

GUIDE PRATIQUE



De l'eau pour le maraîchage

Expériences et procédés

Luc Arnaud, Bernard Gay

LES ÉDITIONS DU GRET
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION
CENTRE TECHNIQUE DE COOPÉRATION AGRICOLE ET RURALE

De l'eau pour le maraîchage

Expériences et procédés

Editions du Gret
Ministère de la Coopération

Ce livre a également bénéficié de l'appui
du Centre technique de coopération agricole
et rurale ACP - UE (**CTA**).

Cet ouvrage a été réalisé par :

- Luc Arnaud (GRET)
- Bernard Gay (GRET).

Réécriture : Véronique Sauvat

Dessins : Anne-Marie Rossin

Introduction

L'eau représente 80 % du poids des végétaux. Elle est indispensable à leur croissance : sous l'effet de la photosynthèse l'eau et le gaz carbonique sont transformés en sucres. En outre, l'eau transporte les éléments nutritifs : la transpiration crée une succion qui aspire l'eau et les sels minéraux du sol depuis les racines jusqu'aux feuilles.

Sous les climats arides et sahéliens, la pluie ne permet pas de couvrir toute l'année les besoins en eau des plantes cultivées. Il faut donc les satisfaire en irriguant.

Il existe dans les pays en développement, beaucoup de jardins et de petits périmètres entre 1000 m² et un hectare. Ces petites exploitations ont des problèmes spécifiques :

- leur taille ne justifie pas d'investir dans de gros moyens de pompage ;
- la main-d'oeuvre familiale est importante, mais son niveau de formation est bas ;
- le périmètre ou le jardin est souvent une activité secondaire ;
- les circuits de commercialisation sont rarement performants, compte tenu des faibles quantités produites ;
- les marchés sont saturés en pleine saison de production.

Mais ces petits périmètres ont aussi des atouts non négligeables :

- la faible superficie permet de faire des aménagements judicieux pour mieux utiliser l'eau d'irrigation ;
- ces petits périmètres sont bien adaptés au maraîchage et peuvent parfois produire toute l'année ;
- la faible superficie permet d'utiliser les énergies renouvelables dans le cadre des projets de développement ;
- ils permettent de dégager un revenu d'appoint appréciable dont les femmes sont souvent les premières bénéficiaires.

Ce guide technique a pour objectif d'aider les petits agriculteurs, ou plutôt les jardiniers des régions sèches, à choisir un système d'irrigation adapté à leurs contraintes.

Les informations données dans ce livre

Cet ouvrage propose une méthode pour guider les maraîchers dans l'évaluation de leurs besoins et de leurs contraintes et les aider à choisir un système d'irrigation adéquat. Chacune des questions destinée à guider le choix est approfondie et illustrée dans les chapitres suivants.

- Le premier chapitre explique comment calculer les besoins en eau des cultures.
- Le deuxième chapitre présente les systèmes de distribution de l'eau dans les champs et leurs avantages et inconvénients respectifs.
- Le troisième chapitre présente les différents systèmes de pompage qui sont ensuite comparés, notamment sur le plan économique.
- Enfin sont définies des notions plus complexes qui permettent de bien comprendre les mécanismes du pompage.

Des fiches de présentation de matériels et une bibliographie permettront à ceux qui veulent en savoir plus de s'orienter dans leur recherche d'information.

Avertissement : les explications et les conseils donnés dans ce guide ont été simplifiés au maximum. Néanmoins, il n'est pas toujours possible de faire l'économie d'informations très techniques, voire de formules mathématiques ! L'ouvrage autorise plusieurs niveaux de lecture afin que chaque lecteur trouve ce qu'il cherche.

Petite méthode pour choisir un système d'irrigation

Irriguer son jardin, c'est choisir un système de pompage et un mode de distribution de l'eau.

Le paysan a le choix entre plusieurs systèmes de pompage :

- le seau ou l'arrosoir au bord du marigot ou d'un fleuve,
- les techniques traditionnelles (délou, chadouf),
- la pompe manuelle,
- le petit groupe motopompe,
- la pompe solaire,
- l'éolienne de pompage,
- la pompe à moteur électrique (dans le cas, rare, d'un raccordement au réseau).

Il a également le choix entre 3 modes de distribution de l'eau jusqu'à la plante :

- par gravité, ou distribution de surface,
- par aspersion,
- par irrigation localisée ou goutte à goutte.

Pour faire son choix, il doit passer par deux étapes :

- Définir ses propres contraintes, en se posant 6 questions fondamentales.
- Connaître les avantages et les inconvénients des systèmes d'irrigation utilisés dans sa région et comprendre pourquoi ils ont été choisis.

Voir le chapitre 2 sur les systèmes de distribution de l'eau et le chapitre 3 sur les systèmes de pompage.

Question 1 : quelles sont les caractéristiques du point d'eau ?

Le débit du point d'eau

On appelle débit le nombre de litres (de m^3) que le point d'eau peut fournir (en une heure ou en un jour). On ne peut espérer tirer plus d'eau que le point d'eau peut en fournir. Trop pomper dans un puits peut le détruire.

Voir le chapitre 5 pour calculer le débit.

Un débit peut interdire certains systèmes de pompage :

DÉBIT ENTRE $0,5 m^3 / H$ ET $1 m^3 / H$
pompe à main, puisage manuel ou délou

DÉBIT ENTRE $1 m^3 / H$ ET $5 m^3 / H$
les mêmes plus la petite éolienne de pompage

DÉBITS SUPÉRIEURS A $5 m^3 / H$
tous les moyens de pompage

La profondeur du point d'eau ou hauteur de pompage

- Elle détermine le débit qui sera fourni par le système de pompage. Ainsi, une pompe solaire qui donne $60 m^2 / jour$ quand l'eau est à 5 mètres de profondeur n'en donne plus que la moitié, soit $30 m^2 / j$, quand la profondeur passe à 10 mètres.
- Certaines pompes sont conçues pour une profondeur donnée, exprimée par la hauteur manométrique de pompage (la HMT est la somme de la hauteur de pompage et des pertes dues aux frottements dans les tuyaux). De plus, les pompes centrifuges ont une capacité d'aspiration limitée à 7,5 mètres (correspondant à la pression atmosphérique).

PROFONDEUR	CONSÉQUENCES
0 à 7 mètres	Tous systèmes de pompage Petite et grosse irrigation
7 à 15 mètres	Tous systèmes de pompage mais en utilisant des pompes qui peuvent être installées dans le puits ou dans le forage (dans l'eau de préférence)
15 à 30 mètres	Maraîchage déconseillé pour les faibles niveaux d'énergie (homme, âne, petite éolienne) Le coût de l'eau, dans tous les cas, devient cher
Plus de 30 mètres	Pompage déconseillé pour l'irrigation (sauf subventions particulières)

Voir le chapitre 4 pour calculer la hauteur de pompage et la HMT.

Réponse à la question 1 :

Le débit de mon point d'eau est m^3/h ,
à m de hauteur de pompage.

Question 2 : quels sont les débouchés pour ma production ?

Un petit périmètre peut avoir deux objectifs :

- produire des céréales, des légumes ou des fruits pour l'autoconsommation,
- vendre toute ou une partie de la production pour en tirer un revenu.

