

La traction animale et la motorisation

À partir d'une contribution de J.C. Lassaux (CIRAD)

L'ÉNERGIE ET SA MESURE

L'énergie peut se définir comme le moyen de faire un travail. Lorsqu'une force est appliquée à un objet et qu'il y a déplacement, un travail est effectué et il y a dépense d'énergie. Le travail, c'est l'outil en mouvement. En agriculture, comme pour toute autre activité, sans énergie il n'y a pas de récolte !

Selon sa nature, l'énergie peut être mesurée selon différentes unités : la calorie pour l'alimentation, la frigorie pour le froid, la thermie pour le chauffage, le kilowattheure pour l'électricité, la tec (tonne équivalent charbon) et la tep (tonne équivalent pétrole) pour l'industrie. L'unité légale est le joule (J) : travail produit par une force d'un Newton dont le point d'application se déplace d'un mètre dans la direction de la force.

L'énergie qui est fournie à un système durant une unité de temps pour effectuer un travail est la puissance. La puissance est exprimée en watt (W) : puissance d'un système énergétique dans lequel est transférée une énergie de 1 joule pendant une seconde. On trouve fréquemment des données d'énergie exprimées en watt heure (Wh) ou même en kilowattheure (kWh) soit 1000 Wh. Le watt heure correspond à l'énergie produite pendant une heure par un système d'une puissance de 1 watt, soit 3600 joules.

La tep correspond à une tonne de pétrole, soit 7,3 barils, équivalente approximativement à 1,5 t de charbon et 4500 kWh.

Le cheval (ch) est l'unité utilisée pour désigner la puissance des moteurs thermiques diesel ou essence : $1 \text{ ch} = 75 \text{ kg m/s} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW}$ ($1 \text{ kW} = 1,36 \text{ ch}$).

● Les grands types d'énergie

En milieu rural africain, la consommation d'énergie est dédiée à 80 % aux usages domestiques et 20 % environ aux usages agricoles : labour, irrigation, engrais, transformation.

Au début des années 80, la part des énergies traditionnelles¹ s'établissait à :

- > près de 60 % en Afrique et au sud du Sahara, et jusqu'à 80 % dans les pays les moins avancés ;
- > environ 50 % en Asie (Chine exclue) ;
- > environ 35 % en Chine ;
- > moins de 20 % en Amérique latine ;
- > de l'ordre de 13 % en Afrique du Nord et au Moyen-Orient.

Ces énergies traditionnelles servent d'abord à la cuisson des aliments mais aussi au chauffage des habitations et à de nombreuses activités artisanales ou semi-industrielles : forges, fonderie, transformation de produits agricoles, etc.

L'énergie musculaire, humaine ou animale est très largement sollicitée. En 1996, plus de 70 % des agriculteurs du tiers-monde n'employaient que des outils manuels. La traction animale permet d'améliorer la productivité du travail. Elle met en jeu des puissances plus grandes que les outils manuels : travail plus important à plus grande vitesse. Elle ne peut plus être considérée aujourd'hui seulement comme une étape intermédiaire avant la motorisation. Elle est une alternative de progrès, en relais et en complément à la culture manuelle.

L'agriculture des pays en développement pèse encore relativement peu dans la consommation des énergies modernes. Celles qui sont consommées directement ou indirectement concernent essentiellement le matériel agricole, les engrais, les pesticides, l'irrigation et la transformation. Elles représentent moins de 4,5 % de la consommation d'énergie dans de nombreux pays ACP. Mais les besoins pourraient tripler d'ici 2020.

● **La productivité comparée**

Les tableaux suivants fournissent différents temps de travaux en fonction des sources d'énergie utilisées et de la puissance mise en œuvre en fonction des travaux effectués.

¹ Bois et formes dérivées de la biomasse, déchets agricoles, charbon de bois.

Tableau 1. Temps de travaux comparés en heures/ha

Opérations culturales	Culture manuelle	Culture attelée		Culture motorisée
	1 personne	Paire de bœufs 0,5 kW 2 ou 3 personnes	Ane (lourd) 0,12 kW	11 à 13 kW 1 personne
Terres légères				
Grattage en sec (simple)	30 à 35	12	25	
Billonnage (houe manuelle ou charrue attelée)	120	12		
Billonnage (billonneur)		9		
Billonnage sur terre labourée (billonneur)		7		
Labour à plat (houe manuelle ou charrue asine 6 pouces)	200		60	
Labour à plat (charrue 10 pouces)		25-30		8,5 (1 soc)
Hersage ou passage de canadien		5	5	3 (1 m)
Semis en ligne	64	12 (1 rang)	7-10 (1 rang)	2,5 (2 rangs)
Binage	160	15	12	3 (1 m)
Soulevage de l'arachide	96	20		
Terres lourdes				
Billonnage (houe manuelle, charrue attelée, billonneur tracté en culture motorisée)	140	30		4 (2 rangs)
Labour à plat	320	40		10 (1 soc)
Hersage		15		3 (1 m)

Tableau 2. Puissances nécessaires comparées

Travail	Matériel Utilisé	Traction généralement nécessaire en condition moyenne sur terre franche	
		Traction chevaline : nombre de chevaux (1 cheval = 0,30 kW)	Traction mécanique (puissance nominale en kW)
Labour 8 à 10 cm	2 socs	2	11 à 13
	3 socs	2	
	4 socs	3	18 à 22
Labour 12 à 15 cm	1 soc	2	11 à 13
	2 socs	2 à 3	15 à 18
	3 socs		22 à 26
Labour 25 cm	1 soc	2	13 à 16
	2 socs	3	21 à 26
	3 socs		29 à 33
Hersage moyen	2,50 m	1 à 2	11 à 13
	3 m	2 à 3	16 à 18
	5 m		22 à 26
Canadiennage (10 cm de profondeur)	1,30 m ou 7 dents	2	7
	1,50 m ou 11 dents	2 à 3	9 à 11
	1,75 m ou 13 dents	3	13 à 16
Semis en ligne	2 m	2	13 à 16
	3 m	3	21 à 26
	4 m		26 à 29

● La comparaison de différentes sources d'énergie

Tableau 3. Comparaison des itinéraires techniques et des charges de culture pour la riziculture des quatre pays du PSI¹ (Mali, Mauritanie, Niger et Sénégal) en 1998

		Mali Office du Niger	Mauritanie Trarza (AGETA)	Niger Cuvettes fleuve	Sénégal Vallée du fleuve
Préparation des sols	Type	Traction animale Labour + hersage + pulvérisage	Motorisation Simple pulvérisage	Traction animale Labour + hersage	Motorisation Simple pulvérisage
	Coût ²	25 000 F	13 000 F	32 000 F	25 000 F
Mise en place de la culture	Type	Repiquage manuel	Semis direct	Repiquage manuel	Semis direct
	Dose	50 kg/ha	120 kg/ha	50 kg/ha	120 kg/ha
	Coût	12 000 F	26 000 F	10 000 F	28 000 F
Fertilisation	Dose	100 kg DAP 250 kg urée	250 kg urée	300 kg (15-15-15) 200 kg urée	100 kg DAP 200 kg urée
	Coût	70 000 F	50 000 F	110 000 F	50 000 F
Contrôle enherbement	Type	Manuel	Chimique	Manuel	Chimique
	Coût	35 000 F	40 000 F	33 000 F	35 000 F
Irrigation	Redevance	43 000 F	55 000 F	90 000 F	65 000 F
Main d'œuvre	Coûts	85 000 F	70 000 F	100 000 F	70 000 F
Frais financiers		?	?	?	15 000 F
Récolte	Récolte	Manuelle	Mécanisée	Manuelle	Mécanisée
	Battage	50 000 F	85 000 F	20 000 F	85 000 F
Total des charges		320 000 F	339 000 F	395 000 F	373 000 F
Rend¹ moyen, paddy/ha		5,0 t	4,0 t	5,0 t	4,1 t
Prix de revient/kg paddy		64 F	85 F	79 F	91 F
Prix de vente/kg paddy		120-150 F	140 F	133 F	110 F

1 PSI = Pôle Systèmes Irrigués.

2 Coûts/ha en F CFA.

L'énergie musculaire humaine ou animale est dans ce cas accompagnée d'une meilleure maîtrise des itinéraires techniques. Les exploitations en traction animale dégagent la marge au kilo la plus élevée mais sur quelques hectares seulement par exploitation alors que, suivant le niveau de puissance utilisé, on peut en motorisation travailler plusieurs dizaines d'hectares.

