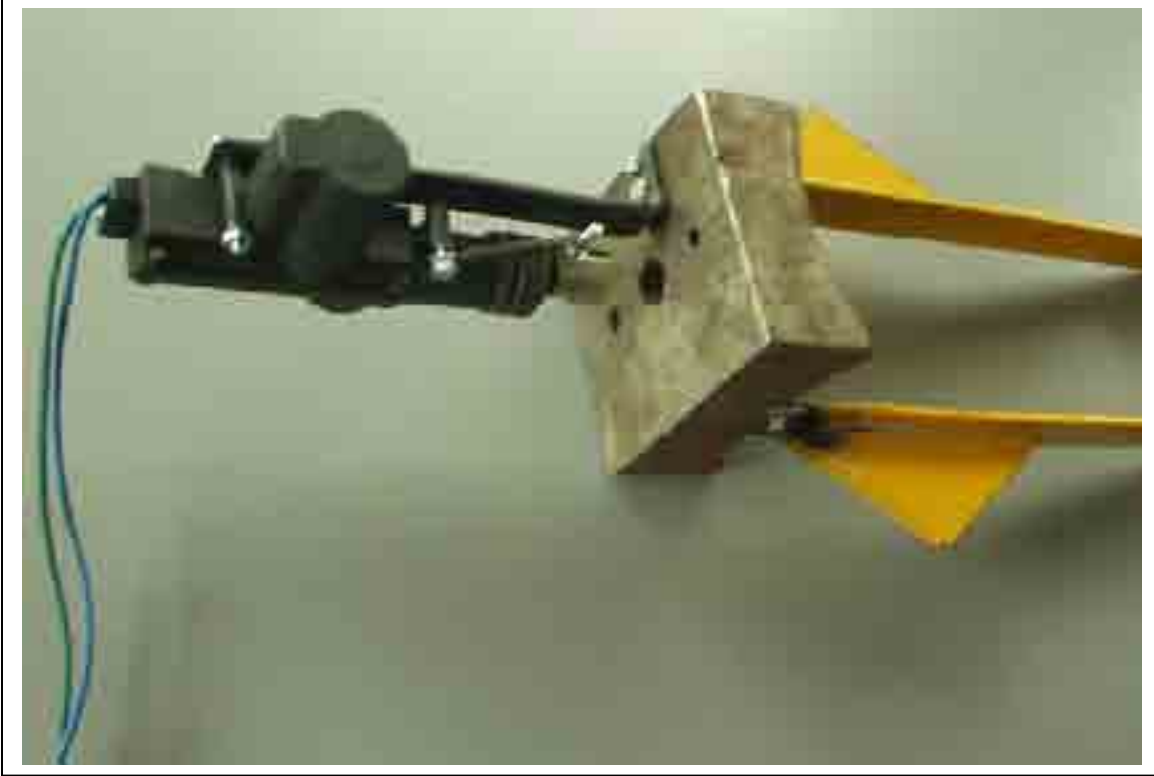
① ④ Vue d'un moulin à céréales



① ⑥ Démareur réhostatique à déle par poids



① ② compte tours tachymétrique sans piles



①⑤ Valve anti bourrage



①⑦ Pompe à vide avec ballon pour traite de lait



❶❸ Essais en salle climatisée du groupe cryogénique à commutation électronique



② ① Fer à repasser (la commande est dans la boîte sur le câble)



①① Fusibles économiques pour courants forts (systèmes ultra économique avec support fabriqué localement)

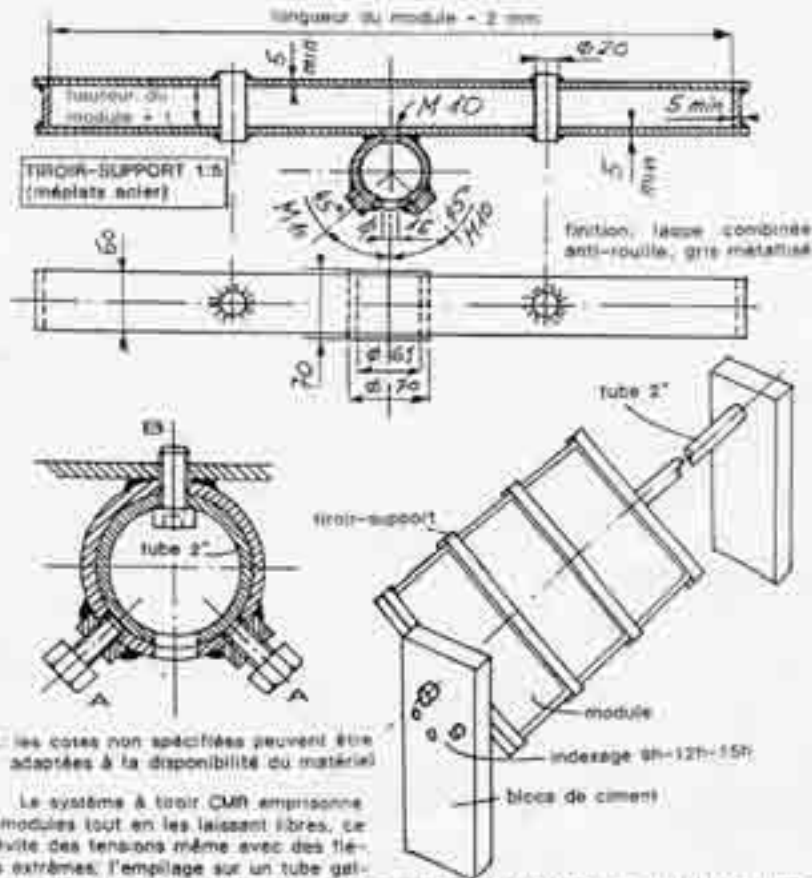


①① Ampèremètre inductif pour mesurer en divers points des installations

SYST. GYFHELLY

CMR

SUPPORT CMR ANTI-VOL A TIROIR POUR STRUCTURES POINTABLES A AXE NORD/SUD



N.B.: les cotes non spécifiées peuvent être adaptées à la disponibilité du matériel

Le système à tiroir CMR emprisonne les modules tout en les laissant libres, ce qui évite des tensions même avec des tensions extrêmes; l'empilage sur un tube galvanisé qui tourillonne dans des pans de mur aux extrémités permet un assemblage rapide, un positionnement solide étant assuré par les vis de serrage **A** sur l'anneau du tiroir-support. Si l'on désire sécuriser l'ensemble il faut contre-percer le tube galvanisé 2" à travers le trou de $\varnothing 18$ mm en faisant déboucher le fond en $\varnothing 11$ pour libérer le taraudage M 10 dans le tiroir-support; c'est dans ce taraudage que l'on introduira une vis Allen **B** qui deviendra indémontable si l'on remplit le tube galvanisé 2" avec du ciment mélangé à du gravier -- ou même à des débris durs tels que des restes de meules ou d'outils diamantés -- qui empêcheront de couper facilement le tube sans endommager les modules, même avec des meuleuses.

Le système est prévu pour un pointage manuel 3 fois par jour (disposition du tube 2" dans un axe nord/sud), mais peut être facilement motorisé au moyen d'une herminette; veuillez nous consulter.

Alternativas CMR, S.L. - POB 123 - Lomo del Capon, 74 - E-35017 Las Palmas de Gran Canaria
 Tel. (+34) 928 430 773 - (+34) 609 096 783 - Fax: (+34) 928 430 200
 E-mail: cmr@ran.es - http://www.alternativascmr.com

7. Montage de modules pointés par tourillonnement, modèle anti vol