Il faut estimer le plus précisément possible les débouchés pour préciser :

Le type de cultures à pratiquer et le calendrier agricole à suivre

Les prix de vente des différentes espèces de légumes et de fruits, et la distance de transport jusqu'au marché, doivent permettre de choisir les types de légumes et les périodes de production les plus rémunérateurs. Sur un petit périmètre, on peut étaler les récoltes en faisant plusieurs semis.

La surface à mettre en culture et la taille du système de pompage

Il est inutile de cultiver des légumes qui ne pourront pas être vendus. Mais si le périmètre se trouve près d'un marché permanent (grandes villes), on pourra investir dans un système d'irrigation permettant de produire sur la plus grande surface possible.

Le revenu attendu

Pour cela il faut estimer la production et la multiplier par le prix de vente courant. Selon les rentrées d'argent espérées, le périmètre pourra supporter des frais de fonctionnement plus ou moins élevés. Il s'agit des frais d'exploitation (semences, engrais, pesticides, main-d'oeuvre) et du coût de l'eau qui représente 30 à 60 % des dépenses de la campagne. Ces coûts varient largement en fonction du mode d'exploitation. Si le jardin est destiné entièrement à l'autoconsommation, il faudra trouver des financements complémentaires pour couvrir les frais de fonctionnement et le renouvellement des équipements.

Voir le chapitre 4 pour l'analyse économique

Réponse à la question 2 :

La vente des produits maraîchers pourra rapporterfrancs

Les frais d'exploitation sont estimés à francs

Le revenu brut est de l'ordre de francs.

Question 3 : quelle somme puis-je investir dans l'irrigation ?

Ce montant est fonction des ressources de l'agriculteur, mais aussi des possibilités de crédit ou des appuis fournis par des projets de développement.

- Le coût d'acquisition des équipements est très variable selon le matériel choisi : de quelques francs pour un arrosoir à plus de 50 000 FF pour une pompe solaire.
- Les coûts de fonctionnement comprennent les frais d'entretien, le remplacement des pièces usées, le carburant ou l'électricité...

Les coûts varient selon les pays et le réseau de commercialisation et de maintenance existant.

Voir le chapitre 3 et également les fiches matériels

Les coûts de l'eau ne constituent pas la seule source de dépenses pour l'exploitant durant sa campagne. Il devra acheter ses semences, l'engrais, les produits de traitement, payer la main-d'oeuvre et les frais de transport, etc. Le montant des frais de production autres que l'eau est compris souvent entre 5 000 et 10 000 FF / ha.

L'eau représente de 30 % à 70 % des dépenses totales d'une campagne. Les maraîchers qui cultivent des surfaces de l'ordre de 1 hectare ou plus, se situent plutôt vers les 30 % tandis que les petits maraîchers dépensent proportionnellement beaucoup plus pour payer l'eau.

Réponse à la question 3 :

Je peux investir francs pour l'achat du système d'irrigation

Mon périmètre me permettra de payer francs par an en frais de fonctionnement

Question 4 : de quelle quantité de main-d'oeuvre puis-je disposer ?

Les exploitations agricoles de petite taille sont le plus souvent familiales. Le choix du système de pompage dépend de la main-d'oeuvre disponible.

Pour exploiter l'eau fournie par une petite motopompe qui irrigue par exemple 1 / 2 hectare, on trouve souvent 4 actifs au Burkina Faso. Lorsque la surface atteint un hectare ou plus, il y a 6 à 8 actifs. La surface irriguée, et cultivée, par actif est de 5 à 15 ares. A noter que, dans cet exemple, les actifs ne sont pas occupés à pomper l'eau mais seulement à la distribuer et à effectuer les opérations de maraîchage. S'ils devaient pomper manuellement, leur nombre augmenterait.

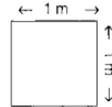
Réponse à la question 4 :

Je peux avoir personnes par jour pour irriguer le périmètre

Question 5 : quelle est la surface disponible pour l'irrigation ?

CALCULER LA SURFACE D'UN CHAMP

Le mètre carré (m^2) est l'unité de surface



Pour mesurer une surface en forme de :

- carré



$S = \text{côté en mètres} \times \text{côté en mètres}$

- rectangle



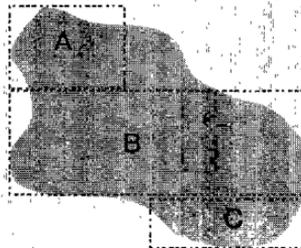
$S = \text{longueur en mètres} \times \text{largeur en mètres}$

- cercle



$S = \pi \times r^2$ où r est le rayon du cercle en mètres

- surfaces plus complexes :



exemple de décomposition

Choisir un système d'irrigation

Le système de pompage dépend de la surface que l'on souhaite, et que l'on peut, irriguer :

- moins de 1 000 m², soit environ un besoin de 9 m³ par jour (*voir chapitre 2*) : ce débit peut être fourni par l'arrosoir ou une pompe à main. Le travail est d'autant plus long et pénible que la profondeur de pompage augmente ;
- de 1 000 à 5 000 m², les besoins en eau s'échelonnent entre 9 et 45 m³ par jour. Ce débit peut être fourni par plusieurs pompes à main, par une petite motopompe, par une éolienne ou par une installation solaire ;
- de 5 000 m² à 1 ha, les besoins en eau s'échelonnent entre 45 et 90 m³ par jour. Ce débit ne peut être fourni que par une motopompe.

Il faut aussi vérifier l'état du terrain et en particulier la topographie. Un terrain fait d'une succession de bosses et d'ondulations ne pourra certainement pas être irrigué en totalité ou nécessitera un aménagement spécial de bassins intermédiaires. Un terrain en pente montante demande des tuyaux pour transporter l'eau en haut, ce qui accroît le coût de l'installation et diminue le rendement du système de pompage.

Le terrain devra aussi être clôturé afin d'éviter les dégradations par les animaux errants. Or une clôture est toujours très chère à réaliser.

Réponse à la question 5 :

Je souhaite irriguer m²

Question 6 : quel est mon niveau de compétence ?

Les systèmes d'irrigation demandent des niveaux de compétence différents. En général, plus le système d'irrigation est important et plus les compétences de l'exploitant en techniques agricoles doivent être grandes. Une pompe de fort débit est utilisée pour une irrigation plus complexe, sur des surfaces plus grandes et donc plus difficiles à maîtriser. Les frais engagés sont également plus élevés et demandent de meilleures capacités de gestion.

Le type et la taille du système de pompage choisi déterminent le niveau de compétence technique nécessaire pour l'utilisation de la pompe et sa maintenance.

Pour chaque matériel il faut :

- savoir l'utiliser correctement,
- savoir remplacer les pièces d'usure ou faire l'entretien normal (comme les vidanges pour les motopompes),
- savoir le réparer.

Pour diminuer les charges d'exploitation, le paysan doit pouvoir réaliser le maximum de choses lui-même. Mais il faut qu'il les maîtrise réellement. Bien souvent les moyens d'exhaure modernes (motopompes, éoliennes) exigent des professionnels. Il faudra donc voir s'il existe à proximité des réparateurs compétents.

Le niveau de savoir-faire s'échelonne entre :

- utiliser et réparer une pompe manuelle,
- utiliser et réparer une éolienne,
- utiliser une motopompe,
- utiliser et entretenir une motopompe,
- utiliser, entretenir et réparer une motopompe.