● Les perspectives

L'augmentation de la production agricole ne peut se faire indéfiniment par extension des surfaces cultivées. L'intensification de l'agriculture est une nécessité pour faire face à l'accroissement démographique global ainsi qu'à la croissance encore plus forte de la population urbaine dans de nombreux pays. Elle peut se faire par le développement de la motorisation, en irriguant d'avantage, par l'emploi d'engrais minéraux, mais il faut de l'énergie pour produire les engrais et pour pomper l'eau d'irrigation. L'Afrique utilise en moyenne seulement 20 kg d'engrais à l'hectare par an contre une

moyenne mondiale de 96 kg et elle n'irrigue que 6 % de ses terres cultivables contre 17 % dans l'ensemble du monde. Toute augmentation significative de ces taux d'intrants, conjuguée à une intensification de la mécanisation, aura un impact colossal sur la facture énergétique et sur les pratiques agricoles.

Mais l'intensification ne conduit pas nécessairement uniquement à l'utilisation intensive d'intrants ou de la motorisation. Il est possible de développer la traction animale, d'intensifier les soins aux plantes et aux animaux, de même que les techniques de récolte, de stockage et de transport. Ce qui implique une utilisation accrue et plus efficace d'énergie. Un meilleur entretien des éléments nutritifs du sol, un travail du sol mieux adapté, les cultures intercalaires, l'utilisation des engrais verts et biologiques, l'adoption de techniques économiques comme le semis direct ou le goutte-à-goutte pour l'irrigation et le recours aux énergies solaires et éoliennes pour le pompage sont autant de façons d'économiser l'énergie.

L'ÉNERGIE ANIMALE²

● *Les animaux de trait*

Les bovins, les chevaux, ânes et hybrides, et les dromadaires sont les principales espèces utilisées pour leur énergie dans les agricultures tropicales. L'espèce animale de trait ou de bât retenue en priorité est celle qui est disponible sur place, bien connue des utilisateurs potentiels, rustique et adaptée à la pathologie de la zone, ou celle qui présente les meilleures possibilités d'adaptation s'il est nécessaire de l'y introduire.

● *Les bovins*³

Les bovins sont des animaux rustiques et résistants qui développent une force de traction importante et présentent une bonne résistance à l'effort. Si leur allure est plus lente que celle du cheval, elle permet néanmoins un meilleur contrôle de la machine et du travail effectué. La valorisation en boucherie de la carcasse bovine en fin de carrière constitue un argument économique important dans les régions où la viande des équidés n'est pas consommée.

Les bovins d'Afrique se répartissent en deux sous-espèces, taurins et zébus, qui comportent elles-mêmes de nombreux types. Elles se distinguent morphologiquement et physiologiquement mais peuvent se métisser.

Les critères morphologiques pour apprécier les qualités de trait chez les bovins sont les suivants : conformation compacte, trapue, avec une masse musculaire développée, poitrine ample et profonde, encolure puissante, dos droit, membres puissants et courts, onglons solides. On recherche des animaux lourds puisque la force de traction est proportionnelle au poids de l'animal.

² Pour l'essentiel, ce qui suit est extrait de l'ouvrage *Agriculture africaine et traction animale*.

³ Cf. chapitre 71.

Les femelles bovines

L'utilisation des vaches au travail est relativement récente et postérieure à l'utilisation des mâles, en général castrés. Elle constitue une alternative intéressante à l'utilisation des mâles, en fournissant également du lait et en assurant la relève avec les veaux. L'utilisation des femelles bovines soulève cependant des problèmes :

- la force de traction de la vache est moins grande que celle du bœuf. Elle marche cependant plus vite ;
- les fonctions de reproduction des femelles constituent un handicap ;
- les besoins alimentaires des vaches sont globalement supérieurs à ceux des bœufs.

Ces problèmes peuvent être facilement résolus en utilisant les attelages de vaches à des travaux légers et en programmant les vêlages en intersaison. Le supplément de trésorerie induit par la vache laitière doit permettre de couvrir la complémentarité alimentaire.

● Les chevaux⁴

Les chevaux, les ânes et les hybrides constituent l'alternative la plus fréquente aux bovins. Les chevaux sont retenus pour la rapidité avec laquelle s'effectuent les travaux. Leur dressage est plus facile que celui des bœufs et les attelages plus maniables. La carrière des chevaux est plus longue⁵, ce qui favorise et valorise en même temps le dressage. Le cheval est également utilisé au transport et comme monture. Ce dernier point continue d'en faire un animal de prestige, avec lequel il est aussi très agréable, pour l'homme, de travailler. Chez les équidés, l'utilisation des deux sexes pour le travail est habituelle.

Pour les chevaux, les critères morphologiques pour apprécier un animal de trait sont les suivants : épaule courte et droite, membres puissants et droits, sabots sains et durs. On recherche également des animaux lourds.

● Les ânes et les hybrides⁶

Les ânes sont utilisés dans toute l'Afrique, ils sont très rustiques et s'accommodent de conditions d'alimentation et d'abreuvement médiocres. Ils servent surtout au transport avec des charrettes et pour le bât. Ils peuvent être utilisés aussi à des travaux légers, comme le sarclage, qui demandent de faibles efforts de traction. Néanmoins leur force de traction par rapport à leur poids est plus grande que celle des bovins et va jusqu'au quart du poids de l'animal, alors que pour les autres animaux, ce taux ne dépasse pas 12 à 13 %. Bien que les ânes soient souvent difficiles à mener ensemble, ils peuvent constituer des attelages multiples capables de développer une force de travail comparable à celle d'un attelage bovin. Dans les pays où les ânes sont nombreux, ce type d'attelage pourrait contribuer au démarrage, à moindre coût, de la traction animale pour des agriculteurs qui ne possèdent pas de bœufs.

4 Cf. chapitre 72.

5 Jusqu'à quinze ans, soit deux à trois fois celle des bœufs.

6 Cf. chapitre 72.

Les hybrides (mulets et bardots)

Ils associent la résistance de l'âne à la puissance du cheval. Leur pas, très sûr, a contribué à en faire la principale force de transport en régions montagneuses jusqu'à une époque récente en Europe. Ils sont toujours très utilisés en Afrique du Nord et en Ethiopie, mais pas du tout au sud du Sahara où les populations semblent réticentes à la monte des juments par les ânes, considérée comme contre nature.

● **Les dromadaires**

Le dromadaire est normalement utilisé comme animal de bât et de monte dans toute sa zone de répartition : Afrique saharienne et sahélienne, Afrique du Nord, Moyen-Orient et nord de l'Inde. Il procure aux nomades qui l'élevèrent le lait, la viande égale à celle des bovins et les poils utilisés pour le tissage. Il se contente de ressources fourragères qui ne pourraient convenir aux autres herbivores. Outre son aptitude aux travaux culturels, le dromadaire est le plus souvent utilisé pour l'exhaure de l'eau et pour actionner les moulins.

● ***Les formes d'utilisation de la traction animale***

● **Le transport**

Il ne peut y avoir de développement sans transport. Le transport des personnes et des produits est de loin l'activité la plus importante de toute exploitation agricole. Il est quotidien et se fait en toute saison, à l'intérieur des agglomérations et surtout à leur périphérie et dans les zones rurales agricoles. En Afrique subsaharienne, les transports concernent par ordre d'importance :

- > l'acheminement quotidien des produits pour les usages domestiques, surtout l'eau et le bois ;
- > les travaux des champs, activité saisonnière avec transport des petits matériels, des semences et convoyage des récoltes vers les greniers ;
- > le transport des produits de rente vers les centres de collecte ;
- > les déplacements à caractère social.

● **Le portage**

Le déplacement à dos d'âne, mais aussi à dos de cheval ou de dromadaire, est courant en zone méditerranéenne, sahélienne et subsaharienne. L'âne est de loin le plus utilisé, sans aucun harnachement (vitesse de 5 à 8 km/h). Le bœuf est parfois employé mais le cheval et le dromadaire sont des moyens de déplacement beaucoup plus nobles. Ils sont harnachés et équipés de selles, spécifiques à chaque espèce, fabriquées localement.

● Le traîneau

Les traîneaux peuvent être de conception rudimentaire : par exemple, deux bois de 150 mm de diamètre reliés entre eux pour former un V, ou simplement une branche en forme de fourche.

Plus étroits que les charrettes, avec un centre de gravité très bas, les traîneaux sont avantageux pour la descente de terrains en pente ou peu portants (sableux ou argileux humides) et pour le transport hors piste.

● La charrette

Le transport par charrette à roues prend de plus en plus d'importance. Il n'est pas réservé aux seuls travaux agricoles. Il sert aussi aux artisans et petits commerçants, acheminant des matériaux en tous genres tels que bois, eau, briques et produits alimentaires vers les villages et les marchés.

La charrette est le matériel de base de la mécanisation en zone rurale. Son emploi doit être considéré comme une action prioritaire pour le démarrage et le développement de la mécanisation du travail agricole en traction animale, en raison de l'importance des besoins de transport en zone rurale et périurbaine et de leur croissance avec l'augmentation de la production.

La classification des charrettes se fait d'après la charge utile (CU), celle que peut supporter une charrette sans déformation ni rupture, en tous terrains.

Tableau 4. Caractéristiques de deux types de charrette de grande diffusion

Charge utile (kg)	Poids à vide (kg)	Dimensions du plateau	Dispositif d'attelage (moyenne)
500	100 à 140 (1m x 2 x 1,20)	Surface : 2 à 2,5 m ²	Limonière (1 animal)
1 000	150 à 200 (1m x 2,3 x 1,50)	Surface : 3 à 3,5 m ²	Timon (2 animaux)

À vide, le timon ou les brancards doivent s'appuyer légèrement sur le joug ou la dossière de l'animal. Il est nécessaire de veiller à l'équilibrage du chargement pour donner aux animaux leurs meilleures possibilités de travail. La charge ne doit jamais être excessive au niveau du joug. À l'opposé, le déséquilibre vers l'arrière est nuisible.

La roue en bois avec cerclage en fer, utilisée notamment en Afrique du Nord, en Egypte et à Madagascar, équipait autrefois tous les chariots avant l'emploi des pneumatiques.

Les roues métalliques sont en voie d'abandon, essentiellement à cause de problèmes de qualité de matériaux et de fabrication. Elles présentaient un avantage certain dans les zones où abondent les épineux.

La charrette à deux roues à pneumatiques

C'est le matériel qui répond le mieux à la diversité des besoins et des situations :

- elle s'adapte à toute forme d'attelage : bovins, équins, asins ;
- elle exige un effort de traction minimal (les roues à pneumatiques ont un meilleur coefficient de roulement que les autres types de roues) ;
- elle offre une grande surface du plateau de chargement ;
- le chargement et le déchargement sont aisés, grâce à une faible garde au sol ;
- le pneu à chambre à air assure une grande souplesse de roulement ;
- les réparations des crevaisons sont relativement simples avec un outillage adéquat.

● Les travaux agricoles en traction animale

● *Le travail du sol en culture sèche*

Le choix d'une technique de travail du sol dépend de nombreux facteurs, en particulier du type de sol, de l'état d'humidité du terrain et du mode de culture pratiqué (cf. chapitre 432).

Le travail du sol en culture sèche a pour objectif :

- > d'ameublir le sol pour permettre une bonne circulation de l'eau et de l'air en profondeur et favoriser le développement des racines, permettre l'infiltration des pluies en surface et assurer des conditions de germination et de levée satisfaisantes ;
- > de lutter contre les mauvaises herbes en arrachant ou en enfouissant les herbes développées, et en favorisant la levée de ces mêmes mauvaises herbes pour les détruire ensuite et diminuer ainsi le stock de graines ;
- > d'enfouir et mélanger à la terre des apports fertilisants, organiques et minéraux, et des amendements.

En régions semi-arides, le travail du sol est soumis à une forte contrainte : la réalisation de semis précoces. D'autant plus impérative que la pluviométrie est réduite, cette contrainte conduit souvent à une préparation du sol minimale exécutée rapidement. C'est ainsi qu'on observe deux modes de préparation en culture sèche, avec ou sans retournement du sol.

Les préparations sans retournement du sol

L'intérêt essentiel des préparations du sol sans retournement est la rapidité d'exécution qui permet un semis précoce. Ces préparations, dites superficielles, sont des techniques d'ameublissement du sol à faible profondeur, n'excédant en général pas 8 à 10 cm, par éclatement des couches superficielles, brassage de la terre disloquée en mottes de différentes tailles, avec mélange des résidus végétaux.

Ces techniques, à l'opposé du labour, nécessitent en général plusieurs passages successifs de matériels dits de pseudo-labour pour parvenir à un ameublissement suffisant et à un lit de semences correct, jusqu'à la germination des graines et au développement des jeunes plantes cultivées. Elles n'assurent pas l'enfouissement de la matière organique et des débris végétaux, mais provoquent plutôt un malaxage de la couche superficielle. Le travail réalisé offre alors généralement moins de prise à l'érosion.

Le labour

Le labour, réalisé au moyen d'une charrue, consiste à retourner les couches superficielles du sol en enfouissant les résidus végétaux, en détruisant les adventices et en ameublissant les blocs de terre à plus ou moins grande profondeur. Il soumet un certain volume de terre à l'action des agents atmosphériques (air, pluie, rayonnement solaire) et permet aussi d'enfouir les herbes, les débris végétaux, les engrais et les amendements. Enfin, les racines ou rhizomes de mauvaises herbes (*Imperata*, riz rouge...) sont détruits en surface par dessiccation.

Le labour est caractérisé par la profondeur de travail, maîtrisable mais limitée par les caractéristiques du matériel et surtout par la puissance des attelages. Ainsi, on peut distinguer :

- > les labours légers de moins de 10 cm de profondeur, réalisables en traction asine ;
- > les labours moyens jusqu'à 15 cm de profondeur ;
- > les labours profonds de plus de 20 ou 25 cm de profondeur, réalisables en traction bovine.

Le labour est un travail important et pénible, qui doit être exécuté rapidement pour ne pas retarder la mise en culture. Le retournement du sol donne une surface plus ou moins chaotique et motteuse qui doit être affinée à l'aide d'un autre outil, la herse, pour obtenir un bon lit de semence.

Le travail de retournement et d'ameublissement peut conduire à une évaporation de surface accrue et à une plus faible minéralisation de l'humus, limitant ainsi les matières minérales absorbables par la plante. Le labour n'est pas recommandé dans les zones arides ou semi-arides.

La charrue à soc et versoir est le matériel le plus utilisé pour la préparation du sol par retournement dans beaucoup de régions tempérées et tropicales. En culture attelée, on rencontre deux grands types de charrues : la charrue simple et la charrue réversible.

La préparation du sol nécessite un effort important et soutenu à une période de l'année difficile pour les animaux du point de vue alimentaire. C'est souvent aussi la période de dressage ou de reprise en main des animaux. La puissance des attelages est donc réduite, ainsi que leur endurance.

Un temps de travail variable

Il est fonction de nombreux facteurs :

- la nature du sol, son état d'humidité, d'enherbement, et la fréquence des obstacles ;
- la nature et la puissance des attelages (docilité, robustesse, vitesse) ;
- le type et l'état du matériel (état d'usure des pièces travaillantes, déformation, grippage d'éléments de réglage) ;
- la qualité des réglages dont la largeur de travail, fréquemment supérieure à la capacité du matériel, laissant des parties non travaillées, et la profondeur, souvent inférieure à celle préconisée.

● **Le travail du sol en culture irriguée**

Il concerne essentiellement la culture du riz. L'irrigation revêt des formes nombreuses, qui se distinguent par une maîtrise de l'eau plus ou moins poussée et une inondation de durée variable, selon les régions et le type d'aménagement. La préparation des sols en rizière dépend du degré de maîtrise de l'eau et du mode d'implantation choisi.

Pour choisir des outils, il importe de bien préciser les objectifs du travail du sol. Ceux-ci peuvent être très différents selon les options prises pour l'implantation de la culture.

● **Les semis, plantations et épandages**

Qu'il s'agisse d'épandre des produits ou d'implanter une culture, les choix techniques sont très largement dépendants des techniques de travail du sol mises en œuvre et de leur qualité. La mécanisation en traction animale des semis ou plantations permet une répartition régulière des semences ou des plants difficile à obtenir manuellement.