Réponse à la question 6 :

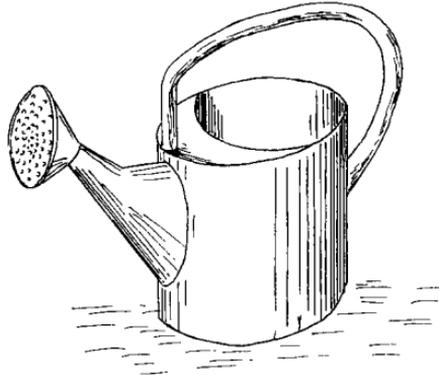
Je sais utiliser :

Je sais entretenir :

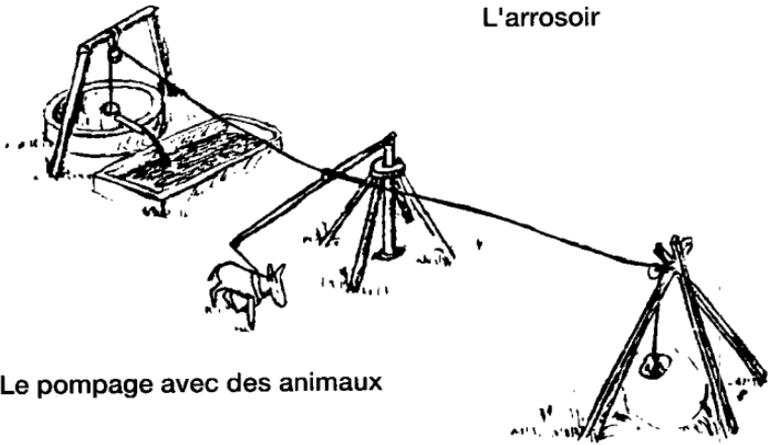
Je sais réparer :

**Question 7 : quels sont les systèmes utilisés
et pourquoi ?**

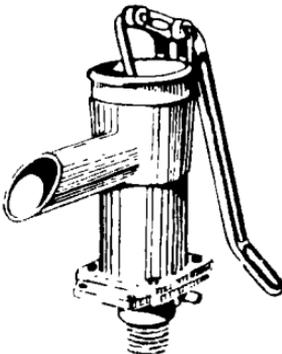
*Je regarde quels sont les systèmes d'irrigation les plus
couramment utilisés dans ma région*



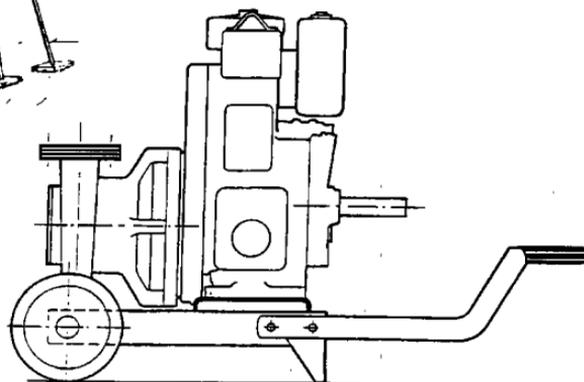
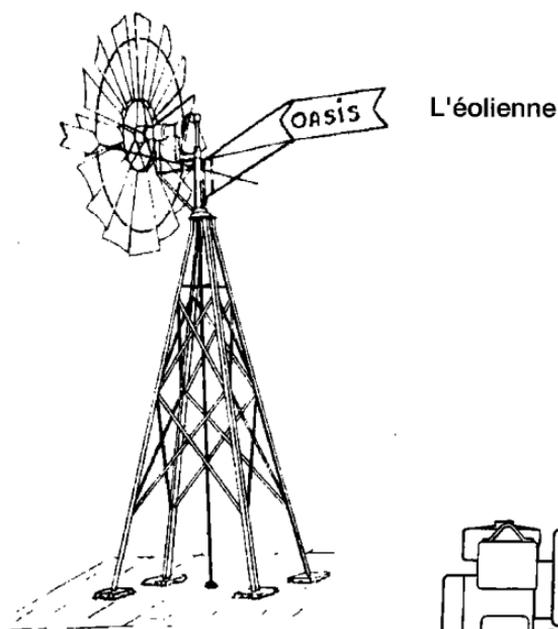
L'arrosoir



Le pompage avec des animaux



La pompe manuelle



La motopompe

Je recherche pourquoi ils ont été choisis

Les critères de choix peuvent être nombreux : marché, surface disponible, main-d'œuvre disponible, ressource en eau, réparateurs existants, ressources financières, projet de diffusion...

Je compare avec mes propres contraintes

Je choisis mon système de pompage

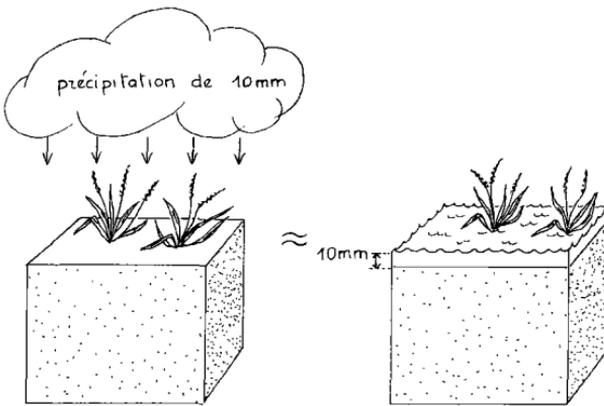
- Je choisis la sécurité et la tradition en optant pour un système déjà existant.
- Je choisis l'amélioration d'un système existant.
- Je joue l'innovation et je choisis un système nouveau pour la région.

Les besoins en eau d'une culture

LA RÉSERVE EN EAU DU SOL

Le sol est le réservoir d'eau où la plante va puiser ses éléments nutritifs. Ce réservoir est naturellement alimenté par les pluies. La quantité d'eau que peut contenir un sol s'exprime en mm, comme la pluviométrie. Une partie seulement de l'eau du sol est utilisable par la plante : c'est la réserve utile.

Quantité d'eau exprimée en mm.

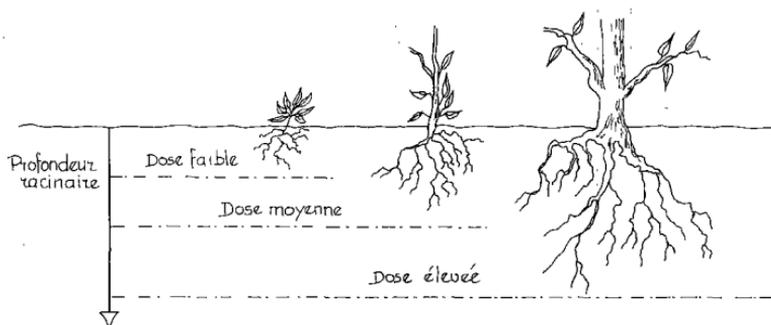


1 mm \Leftrightarrow 1 litre par m² \Leftrightarrow 10 m³ par hectare

Le réserve d'eau dépend du type de sol : un sol sableux retient moins d'eau qu'un sol limoneux, qui lui-même retient moins d'eau qu'un sol argileux. Plus la réserve d'eau d'un sol est limitée, plus le temps entre deux arrosages doit être court et plus la dose sera faible.