● **Les travaux d'entretien des cultures et de récolte**

Les cultures en place doivent être maintenues dans des conditions favorables, en limitant la compétition avec les adventices et en luttant contre les parasites et les maladies. La traction animale, en autorisant des interventions rapides, accroît nettement l'efficacité de ces opérations et diminue leur pénibilité. Elle facilite et accélère aussi les opérations de récolte et permet ainsi de diminuer les pertes.

Le sarclage et le binage

Ce sont les formes d'entretien des cultures les plus pratiquées :

- l'opération de binage, en brisant la croûte superficielle du sol, favorise l'infiltration des pluies et limite l'évaporation à la surface du sol ;
- l'opération de sarclage consiste essentiellement à sectionner les adventices dans le sol à faible profondeur au moyen de pièces travaillantes tranchantes.

Les deux opérations sont souvent combinées, avec le passage d'un outil de sarclo-binage assurant l'ameublissement du sol et le déracinement des adventices.

Le buttage des cultures à plat associe le désherbage à l'apport de terre à la base des plantes. Le passage du butteur nécessite un effort de traction plus important que la houe de sarclo-binage.

Bien qu'il existe des pulvérisateurs à traction animale, les agriculteurs africains les utilisent peu, au profit d'appareils actionnés soit manuellement (pulvérisateur, poudreuse), soit par un petit moteur auxiliaire (atomiseur, appareil ULV).

Hormis pour le soulèvement de l'arachide, l'utilisation de la traction animale au moment des récoltes se limite le plus souvent au transport des produits agricoles.

● Les problèmes d'utilisation de la traction animale

Choisir un animal est un acte important qui doit être mûrement réfléchi. Mais il est clair que la décision est souvent guidée par des facteurs externes que l'utilisateur ne maîtrise pas : disponibilités locales, contraintes sanitaires, moyens financiers ou contexte socioculturel. Une fois effectués les choix de l'espèce, de la race et du sexe, il faut créer les conditions d'une bonne utilisation des animaux : logement, alimentation, suivi sanitaire et carrière des animaux. Les éléments présentés ici sont complémentaires de ceux figurant dans la partie consacrée aux principales espèces animales.

● Le logement

Le logement doit se situer à proximité du lieu de résidence, de façon à permettre un contact permanent entre l'animal et l'utilisateur. Le logement le plus simple est un enclos de stabulation, où les bêtes restent à disposition de l'homme et où il peut leur apporter alimentation et abreuvement. Il est nécessaire d'y installer au moins des piquets pour attacher les animaux ou mieux, une stalle, couloir de contention où l'animal sera bloqué sur les flancs afin de pouvoir subir des traitements sanitaires.

C'est aussi une aire de repos, qui doit comporter un abri contre les intempéries et le soleil. Enfin, c'est le lieu de concentration des déjections des animaux et il doit, pour cette raison, permettre une récupération du fumier et pouvoir être facilement désinfecté.

Dans un parc, l'abri n'est souvent représenté que par l'ombrage d'un groupe d'arbres. L'étable simple à toit de chaume n'est qu'une version améliorée de cet abri primitif. L'étable fumière est plus élaborée.

● L'alimentation

Raisonnement l'alimentation permet d'avoir des animaux de trait en bon état au début de la période de travail et de conserver cet état durant les travaux. Il est important de leur faire passer les périodes critiques dans de bonnes conditions. Les quantités d'aliments à distribuer doivent être calculées en fonction de la ou des productions demandées : travail, travail + viande, travail + lait.

La consommation en eau est fonction des conditions climatiques, de la ration ingérée⁷ et des productions : énergie mécanique dans le cas du travail, lait pour la vache, croissance pour le jeune.

L'organisation de l'affouragement des animaux de trait est une contrainte majeure pour l'exploitant en traction animale. L'agriculteur cherche à éviter une surcharge de travail pour l'alimentation de ses animaux. Le schéma le plus économe en temps consiste à permettre à l'animal de trouver le fourrage dont il a besoin, en s'assurant que ce fourrage est disponible en quantité suffisante et que sa qualité répond aux besoins nutritionnels. Lorsque cela est nécessaire, l'agriculteur procure les aliments que l'animal ne peut trouver seul, notamment les compléments riches.

Il n'existe pas d'organisation *standard* de l'affouragement. L'exploitant est seul en mesure de juger la part d'investissement en temps et en argent qu'il veut y consacrer. En revanche, il ne faut pas oublier qu'il y a avantage à tirer le meilleur parti des ressources peu onéreuses, et à savoir gérer ces ressources.

⁷ Principalement de la quantité de matière sèche consommée.

Prendre en compte plusieurs contraintes

L'organisation de l'affouragement doit tenir compte de contraintes parfois contradictoires, liées à la disponibilité en main d'œuvre de l'exploitation ou à la gestion de l'animal. Il faut :

- limiter les déplacements de l'animal (parcage, attache) pour éviter les dégâts aux cultures et avoir l'animal à disposition en temps voulu ;
- limiter la charge de travail liée à l'affouragement, en laissant l'animal rechercher lui-même sa ration ;
- assurer une alimentation et un abreuvement adéquat, notamment au moment de la mise en condition avant et pendant les périodes de travail.

La culture attelée et l'utilisation de l'énergie animale pour diverses autres tâches d'intérêt agricole représentent une forme d'intégration des animaux dans l'organisation de la production agricole. Elle s'accompagne fréquemment de l'utilisation des sous-produits, voire des produits agricoles comme ressources fourragères, de l'utilisation du fumier pour la fertilisation et parfois de l'introduction de cultures fourragères qui contribuent au maintien de la fertilité des sols.

● Le suivi sanitaire

Il n'existe pas de pathologie spécifique aux animaux de trait. Cependant, une utilisation intense peut les prédisposer à des troubles rencontrés à un moindre degré chez les autres animaux. C'est notamment le cas des plaies cutanées et des lésions des articulations ou des membres, fréquentes chez les animaux de trait et particulièrement chez les chevaux. Cette pathologie est généralement d'origine accidentelle.

Le surmenage et l'utilisation excessive des animaux dans des conditions difficiles, travaillant plusieurs heures sans boire ni manger, constituent les principales causes d'accidents ou de mort. Par ailleurs, certaines maladies ont des conséquences plus graves sur les animaux de trait, car elles les empêchent de travailler⁸. Enfin, la fatigue induite par le travail peut réactiver des maladies plus ou moins latentes ou en exacerber les symptômes⁹.

Les animaux de trait se différencient des animaux en élevage extensif ou même semi-intensif : il s'agit d'animaux de valeur, parfaitement identifiés dont chaque agriculteur ne possède le plus souvent qu'un ou deux exemplaires. Il ne faut donc pas envisager une médecine vétérinaire de masse, mais une médecine de type individuel.

Prévenir avant de guérir

La prévention par l'hygiène est possible grâce aux relations de compagnonnage qui s'établissent entre l'agriculteur et l'animal. L'adoption de règles élémentaires d'hygiène est d'autant plus facile que la conséquence immédiate de la plupart des troubles de santé est l'impossibilité d'utiliser l'animal. Pour maintenir un état sanitaire satisfaisant, il importe donc plus avec les animaux de trait de veiller au respect des règles élémentaires d'hygiène et de travail plutôt que de les soigner, souvent trop tard.

⁸ Dermatophilose par exemple.

⁹ Cas des trypanosomoses.

● La carrière des animaux de trait

La durée d'utilisation des bovins de trait est variable. Elle est bien sûr fonction du mode d'utilisation des animaux, mais aussi des conditions de marché fixant le prix d'achat des jeunes bovins et le prix de vente des bœufs de réforme. Par exemple, une forte demande d'animaux pour le trait, liée à une faiblesse locale du cheptel source, aura tendance à gonfler le prix d'achat des jeunes bovins à dresser. Les propriétaires d'attelage cherchent alors à rentabiliser leur attelage sur une période de huit à dix ans. À l'inverse, une forte demande sur le marché de la viande et une bonne rémunération de la qualité bouchère des carcasses favorise une réforme précoce des bœufs, après une utilisation pour le travail de deux à trois ans. Une réforme précoce peut aussi être une stratégie destinée à limiter les risques de mortalité prématurée dans des conditions pathologiques ou alimentaires difficiles.

En n'utilisant l'animal que sur une période courte¹⁰, on perd, du point de vue du travail, le bénéfice de la *pleine force de l'âge* de l'animal. D'où une difficulté à effectuer les travaux lourds et des répercussions possibles sur les rendements des cultures. À l'inverse, l'utilisation des bœufs de trait sur une période longue (huit à dix ans) permet à l'éleveur de disposer d'un animal lourd, bien connu et bien dressé. Cependant, elle l'expose à des risques croissants d'accidents de carrière, parfois fatals. En outre, la mise sur le marché d'un animal vieux, voire épuisé, rapporte moins que la vente d'un bœuf de quatre à cinq ans.

La durée d'utilisation des animaux de trait relève donc d'un compromis entre divers paramètres, parmi lesquels les conditions de marché jouent un rôle clé.

● Le matériel

La disponibilité locale d'équipements et de pièces détachées est indispensable au développement de la mécanisation agricole en traction animale.

Dans de nombreux pays, la fabrication industrielle d'équipements agricoles a été confrontée à de sérieuses difficultés. Cependant, les usines restent encore des partenaires privilégiés pour des commandes importantes, pour des négociations à l'importation et pour des travaux délicats d'usinage ou de traitement des métaux.

La fabrication artisanale par les forgerons est en plein essor malgré ses contraintes. La matière première est souvent constituée de ferrailles de récupération et, de ce fait, la qualité est inférieure à celle des produits importés. Les forgerons, en s'associant, peuvent acheter des matières premières de qualité et fabriquer des matériels en séries relativement importantes. L'avenir de la mécanisation en traction animale dépend fortement des réseaux de forgerons, qui diffusent les matériels et assurent leur maintenance. Ils peuvent être appuyés notamment grâce à une politique de crédit à l'équipement.

¹⁰ Deux à trois saisons pour une réforme à cinq ou six ans.

LA MOTORISATION¹¹

● Ses principaux usages

La motorisation agricole englobe tout ce qui concerne l'emploi des moteurs pour effectuer les travaux agricoles :

- > les tracteurs avec leurs équipements et les automoteurs ;
- > les motoculteurs et autres engins spécialisés ;
- > les moteurs pour entraîner les machines utilisées à poste fixe ou portées à dos d'homme.

En 1997, plus de 80 % des 26 millions de tracteurs agricoles sont utilisés en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. L'Afrique et l'Amérique du Sud n'en comptent que 1,8 million (6 %).

Tableau 5 : Evolution du nombre de tracteurs utilisés dans le monde (en milliers)

	1974-1976	1980	1985	1990	1997
Total mondial	18 768	21 742	24 504	26 562	26 335
Europe	7 198	8 465	9 374	10 398	11 198
Amérique du Nord	5 936	5 621	5 600	5 814	5 807
Asie	1 895	3 550	4 657	5 614	6 635
Ex-URSS	2 333	2 562	2 798	2 666	
Amérique du Sud	575	660	1 156	1 125	1 291
Afrique	402	455	509	545	557
Océanie	429	429	410	400	401

Source : FAO Yearbook, 1975 vol 29, 1980 vol 34, 1985 vol 39, 1990 vol 44, 1998.

En Afrique les tracteurs, à deux ou quatre roues motrices, sont essentiellement des modèles standards importés, parfois assemblés, mais rarement conçus localement. Leur nombre a plus que doublé en Afrique du Nord en vingt ans. Leurs effectifs augmentent peu en Afrique subsaharienne et diminuent en Afrique du Sud. Les tracteurs dits *de motorisation intermédiaire*, de faible puissance (25 à 30 ch), sont peu répandus. Environ 1 400 unités sont utilisées essentiellement en Côte d'Ivoire, au Burkina, au Cameroun et au Mali.

Les machines de récolte automotrices utilisées en Afrique sont principalement des moissonneuses-batteuses, dont 90 % sont utilisées en Afrique du Nord et en Afrique du Sud.

Les motoculteurs, peu utilisés dans les pays africains, ne sont pas pris en compte dans ces statistiques. Par contre, l'emploi de moteurs sur des machines utilisées à poste fixe ou portées à dos d'homme est très développé. Leur utilisation est facilitée par la diffusion de cellules autonomes, compactes et légères, faciles à déplacer tant pour les travaux au champ (irrigation, traitement) qu'en bordure de champ après la récolte (battage, triage, vannage, broyage). Le nombre de moteurs ainsi utilisé est nettement supérieur au nombre de tracteurs. À titre d'exemple, au Sénégal, il y a environ

¹¹ Extraits du manuel : *la motorisation des cultures tropicales*.

500 tracteurs et plus de 5 000 moteurs utilisés à poste fixe pour le pompage, le battage, le décorticage et la mouture.

En agriculture, le concept de motorisation dépasse donc le cadre strict de l'emploi des tracteurs et autres machines automotrices pour s'appliquer à tout ce qui touche à l'utilisation des moteurs comme source d'énergie pour réaliser des travaux. En Afrique subsaharienne, la motorisation concerne, à des degrés variables, les travaux de défrichage et d'aménagement des terres ; les travaux culturels, de récolte, de post-récolte ; les apports en eau, en éléments fertilisants et en produits de traitement et les transports.

La motorisation des travaux culturels concerne principalement le travail du sol. Les autres façons culturales sont réalisées manuellement et en traction animale. La combinaison d'opérations mécanisées et manuelles, ainsi que l'utilisation à poste fixe de quelques matériels spécifiques comme les batteuses à mil, les égreneuses à maïs ou les décortiqueurs à riz est originale. Pour les transformations post-récolte, les installations industrielles traitent surtout les produits destinés à l'exportation. Les unités artisanales ou semi-industrielles sont beaucoup plus adaptées aux besoins des marchés locaux.

● ***Les critères de choix d'un équipement motorisé***

● **Les critères généraux**

À l'échelle d'un pays, la motorisation agricole pose des problèmes qui dépassent largement le cadre du choix technique et du coût des équipements. Il s'agit de choisir les formules les plus appropriées pour atteindre des objectifs de développement économique. Il faut prendre en compte l'environnement dans lequel sera utilisée cette motorisation, évaluer l'intérêt de son introduction, étudier les conditions de sa mise en œuvre et proposer les niveaux de puissance et les équipements les plus adaptés. Plusieurs éléments déterminent le type de mécanisation à adopter et son développement : la demande de produits agricoles, l'offre et le coût de la main-d'œuvre, le volume et le coût des capitaux disponibles et le coût d'exploitation des machines. Il est fréquent que l'option retenue combine l'utilisation de divers niveaux de mécanisation.

Comment, dans un contexte déterminé, choisir une solution motorisée adaptée à l'environnement économique et social, permettant de satisfaire les exigences de production, de superficies à mettre en culture, de calendriers culturels, du parcellaire, des variétés cultivées et des conditions de transformation post-récolte ? Globalement, les choix techniques s'articulent autour de deux axes : les niveaux de puissance et le type de motorisation. La recherche d'économies d'échelle favorisait autrefois le choix de gros matériels que seules les grandes exploitations pouvaient acquérir. Actuellement, grâce aux innovations techniques et aux possibilités de location, la motorisation peut aussi s'appliquer aux petites exploitations, soit partiellement pour une opération culturale, soit pour la majorité des opérations.

● Les critères techniques

En fonction des conditions d'utilisation des équipements habituellement rencontrées, quatre catégories de puissance sont arbitrairement retenues : moins de 30 ch, de 30 à 60 ch, de 60 à 90 ch et plus de 90 ch.

● **Les tracteurs, les motoculteurs et les automoteurs de moins de 30 ch (22 kW)**

Ils correspondent à la motorisation employée en riziculture en Asie. Ils n'existent plus dans les pays développés que pour les matériels d'espaces verts, de maraîchage et de viticulture. Dans la zone cotonnière d'Afrique francophone, des tentatives ont été faites avec des tracteurs de faible puissance.

● **Les tracteurs de 30 à 60 ch (22 à 44 kW)**

Ce sont généralement des tracteurs à deux roues motrices employés dans les pays développés pour les travaux peu exigeants en puissance : semis, épandages d'engrais, traitements... Ils disparaissent de plus en plus. Dans les pays en développement, ces tracteurs servent habituellement au transport.