La réserve d'eau disponible pour les plantes dépend également du volume occupé par les racines. Plus le système racinaire est développé, plus le réservoir d'eau dont elles disposent est important.

Le système racinaire



Afin que le manque d'eau ne limite pas le rendement des cultures, il faut que le sol contienne en permanence une eau facilement utilisable. Si on irrigue un sol au-delà de la réserve utile, l'eau ne peut plus être retenue par le sol et se perd par infiltration ou ruissellement. Elle est perdue pour la plante.

La réserve facilement utilisable du sol permet de déterminer la **dose d'irrigation** qu'un sol peut recevoir, c'est-à-dire la quantité d'eau que l'on peut apporter en une seule fois :

DOSE D'IRRIGATION QU'UN TYPE DE SOL PEUT RECEVOIR SELON LA NATURE DES PLANTES

	PLANTES À FAIBLE ENRACINEMENT (20 CM)	PLANTES À ENRACINEMENT PROFOND (60 CM)
Ex. de plantes :	radis, salade	tomates
Sols sableux	9 mm \leftrightarrow 9 l par m ²	27 mm \leftrightarrow 27 l par m ²
Sols moyens	15 mm \leftrightarrow 15 l par m ²	46 mm \leftrightarrow 46 l par m ²
Sols argileux	16 mm \leftrightarrow 16 l par m ²	48 mm \leftrightarrow 48 l par m ²

◆ Exemple

Un maraîcher cultive de la salade sur une parcelle sableuse de 2 500 m², la dose d'irrigation que le sol peut absorber utilement est de 9 litres par m². Pour l'ensemble de la parcelle, elle sera égale à $9 \text{ l / m}^2 \times 2500 \text{ m}^2 = 22\,500$ litres, soit 22,5 m³.

Irriguer moins souvent avec une forte dose ou l'inverse?

La dose d'irrigation est la quantité d'eau que le sol va pouvoir retenir lors d'un arrosage ou d'une pluie et que les plantes pourront ensuite utiliser. Elle est différente du besoin de la culture. Par comparaison avec une voiture, la dose d'irrigation correspond à la taille du réservoir et les besoins de la culture à la consommation d'essence du moteur. La voiture peut rouler plusieurs jours tant que le réservoir n'est pas vide. D'une manière analogue, on n'est pas obligé d'irriguer tous les jours.

Un sol sec en surface ne signifie pas forcément que la plante n'a pas d'eau à sa disposition. De même un arrosage très fréquent n'est pas automatiquement intéressant car il n'oblige pas la plante à développer ses racines en profondeur : si l'arrosage s'arrête une journée, la plante souffre. Il est donc préférable d'obliger la plante à explorer le sol en profondeur pour qu'elle puisse bénéficier d'une plus grande réserve. Pour cela on doit espacer les arrosages en augmentant progressivement la dose. En gardant la comparaison avec la voiture, si on remplit le réservoir tous les 100 km, on n'a pas besoin d'un grand réservoir. On peut donc avoir une réserve calculée pour faire seulement 100 km. Mais si un jour on consomme plus que prévu sur les 100 km, alors c'est la panne car on n'a pas d'autonomie. La panne sèche pour une plante, c'est son flétrissement.

CALCULER LE BESOIN EN EAU D'UNE CULTURE

Les besoins en eau dépendent du climat de la région (plus ou moins chaud et sec) et de la plante cultivée.

La demande du climat

Pour caractériser un climat, on définit une évapotranspiration potentielle (ETP). On la calcule en mesurant l'évapotranspiration d'un gazon de référence. On trouve cette valeur dans les ouvrages techniques et elle permet de définir l'évaporation de telle ou telle zone. Mais elle ne donne pas directement le besoin en eau d'une culture particulière.

RELEVÉS D'ETP MENSUELLE POUR L'AFRIQUE DE L'OUEST

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Zone sahélienne Gao P = 200 mm / an	6	6	8	8	9	9	9	7	7	7	6	6
Zone soudano-sahélienne P = 500 mm / an	4	5	6	6	8	7	7	6	5	5	5	4
Zone soudanienne Bamako P = 1100 mm / an	5	5	7	7	7	6	5	5	5	5	5	5

Ce tableau donne les évapotranspirations potentielles dans trois zones climatiques : c'est ce qu'on appelle la "demande du climat". A Bamako, par exemple, la demande théorique du climat est de 5 mm par jour, c'est-à-dire de 5 litres par m², pour les mois de janvier et février.

La notion d'évapotranspiration

◆ L'évaporation : le "besoin en eau du sol"

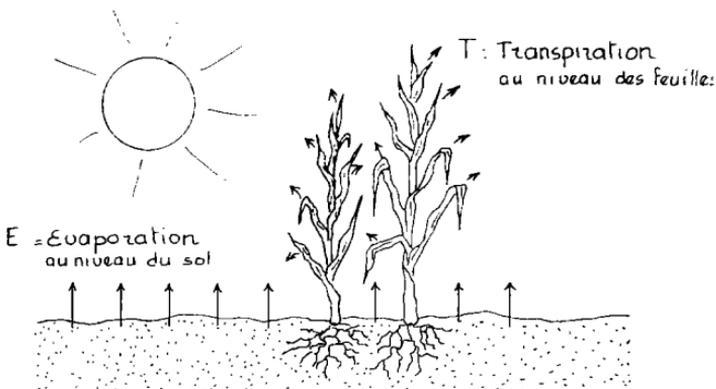
L'eau s'évapore à la surface du sol sous l'effet cumulé de la température, du rayonnement et de la vitesse du vent. Cette évaporation est exprimée en mm ou en litres d'eau par m².

◆ La transpiration de la plante

La transpiration est le moteur de la plante : elle lui permet de puiser les éléments nutritifs du sol. Les racines absorbent l'eau du sol mais la plus grande partie de cette eau ne reste pas dans la plante : elle se dissipe en vapeur au niveau des feuilles. Ce processus s'appelle la transpiration et la quantité d'eau transpirée par la plante s'exprime en mm. Si la plante a des difficultés pour puiser l'eau du sol (la Réserve Facilement Utilisable est épuisée), elle diminue sa transpiration en fermant des orifices situés sur les feuilles qu'on appelle les stomates. La fermeture des stomates entraîne un ralentissement de la photosynthèse et donc de la production de matière sèche : la plante souffre et le rendement n'est pas bon.

◆ L'évapotranspiration d'une culture

C'est la somme de l'évaporation du sol et de l'eau utilisée par les plantes pour la transpiration. Cette évapotranspiration qui correspond à la quantité d'eau utilisée par la plante et son environnement est le besoin en eau de la culture.



Le calcul des besoins en eau d'une culture

Face à cette demande théorique du climat, la consommation en eau d'une culture va dépendre :

- du type de culture (des plantes volumineuses, comme les tomates, ont une évapotranspiration plus importante) ;
- du stade de croissance de la plante (les besoins sont différents en début de plantation, à la maturité et à la récolte).

Il faut donc corriger le chiffre de l'ETP pour l'adapter à chaque culture spécifique.

L'évapotranspiration réelle spécifique d'une culture à un stade donné est le besoin en eau de la culture.