● **Les tracteurs et automoteurs de 60 à 90 ch (44 à 66 kW)**

Ce sont les mieux représentés dans les exploitations moyennes des pays industrialisés. Les modèles à quatre roues motrices sont désormais les plus nombreux. Dans les pays en développement, ils sont la propriété d'entrepreneurs de travaux agricoles et de certaines grandes exploitations. Ils réalisent les travaux du sol et parfois les transports quand des remorques adaptées existent. Les automoteurs sont des moissonneuses-batteuses, des pulvérisateurs, des récolteuses à maïs... Seules les moissonneuses-batteuses sont utilisées de façon significative dans les pays en développement.

● **Les tracteurs de plus de 90 ch (66 kW)**

Ils sont répandus dans les entreprises de travaux agricoles des pays industrialisés et dans les grandes exploitations. Dans les pays en développement, ils appartiennent à quelques grosses entreprises de travaux agricoles et aux agro-industries. Ils servent principalement aux travaux d'aménagement, aux travaux du sol et aux transports. Les automoteurs sont des moissonneuses-batteuses ou des récolteuses-chargeuses, par exemple pour la canne à sucre.

Chaque fois que c'est possible, on a intérêt à utiliser des équipements que l'on peut adapter aux conditions de travail, par exemple en faisant varier la largeur de travail de certains outils, en passant de trois à deux socs sur une charrue ou de six à quatre éléments sur un semoir. Pour utiliser un même matériel avec des tracteurs différents, les systèmes d'attelage et les vitesses de prise de force doivent être compatibles. Il ne faut pas oublier de tenir compte de la capacité du relevage, c'est-à-dire du poids maximum autorisé. Il faut rechercher des prises de force normalisées, c'est-à-dire s'assurer de leur position (haute ou basse), des dimensions et de la vitesse de rotation.

Les matériels doivent être livrés montés et en état de marche, avec les livrets de conduite et d'entretien, ce qui permettra de s'assurer de leur bon fonctionnement. Une démonstration peut être souhaitable pour une prise en main plus rapide et pour une meilleure maîtrise des réglages, surtout dans le cas d'une première introduction.

Des critères particuliers importants

Dans une chaîne d'équipements, les matériels doivent avoir une largeur de travail compatible avec celle des autres machines. C'est le cas d'une bineuse-sarclouse utilisée après un semis en ligne. Avec un semoir de six rangs, la bineuse devra permettre de travailler en un seul passage six, trois, deux ou un rangs, c'est à dire un nombre de rangs égal au nombre de rangs semés au semoir ou un sous-multiple. Il faut également choisir des matériels travaillant sur une largeur au moins égale à celle du tracteur pour éviter de rouler sur un sol déjà travaillé.

Avec les grandes puissances et pour les matériels exigeant technicité et précision, tels que les semoirs en ligne et les bineuses, il est parfois plus intéressant de limiter le nombre de rangs et d'augmenter la vitesse plutôt que de prévoir une largeur plus grande à vitesse réduite. Dans certains chantiers, il est même parfois indiqué d'employer un tracteur moins puissant. C'est pourquoi les capacités théoriques de chaque chaîne de mécanisation doivent être adaptées aux conditions locales.

Il faut enfin être particulièrement prudent avec les matériels dont l'utilisation inconsidérée risque d'augmenter les phénomènes érosifs, tels les cultivateurs.

● **Les problèmes d'utilisation**

● **L'environnement de la motorisation**

● **L'approvisionnement**

Les possibilités d'approvisionnement en équipements varient énormément suivant les pays. Rares sont ceux disposant d'unités de fabrication industrielle. Quelques-uns possèdent des unités de montage ou d'assemblage pour un nombre restreint de matériels. Les pays africains sont donc fortement dépendant des conditions d'approvisionnement en machines et en pièces détachées : problèmes de devises, de délais d'acheminement, de disparité des marques et des modèles. Le marché de l'occasion, issu du parc de réforme des matériels des pays industrialisés, offre de nouvelles perspectives. Mais les circuits ne sont pas encore très organisés et ne permettent pas, le plus souvent, de contrôle de qualité.

● **Les infrastructures**

Les infrastructures d'entretien et de réparation s'organisent assez rapidement aux abords des grands centres urbains et commerciaux, mais restent quasi inexistantes dans les zones rurales éloignées. La maintenance est fortement pénalisée par l'impossibilité de s'approvisionner rapidement en pièces détachées d'usure courante qui sont importées à la demande. Elle est rendue difficile par le manque d'infrastructures techniques de qualité pour les réparations et les contrôles et par la rareté ou le manque de compétence des mécaniciens. Ces derniers sont souvent contraints de procéder à du bricolage avec du matériel de récupération.

● **Les moyens financiers**

La motorisation coûte relativement cher à l'achat et en fonctionnement. Le recours aux emprunts est fréquent. Des mesures d'accompagnement en matière de fiscalité et de crédit favorisent l'introduction des équipements. Dans certaines situations, les producteurs sont contraints de réaliser des prestations de service pour obtenir les liquidités nécessaires au fonctionnement.

● La compétence du personnel

La compétence du personnel chargé d'utiliser et de gérer des matériels aussi coûteux est impérative et ce facteur est trop souvent négligé. Pour les utilisateurs, la formation s'opère le plus souvent *sur le tas* par approche progressive. Trop souvent cette formation insuffisante se traduit par une mauvaise utilisation pénalisant la qualité du travail ou du produit, le rendement et la durée de vie de la machine, ce qui génère un coût de fonctionnement exagérément élevé et une diminution des recettes.

Des compétences variées et complémentaires

Les compétences sont différentes pour les mécaniciens, les chauffeurs et les responsables et elles doivent se compléter. Les mécaniciens, chargés de l'entretien et des réparations, doivent posséder un minimum de notions sur les conditions d'utilisation et les différents réglages des machines pour en assurer le bon fonctionnement. Les chauffeurs doivent connaître la conduite de leur machine avec leurs matériels d'accompagnement ainsi que tous les réglages et les entretiens courants.

Les responsables, qu'ils soient propriétaires, présidents ou gestionnaires d'organisations paysannes, doivent avoir des notions sur la conduite et l'entretien des matériels pour être en mesure de dialoguer avec les chauffeurs et les réparateurs. Ils doivent aussi posséder un minimum de connaissances sur les conditions d'intervention pour apprécier, contrôler et faire rectifier les réglages permettant d'améliorer la qualité du travail et la rentabilité de la machine. Généralement on se préoccupe peu des responsables dans les programmes de formation technique, alors que ce sont souvent eux qui décident de la nécessité ou non d'effectuer des entretiens. Ceci suppose l'organisation de formations pratiques dans les conditions d'utilisation des matériels.

En regard des sommes importantes engagées, les responsables doivent avoir une formation en gestion¹², en programmation et organisation des chantiers¹³. Ces besoins ont été renforcés par le désengagement des États et l'acquisition de matériels par des paysans et des entrepreneurs mais il existe encore peu de programmes de formation appropriés. Ces compétences en programmation et organisation des chantiers sont indispensables pour avoir une bonne maîtrise technique de la motorisation, préalable indispensable à la maîtrise économique.

● Les conditions d'utilisation de la motorisation

Le défrichage et l'essouchage sont indispensables pour l'utilisation des tracteurs. Contrairement à la traction animale, les tracteurs ne peuvent se satisfaire d'un essouchage partiel, sous peine de détérioration rapide des matériels. C'est pourquoi l'utilisation du tracteur concerne principalement les savanes herbeuses, les fonds de vallée et les plaines inondables dépourvues de souches.

La motorisation permet généralement d'augmenter de façon importante la productivité du travail. Elle répond à des besoins d'augmentation de la production ou des surfaces cultivées, de remplacement ou de complément d'une main d'oeuvre insuffisante, non disponible ou plus chère. L'avantage attendu de l'utilisation de nouvelles machines est alors de réduire le coût de production en substituant la nouvelle technique à la main d'oeuvre, à des animaux de trait ou à de vieilles machines.

Selon la Banque mondiale, les principaux facteurs qui influent sur l'utilisation de tracteurs sont l'intensification de l'agriculture, souvent associée à une extension des superficies irriguées, la croissance des capitaux disponibles et l'amélioration des routes. Les

¹² Crédit, comptabilité, facturation, calculs de coûts.

¹³ Choix des clients, contrats, connaissances des performances.

conditions favorables à l'utilisation de la motorisation évoluent parfois très rapidement. Dans le conseil en équipement, il faut donc tenir compte des perspectives d'évolution, au moins sur les durées prévisibles d'amortissement.