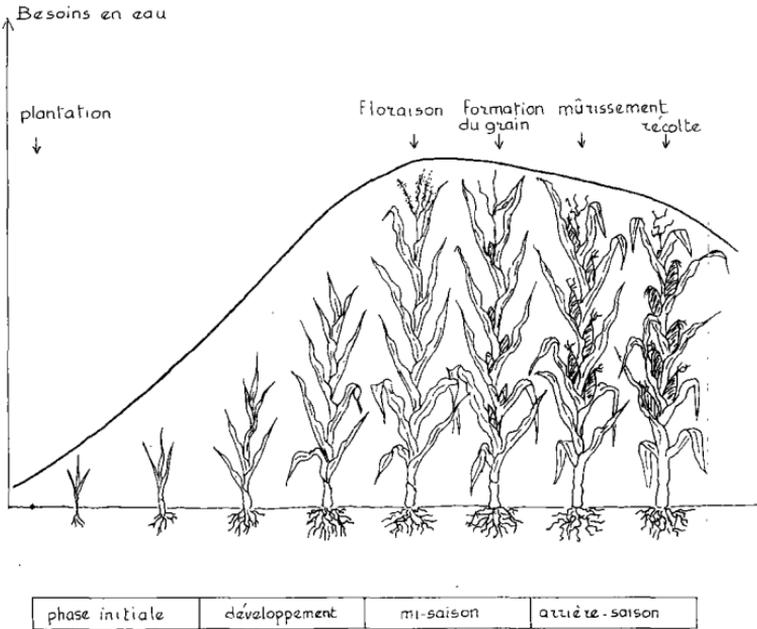
Pour calculer le besoin en eau de la culture, on utilise un coefficient cultural (appelé kc). Il y a quatre coefficients par type de culture, un pour chacun des principaux stades de développement de la plante. (Voir en annexe le tableau des coefficients et des durées approximatives de croissance par culture).

BESOIN JOURNALIER EN EAU D'UNE CULTURE

$$ETP \times kc \times SURFACE CULTIVÉE$$

Le besoin journalier s'exprime en mm (ou en litres par m²) ; l'ETP est donnée dans les caractéristiques climatiques de la région ; le coefficient kc est donné dans des tables de cultures.

Schéma des besoins en eau selon la phase de la culture



◆ Exemple :

Quel est le besoin en eau journalier d'une parcelle de tomates de 2 000 m² dans la région de Gao ?

La plantation a été réalisée le 2 janvier. L'arrosage se fait avec un arrosoir de 10 litres. Combien faut-il d'arrosoirs par jour au fur et à mesure du développement de la culture ?

• Pendant la première partie de la plantation :

$k_c = 0,35$ et l'ETP de Gao janvier = 6 mm

Besoins journaliers au premier stade

$$= 0,35 \times 6 \times 2000 = 4\,200 \text{ litres}$$

soit 2 arrosoirs de 10 l pour 10 m² par jour

• Pendant le deuxième mois :

$k_c = 0,75$ et l'ETP de Gao février = 6 mm

Besoins journaliers pour la phase développement

$$= 0,75 \times 6 \times 2000 = 9\,000 \text{ litres}$$

soit 4 arrosoirs et demi pour 10 m² par jour

Chapitre 1

- Pendant la maturité :

$k_c = 1,1$ et l'ETP Gao mars / avril = 8 mm

Besoins journaliers à la maturité

= $1,1 \times 8 \times 2000 = 17\ 600$ litres

soit 9 arrosoirs pour $10\ m^2$ par jour

- Pendant la récolte :

$k_c = 0,9$ et l'ETP de Gao de mai = 9 mm

Besoins journaliers lors de la récolte

= $0,9 \times 9 \times 2000 = 16\ 200$ litres

soit environ 8 arrosoirs pour $10\ m^2$ par jour

Dans la pratique, les besoins d'irrigation sont rarement calculés aussi précisément stade par stade. Pour choisir un système de pompage, il faut prendre en compte le chiffre maximum, c'est-à-dire le besoin de pointe de la culture, car qui peut le plus, peut le moins...

BESOIN DE POINTE EN FONCTION DE LA ZONE GÉOGRAPHIQUE.

CLIMAT	OUAGADOUGOU	BAMAKO	GAO	ATAR
Tomates	71 m ² / j	61 m ² / j	81 m ² / j	91 m ² /
Maïs / mil	71 m ² / j	61 m ² / j	81 m ² / j	91 m ² /
Melon	61 m ² / j	51 m ² / j	71 m ² / j	81 m ² /
Choux / carottes	61 m ² / j	61 m ² / j	81 m ² / j	81 m ² /

Ce tableau donne des valeurs moyennes de besoin sur l'année pour une culture au maximum de son développement. On peut en tirer que les besoins lors de la première phase du développement de la plante sont inférieurs de moitié à ses besoins de pointe.

DIMINUER LES BESOINS EN EAU D'UNE CULTURE ?

On peut réduire les besoins en eau d'une culture : pour cela, il faut réduire l'évapotranspiration, c'est-à-dire diminuer la demande en eau du climat. Plusieurs moyens sont à la disposition de l'agriculteur.

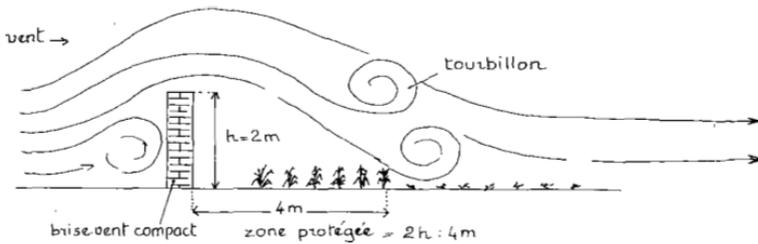
Les brise-vent

Planter des haies d'arbres autour des parcelles permet de diminuer l'évapotranspiration.

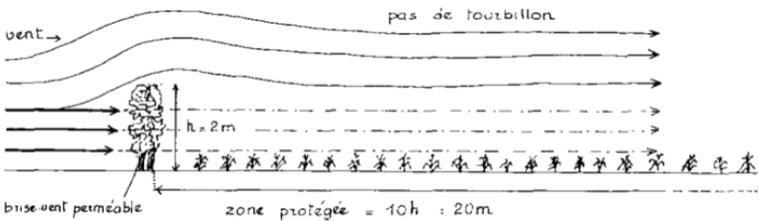
Pour être efficace, un brise-vent doit laisser passer 50 % des filets d'air et agir comme un filtre plutôt que comme un obstacle imperméable. Un brise-vent complètement opaque au vent, comme un mur, ne protège qu'une distance égale à seulement 2 fois sa hauteur, alors qu'une haie protège 10 fois sa hauteur.

La consommation en eau des brise-vent doit être prise en compte. On peut utiliser des espèces peu consommatrices d'eau, comme les agrumes.

Mauvais brise - vent



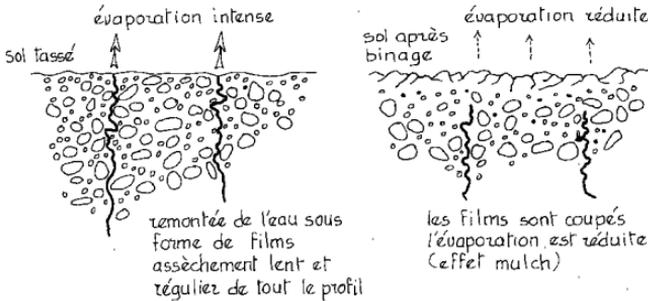
Bon brise - vent



Le binage

Dans un sol tassé, l'eau remonte à la surface par capillarité puis s'évapore dans l'atmosphère. Plus un sol a une structure fine, plus les remontées d'eau sont importantes. En brisant la continuité entre la couche de terre superficielle et le reste du sol, on diminue l'évaporation. L'adage populaire dit : "un binage vaut deux arrosages".

Le binage



Le désherbage

Les mauvaises herbes, comme les plantes cultivées, consomment l'eau du sol. Le désherbage permet de diminuer les pertes en eau et économise les éléments nutritifs du sol.

Le paillage

Le paillage du sol permet d'éviter l'évaporation. Il s'agit de couvrir le sol avec de la paille ou des herbes mortes. Au Sahel où la paille est souvent rare, certains maraîchers utilisent des tisseurs ou des sacs de jute pour couvrir le sol après un semis jusqu'à la levée des plants.



Le paillage

L'association de cultures : l'effet oasis

Plusieurs strates de plantes créent un microclimat favorable qui entraîne une diminution des besoins en eau. C'est ce qui se produit dans les oasis où le palmier-dattier protège les sous-cultures (maraîchage ou cultures fourragères).

Le besoin en eau d'une luzerne en climat désertique peut être réduit de 40 % à l'ombre tamisée des palmiers-dattiers. Mais n'exagérons rien : les légumes, les céréales et la plupart des plantes fourragères herbacées aiment le soleil. A l'ombre, elles produisent moins. Le tamisage ne doit pas dépasser 40 % du rayonnement solaire.

La distribution de l'eau

Le besoin de pompage est fonction des besoins en eau des cultures, mais aussi du type de distribution de l'eau utilisé. La distribution est donc un élément important de la rentabilité de l'irrigation.

L'EFFICACITÉ DE L'IRRIGATION

La quantité d'eau calculée précédemment correspond au besoin de la culture. Mais il faut tenir compte des pertes en eau au cours de l'irrigation qui obligent à augmenter la quantité d'eau à fournir. Ces pertes sont plus ou moins grandes selon la méthode de distribution de l'eau employée. Elles sont dues à des infiltrations dans les canaux d'irrigation, à une mauvaise répartition de l'eau, etc.

On parle alors de l'efficiace ou de l'efficacité de l'irrigation : il s'agit du rapport entre la quantité d'eau fournie par le système de pompage et la quantité d'eau qui parvient effectivement à la plante.

TAUX D'EFFICACITÉ DES DIFFÉRENTS MODES D'IRRIGATION

-
- | | |
|--|--|
| • Irrigation gravitaire ou irrigation de surface | en moyenne 50 et 60 %
(dépend essentiellement du nivellement) |
| • Irrigation par aspersion | 65 % |
| • Irrigation à l'arrosoir | en moyenne 80 % |
| • Irrigation localisée au goutte à goutte | 90 % |

Quantité d'eau nécessaire = besoin / efficacité

TYPE DE MÉTHODE	NIVEAU INVESTISSEMENT	DIFFICULTÉ D' AMÉNAGEMENT	INCONVÉNIENTS MAJEURS	AVANTAGE
Arrosoir	très faible	aucune	très faible surface possible : 500 m ²	efficacité d
Bassin	faible	moyenne	nécessité de planage	facile à mett grande surf
Planche	élevé	élevée	nécessite un planage rigoureux	irrigation fac grande surf
Billons	moyen	moyenne	travaux d'aménagement importants	irrigation fac grande surf
Goutte à goutte	très élevé	très élevée	coût et technicité	efficacité d

Une fois connue la quantité d'eau nécessaire, il faut dimensionner le système d'irrigation sur la consommation de pointe. C'est la consommation de pointe qui détermine le choix du système d'irrigation.

- ◆ *Exemple* : Dans le cas d'une parcelle de tomates de 2000 m² à Gao, irriguée à l'arrosoir, l'efficacité est de 80 %. Le besoin étant de 90 litres par jour en période de pointe pour 10 m², on utilisera en tout : $90 / 0,8 = 112,5$ l d'eau par jour. Pour la surface totale, l'agriculteur doit fournir à l'arrosoir pendant la période de pointe : $112,5 \times 200 = 22\,500$ litres d'eau par jour.

LES DIFFÉRENTS SYSTEMES DE DISTRIBUTION

Il y a trois modes de distribution de l'eau d'irrigation :

- une distribution gravitaire ou de surface,
- une distribution par aspersion,
- une distribution localisée.

La distribution par gravité est la plus répandue. On distingue l'irrigation par bassins, par billons ou par planches.

Le tableau ci - contre résume très grossièrement les avantages et les inconvénients de chaque méthode de distribution. On comprend pourquoi la méthode par bassin est la plus couramment utilisée.

La distribution de l'eau par gravité

L'irrigation gravitaire est la plus répandue. Le sol ne doit pas être trop perméable afin d'éviter les pertes dans les canaux. Les sols sableux qui sont très perméables ne peuvent être irrigués par gravité.

Ce type d'irrigation demande un système de pompage avec un débit important (plusieurs m³ / h), couvrant à la fois les pertes dans les canaux d'irrigation et les besoins de la plante.

Le relief du jardin doit être compatible : la source d'eau (la sortie du tuyau de la motopompe ou la sortie du réservoir) doit être située sur le point le plus haut de la parcelle.

En cas de système de pompage qui ne fonctionne pas à la demande (éolienne ou pompe solaire), il faut prévoir un bassin de stockage afin d'avoir un débit de lâchage plus important.

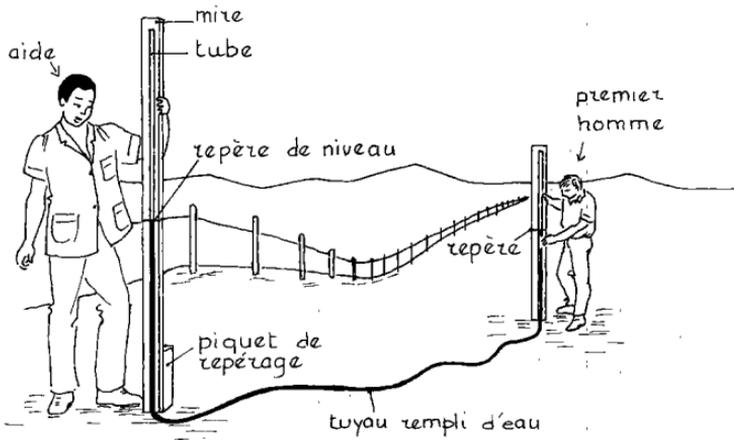
L'eau peut être transportée dans le champ par

- des canaux en terre (les pertes par infiltration sont importantes) ;
- des canaux en ciment (peu de pertes mais coûteux) ;
- des tuyaux (voir les pertes que cela entraîne au chapitre 4).

Ce type d'irrigation nécessite un important travail de terrassement ou de nivellement selon la topographie. Il faut souvent tracer les courbes de niveau (la ligne où tous les points ont la même altitude). Ces courbes permettront de délimiter les bassins d'irrigation et les canaux d'irrigation.

Pour tracer ces courbes de niveau, on peut utiliser la planchette et le niveau à bulle. On peut aussi construire un niveau à eau à l'aide d'un tuyau transparent de petit diamètre accroché sur deux piquets gradués. Cette deuxième méthode a l'avantage de mesurer exactement le dénivelé entre deux points.