Les différents cas de motorisation d'opérations culturales sont les suivants :

- > simple substitution de la machine à la main-d'oeuvre sans changement de technique ;
- > emploi d'une machine nécessitant un changement de technique (récolte de l'arachide par exemple) ;
- > emploi d'une chaîne de machines interdépendantes utilisées pour des opérations culturales différentes comme le semis, l'entretien et la récolte à écartement constant entre rangs. Motoriser une succession de travaux agricoles signifie que le choix d'un type de motorisation pour une opération donnée est lié à l'ensemble des opérations mécanisées. Cela implique d'une part l'utilisation d'équipements adaptés au type et à la puissance de la cellule motrice et d'autre part la nécessité d'exécuter les opérations avec méthode et avec du matériel approprié.

● Le contexte socio-économique

Les choix adaptés techniquement doivent être rentables. Trois éléments économiques sont fondamentaux : la valeur marchande des produits, le coût des opérations motorisées et celui de la main d'oeuvre. En général, la motorisation se développe avec les hausses du coût de la main-d'oeuvre. Mais il est nécessaire que le prix de vente de la production soit suffisamment élevé pour favoriser l'investissement et couvrir les différentes charges d'exploitation.

La diffusion de la motorisation, freinée généralement dans les pays en développement par la faiblesse des revenus des exploitants, doit viser la réduction des coûts de production et l'amélioration de la productivité du travail. Localement, les résultats économiques de la culture dépendent fortement des contraintes pesant sur la productivité de la terre, du travail et des plantes.

Les modes d'accès à la motorisation sont variés. En petite motorisation, le matériel appartient en général à l'exploitant, mais il peut être aussi emprunté ou loué. La motorisation de la transformation des produits existe en milieu rural. Mais la majorité des équipements se trouvent dans les centres urbains et sont la propriété de fonctionnaires, de commerçants ou de salariés. En motorisation conventionnelle, le matériel appartient soit à des particuliers, paysans, soit à des collectivités ou des entreprises.

L'utilisation en commun des matériels agricoles

L'utilisation individuelle pour les besoins propres de l'exploitation s'était développée sur les fermes d'Etat créées par certains pays dans les années soixante. À la même époque, des organismes publics ou parapublics de motorisation ont été mis en place pour réaliser des travaux à façon chez les paysans. Avec le désengagement des Etats, ces fermes et ces organismes publics et parapublics ont abandonné la motorisation. Les matériels ont été acquis par des privés qui les utilisent sur leur propre exploitation et pour des prestations de service chez les petits paysans.

De nombreux projets d'utilisation en commun de matériels, de type CUMA (coopérative d'utilisation de matériel agricole), appelés suivant les zones groupements mécanisés ou groupements d'intérêts économiques, ont été favorisés. Bien que ces projets n'aient pas eu le développement attendu, l'utilisation en commun de matériels agricoles peut s'avérer intéressante dans certaines situations.

● L'économie de la motorisation

Pour une même opération, des modèles très différents de machines existent à des prix extrêmement variables. Leur utilisation nécessite des modes d'organisation spécifiques des chantiers, tenant compte des performances.

Le cas du battage des céréales

Une batteuse à pédale coûte 300 euros, un modèle à moteur 6 000 euros et une moissonneuse-batteuse 75 000 euros. Les rapports de prix s'étalent de un à deux cent cinquante.

Si une batteuse à pédale peut être acquise par un paysan sur une exploitation de 2 à 3 ha, une batteuse à moteur et une moissonneuse-batteuse ne sont accessibles qu'à des groupements de paysans et à des privés, à condition que des mesures d'accompagnement existent : crédit agricole, aides à l'équipement...

Le choix d'un matériel doit pouvoir se justifier économiquement, c'est-à-dire être rentable grâce à une augmentation sensible de la productivité du travail. Il est nécessaire de réaliser, avant tout investissement, une étude économique préalable. Pour que le calcul de rentabilité soit réalisé correctement, il faut établir le prix de revient prévisionnel des opérations motorisées. Puis replacer les charges de mécanisation dans un compte d'exploitation prévisionnel, afin de s'assurer de l'intérêt de la mécanisation. Le prix de revient de travaux mécanisés est facile à calculer lorsque toutes les dépenses effectuées sont enregistrées, ce qui est rarement le cas dans les pays en développement.

Il faut enfin garder à l'esprit que la motorisation a des incidences sur l'économie nationale des pays en développement. Les coûts en devises de l'importation des matériels, des pièces détachées et, dans de nombreux cas, des carburants et des lubrifiants sont très importants. Une compensation en devises est, éventuellement, réalisée par des dons de matériels (encore importants), une diminution des importations alimentaires ou une augmentation des exportations. À l'échelle des pays, des mesures d'accompagnement (fiscalité, subventions) existent pour les matériels et les carburants et influent directement sur la rentabilité et les coûts de la motorisation pour les producteurs et les entrepreneurs.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES¹⁴

● *Leurs principaux usages*

● Les séchoirs solaires

Il s'agit de transformer en chaleur l'énergie du rayonnement solaire reçu à la surface de la terre en interposant une matière dense et opaque. On estime la quantité d'énergie ainsi disponible entre 4 et 6 kWh/m²/j au sol dans des conditions favorables (ciel clair).

Trois grands éléments permettent de classer les équipements :

- > *séchage direct ou indirect* : le produit est exposé directement ou non au rayonnement solaire ;
- > *ventilation naturelle ou forcée* : l'air de séchage s'écoule naturellement ou est accéléré par ventilation mécanique (généralement avec un moteur électrique) ;
- > *tout solaire ou mixte* : l'énergie solaire est seule utilisée pour chauffer l'air de séchage ou vient en appoint d'une autre source d'énergie.

La maîtrise technologique des séchoirs solaire existe. Leur diffusion est liée aux conditions climatiques, aux types de produits à sécher et à la qualité recherchée. Si les conditions climatiques sont défavorables (air humide, absence d'ensoleillement), une énergie d'appoint s'impose (biomasse, gaz). La diminution des pertes après récolte, une augmentation de la durée de conservation et un prix de vente plus élevé, lié à une augmentation de la qualité par le séchage solaire, peuvent permettre l'amortissement du matériel.

● Les pompes solaires

Par le biais de cellules photovoltaïques, l'énergie du rayonnement solaire est convertie en courant continu basse tension. Les modules standards actuels fournissent une puissance moyenne de 100 W/m² sous un rayonnement solaire de 1000 W/m². Par convention on utilise le Wc (watt crête) pour désigner la puissance obtenue avec un rayonnement solaire de 1 000 W/m² à 25°C. Ces technologies de pointe, qui datent d'une trentaine d'années, tend à se banaliser avec des coûts de production de plus en plus bas et des rendements de conversion plus élevés.

Les pompes solaires sont des pompes électriques alimentées par un générateur photovoltaïque. On distingue les systèmes *au fil du soleil*, sans stockage d'énergie, le débit de l'eau étant directement proportionnel à l'énergie lumineuse, ce qui nécessite de stocker l'eau, et les systèmes équipés de batteries, de moins en moins utilisés.

Des milliers de systèmes de pompage photovoltaïques ont été installés en Afrique, particulièrement en Afrique francophone. Différents dimensionnements existent, de 80 à 5 000 Wc, avec une hauteur manométrique de 1 à 100 m et des débits de 5 à 500 m³/h. Leur grande fiabilité ne suffit pourtant pas à les rendre compétitifs face aux pompes diesel du fait des coûts d'investissement élevés.

¹⁴ Extraits de *Energie et développement durable en milieu rural en Afrique* - Dossier pédagogique - Fiche N° 2 *Les choix énergétiques en milieu rural et la place des énergies renouvelables*. Jean-François ROZIS, GERES, 12 p, mai 1997, plus compléments au sujet de la biomasse et de son utilisation.

● L'énergie éolienne

Il s'agit de récupérer l'énergie contenue dans l'air en mouvement. Cette énergie est fonction de la vitesse du vent et de la surface exposée au vent. L'utilisation de la puissance mécanique ainsi générée est soit directe (mouture, pompage), soit indirecte (production d'électricité via un générateur). Deux applications principales sont recensées : les éoliennes de pompage et de production électrique (aérogénérateurs).

● *Les éoliennes de pompage*

L'énergie mécanique produite est utilisée pour le pompage de l'eau par le biais d'une pompe à piston.