Le niveau à eau



Même un jardin de petite surface doit être aménagé selon les courbes de niveau. Dessiner correctement les contours des bassins ou des sillons permet d'économiser de l'eau pendant des années, et évite les gros travaux de planage.

Débit de l'eau et conduite de l'irrigation

Il est difficile d'irriguer correctement si le débit dépasse 8 à 10 litres par seconde. Un débit trop fort, avec une lame d'eau trop importante risque de détruire les canaux. De plus, les bassins se remplissent trop vite, on n'a pas le temps de contrôler le niveau de l'eau dans les planches, etc.

Toutefois, avec un petit groupe motopompe, les débits sont rarement supérieurs à 5 / 6 litres par seconde.

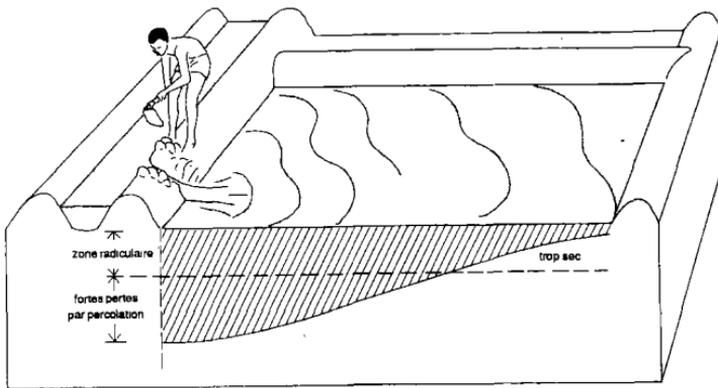
Les fiches suivantes décrivent plus précisément les divers modes de distribution de l'eau.

L'irrigation par bassin

Caractéristiques techniques

C'est la méthode la plus simple et la plus couramment utilisée. On inonde des bassins, c'est-à-dire les petites parcelles délimitées par des diguettes de terre. L'objectif est de pouvoir inonder rapidement toute la surface du bassin sur une même hauteur. Le débit doit donc être important : au moins $10 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Profil d'humectation avec un débit de l'eau insuffisant



Les bassins sont réalisés à la main ou quelquefois avec la traction animale. Une fois les aménagements réalisés, cette méthode demande peu de main-d'oeuvre.

Le bassin doit être plat pour que la dose d'irrigation apportée soit bien régulière.

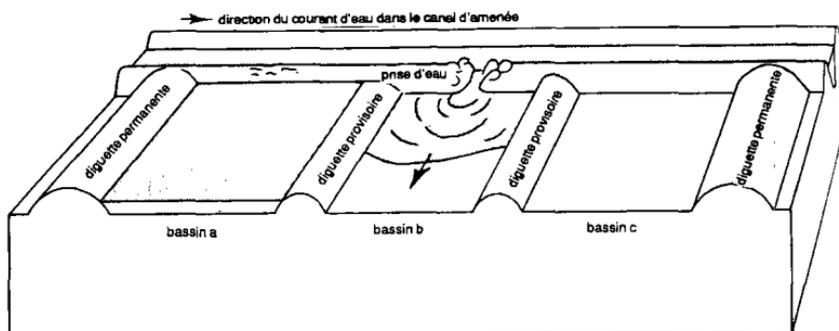
Les dimensions des bassins dépendent de la perméabilité du sol et de la technicité de l'agriculteur. Sur les sols très perméables (sableux), il faut réaliser de petits bassins. De même si l'agriculteur a des difficultés à réaliser un planage sur des grandes surfaces. Un bassin mal plané, même de petite taille, entraîne un gaspillage d'eau.

Sur les petits périmètres maraîchers les paysans ne prennent hélas souvent pas le temps de réaliser un aménagement soigneux qui permettrait d'économiser de l'eau et donc beaucoup d'argent.

Il y a deux méthodes pour amener l'eau dans les bassins :

- la méthode directe où l'eau alimente les bassins à partir d'un canal d'amenée ou par des tuyaux ;

Bassin d'alimentation directe



- la méthode en cascade où les bassins se remplissent les uns à partir des autres. Cette distribution est moins intéressante ; elle est surtout utilisée pour les rizières.

Cultures

L'irrigation par bassins est adaptée à la plupart des cultures, à l'exception des cultures à tubercules (pomme de terre, carotte).

Cette méthode est particulièrement recommandée pour les cultures fourragères et l'arboriculture. Pour les arbres fruitiers (agrumes, palmiers-dattiers), on réalise un seul bassin par arbre avec une diguette protégeant le collet de l'arbre.

Avantages et inconvénients :

- **Pour** : C'est la méthode d'irrigation la plus simple. Elle peut facilement être menée par la main-d'oeuvre familiale et ne nécessite pas d'investissements importants.
- **Contre** : Elle exige des débits importants. Elle ne peut pas être utilisée avec des sols sableux. Elle nécessite des aménagements importants si la topographie du périmètre n'est pas régulière. A l'arrivée de l'eau dans le bassin, il y a souvent une érosion qui emporte les graines et les jeunes plants : pour que ceux-ci s'implantent bien dans le bassin, il est préférable d'arroser à l'arrosoir durant les 2 premières semaines.

L'irrigation à la raie ou en billons

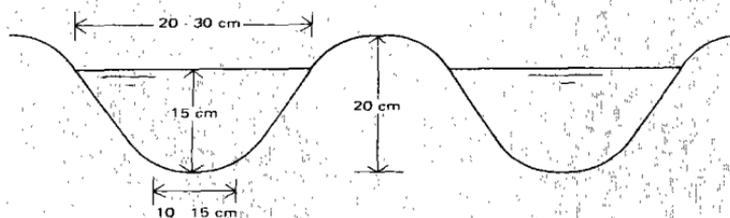
Caractéristiques techniques

Les raies sont de petits fossés creusés entre les rangées de plantes. L'eau circule dans ces raies dans le sens de la pente du terrain. L'eau s'infiltre sur les côtés du billon pour humidifier le profil où évoluent les racines.

ORDRE DE GRANDEUR DES LONGUEURS MAXIMUM DES SILLONS EN METRES, EN FONCTION DE LA PENTE, DU TYPE DU SOL, DU DÉBIT ET DE LA DOSE D'ARROSAGE

PENTE DU SILLON (%)	DÉBIT UNITAIRE PAR SILLON (L / s)	DOSE D'IRRIGATION					
		ARGILE		LIMON		SABLE	
		50	75	50	75	50	75
0,0	3,0	100	150	60	90	30	45
0,1	3,0	120	170	90	125	45	60
0,2	2,5	130	180	110	150	60	95
0,3	2,0	150	200	130	170	75	110
0,5	1,2	150	200	130	170	75	110

La culture sur billons demande un important travail du sol. La largeur et la longueur du billon dépendent de la perméabilité du sol.



Billons en sols sableux



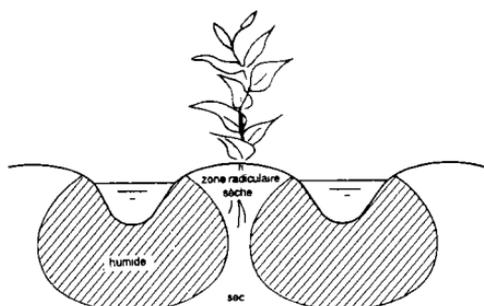
Billons en sols argileux

En sol sableux, les billons doivent être étroits en raison de l'infiltration verticale très importante. Ils doivent avoir le plus possible la forme d'un V.