Les éoliennes de pompage sont caractérisées par une faible vitesse de rotation et un couple de démarrage élevé : démarrage avec 3 à 4 m/s et arrêt lorsque le vent dépasse 10 à 12 m/s. La puissance obtenue, généralement inférieure à 10 kW, est proportionnelle au carré de la surface balayée par le rotor (en moyenne de 1 à 2 m³/h/m² balayé pour 1 m de hauteur manométrique), et au cube de la vitesse du vent.

Il s'agit d'une technologie très ancienne avec des milliers de systèmes à travers le monde. De nouveaux modèles plus légers et de meilleur rendement sont en cours de développement. Pour des systèmes rustiques, la maintenance consiste à lubrifier régulièrement et remplacer les pales défectueuses (en particulier les voiles en tissu).

Cette technologie nécessite des vents de 3 à 4 m/s minimum.

● *Les aérogénérateurs*

L'énergie contenue dans l'air en mouvement est convertie en courant électrique (alternatif ou continu). Les aérogénérateurs sont équipés d'un rotor rapide de deux ou trois pales, couplé à un stockage ou non de l'électricité (inutile pour les équipements connectés au réseau électrique).

Ces systèmes demandent une bonne technicité même pour les tailles réduites. Peu de pays en développement en fabriquent (Chine, Inde). Les applications actuelles restent pilotes en milieu rural sauf en Mauritanie. La contrainte initiale reste le choix du site, qui nécessite une évaluation précise du régime des vents au cours de l'année. D'autre part les niveaux d'investissement restent élevés (6 000 à 7 500 euros/kW installé).

Il faut toutefois souligner que l'énergie éolienne a retrouvé une place de choix dans les programmes énergétiques des pays industrialisés, compte-tenu de l'évolution technologique pour les fortes puissances qui permet d'obtenir un coût du kWh produit inférieur à celui des centrales classiques. D'importants programmes d'installation se généralisent en Europe.

● Le biogaz

Par un procédé de fermentation hors oxygène, les composés organiques (déjections humaines ou animales) produisent un dégagement composé essentiellement de méthane appelé biogaz. Cette production de biogaz nécessite la mise en place d'un digesteur dimensionné aux quantités à traiter. Ce gaz peut être destiné à des utilisations domestiques ou artisanales.

Les digesteurs à biogaz se caractérisent par leur capacité (6 à 12 m³ pour le modèle familial, jusqu'à plus de 100 m³ pour les unités industrielles) et le type d'installation :

- > *le type chinois* (dôme fixe) produisant de 0,15 à 0,3 m³ de biogaz par jour en moyenne sur l'année ;
- > *le type indien* (dôme flottant) produisant de 0,3 à 0,6 m³ de biogaz par jour en moyenne sur l'année.

Les digesteurs produisent du gaz essentiellement pour la cuisson des aliments et l'éclairage, ainsi qu'un effluent solide constituant un bon engrais azoté.

Bien que diffusé à des millions d'exemplaires (10 millions en Chine), ils peuvent se heurter à des tabous liés à l'usage des excréments humains.

Les contraintes techniques sont essentiellement des contraintes de disponibilité en eau, la lenteur du démarrage du processus bactériologique et la difficulté de stockage et de transport du gaz.

● **La biomasse**

Les combustibles d'origine végétale sont en majorité composés de cellulose et lignine. Par combustion en présence d'oxygène, ils dégagent de la chaleur et de l'énergie lumineuse (flamme) ainsi que de la fumée ayant des caractéristiques bactériostatiques intéressantes pour la conservation des denrées alimentaires.

C'est à d'autres formes de présentation de la biomasse que nous nous intéressons ici. L'agriculture peut, en effet, être elle-même productrice d'énergie grâce aux cultures énergétiques dont les produits ou sous-produits fournissent de l'énergie : gazéification du bois ou des résidus agricoles, huiles végétales utilisées en substitution du gasoil, production d'alcool.

● **Les gazogènes**

Très utilisés en Europe durant la dernière guerre mondiale, ils produisent un gaz pauvre à partir de la combustion partielle de la biomasse : bois, résidus agricoles. Ce gaz peut être brûlé directement ou utilisé dans un moteur à combustion interne.

Les gazogènes se justifient par des applications industrielles dans des sites boisés isolés. Mais leur usage implique de nombreuses contraintes techniques : maintenance, dégagement de fumées... Cette technique est très utilisée au Brésil.

● **Les carburants de substitution**

L'utilisation d'huiles végétales (coprah, palme, coton, arachide) est désormais possible en substitution du gasoil ou en association gasoil + huile + alcool. L'alcool (éthanol) produit à partir de la canne à sucre est par ailleurs utilisé en substitution à l'essence ou en mélange essence + alcool.

Le Brésil est le pays qui a le plus développé la culture de la canne à sucre en vue de produire de l'alcool carburant. Le développement de cette technologie se heurte, compte-tenu du prix de revient de la canne à sucre, à la concurrence avec les produits pétroliers et à la meilleure valorisation de l'alcool destiné à la consommation humaine.

● L'énergie hydraulique

Tout comme l'air, il est possible d'utiliser l'énergie contenue dans l'eau avec l'avantage supplémentaire de pouvoir la stocker avant utilisation (lacs de barrage, retenues). La gamme d'utilisation est tout aussi étendue que pour l'énergie éolienne. Son utilisation doit tenir compte des aspects écologiques (faune et flore) et des conséquences sur l'usage agricole (irrigation, abreuvement).

L'énergie hydraulique est utilisée depuis très longtemps, sous forme d'énergie mécanique transmise par l'arbre d'une roue à aubes : moulins à grains, scieries, entraînement de machines textiles, etc. Ces applications sont encore largement utilisées. Néanmoins une utilisation plus souple et beaucoup plus étendue de l'énergie hydraulique est apparue au ^{xx}e siècle : la production d'électricité. Celle-ci peut s'opérer à presque toutes les échelles de la production électrique : depuis la production domestique (pico, micro-centrale hydraulique de quelques dizaines de watts à quelques kilowatts) jusqu'à la production nationale (grandes centrales de plusieurs centaines de mégawatts).

La construction de grandes centrales, très fréquente dans les années 60 à 90, devient plus rare car les sites utilisables sont désormais peu nombreux et les impacts sociaux et écologiques sont très lourds : déplacement de populations...

La micro ou la mini-centrale hydraulique

Son champ d'application est très vaste. De nombreux cours d'eau sont encore peu équipés, les impacts sociaux y sont positifs et l'intégration environnementale est facile. La micro-hydraulique peut aussi être complémentaire d'autres usages de l'eau : irrigation, adduction d'eau potable, etc. Il faut cependant faire attention à ne pas générer de concurrence concernant l'utilisation de l'eau. Elle est bien adaptée à l'électrification des sites isolés, là où le réseau électrique ne peut s'étendre pour des raisons économiques.

La mini et la petite hydro-électricité sont très largement répandues en Asie (plus de 8 000 mini ou petites centrales en Chine) et en Amérique latine, où elles produisent des milliers de mégawatts. Comme pour l'énergie photovoltaïque, les coûts initiaux sont élevés et très liés au réseau électrique à mettre en place. Par contre, les coûts de fonctionnement sont faibles. Les coûts du kWh varient fortement avec le niveau de puissance installé. Il faut enfin noter que la mise en œuvre d'un équipement hydro-électrique peut largement faire appel aux compétences locales.

● *Les problèmes de l'utilisation des énergies renouvelables*

Le coût de l'investissement initial pour les énergies renouvelables est, en règle générale, plus important que pour les énergies conventionnelles et les durées de retour des investissements sont très variables. L'ensemble des applications liées aux énergies renouvelables a cependant atteint une maturité technologique et les blocages majeurs restent socio-économiques.

Bibliographie

Agriculture africaine et traction animale, 1996, CIRAD, 355 p.

Energie et développement durable en Afrique, dossier pédagogique du GERES, mai 1997, fiche n°1

L'énergie en milieu rural en Afrique, Alain GUINEBAULT, 4 p., fiche n°2 *Les choix énergétiques en milieu rural et la place des énergies renouvelables*, Jean-François ROZIS, 12 p.

Guide de l'énergie, Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français, Ministère de la Coopération et du Développement, Acct.

La motorisation dans les cultures tropicales, 1998, CIRAD, 351 p.

Spore, n°88, août 2000, *Energie et Agriculture*, p. 1 et 2.