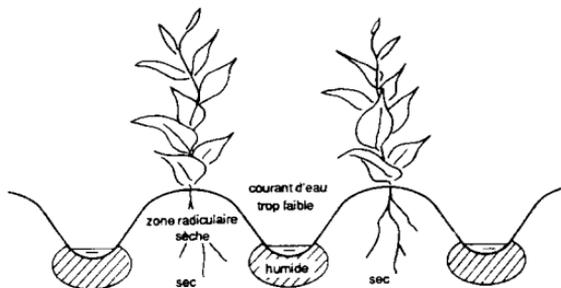
En sol argileux, l'infiltration verticale est beaucoup plus faible : le sillon dans lequel circule l'eau est donc beaucoup plus large pour permettre une bonne humidification de la zone racinaire.

Le débit doit être réglé de façon à ce que le courant d'eau humidifie les billons, sans entraîner une érosion de leurs parois.

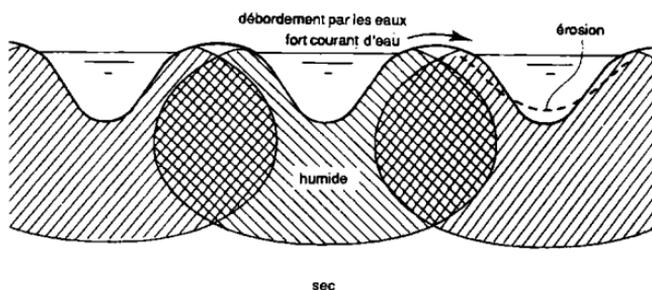
L'espace entre deux sillons est trop grand



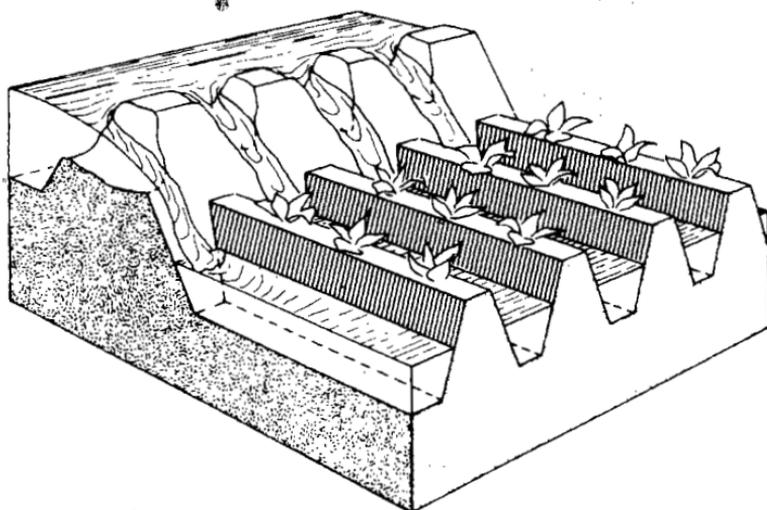
Le débit est trop faible le billon est mal irrigué



Le débit est trop fort entraînant le débordement par les eaux ou l'érosion



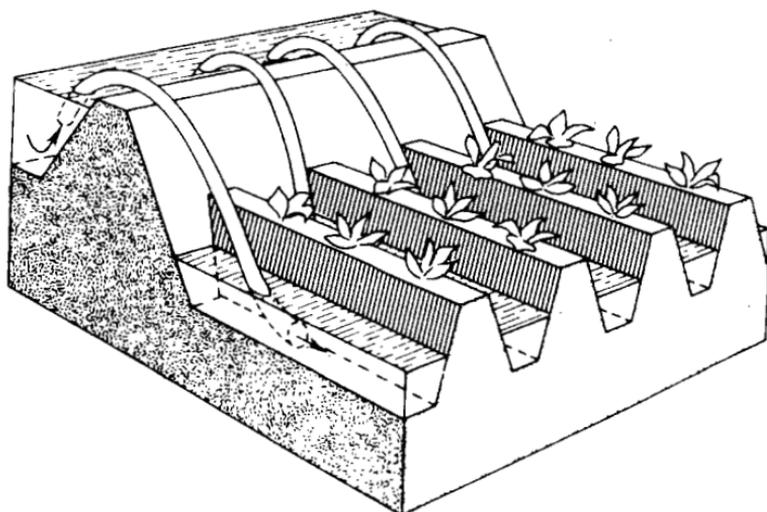
Alimentation des sillons par ouverture dans les diguettes du canal



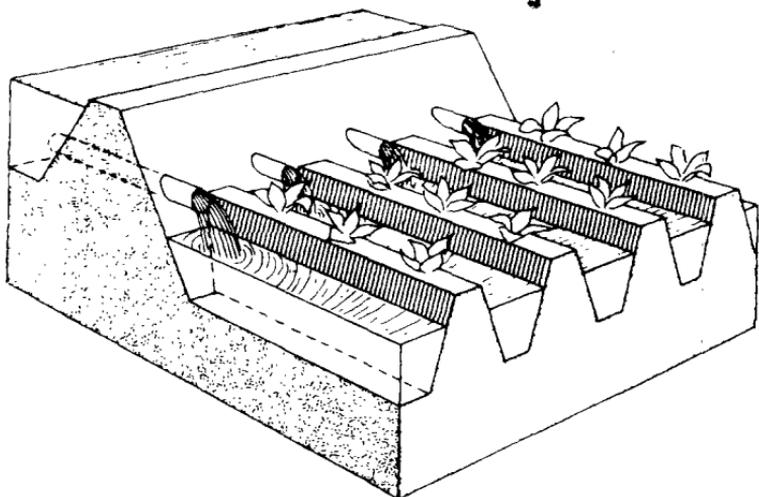
Les prises d'eau entre les canaux et les sillons peuvent se faire par :

- une ouverture aménagée sur la diguette du canal. Avec cette méthode il est difficile de contrôler le débit d'eau : l'ouverture des digues du canal provoque une érosion et des fuites d'eau incontrôlées. Cette méthode ne convient que pour les sols lourds argileux.

Alimentation par siphon



Alimentation par tuyaux



- une alimentation par des tuyaux : il s'agit soit d'un siphon qui passe au-dessus de la digue, soit d'un tuyau enterré qui passe à travers la digue.

Ce type d'alimentation a l'avantage de préserver la digue du canal et de calibrer exactement le débit voulu.

Cultures

Cette technique est adaptée à la plupart des cultures et en particulier à celles qui ne tolèrent pas la submersion de leur feuillage (beaucoup de cultures maraîchères). Elle est particulièrement recommandée pour les pommes de terre.

Avantages et inconvénients

- **Pour** : Elle permet de mieux calculer les doses d'irrigation que la distribution gravitaire par bassin. Elle permet d'irriguer des surfaces importantes de sols en légère pente. Elle convient à toutes les cultures en lignes. Elle permet d'irriguer de très jeunes plants sans dégâts.
- **Contre** : La distribution à la raie nécessite un aménagement important du terrain. Elle ne peut être utilisée avec les sols très perméables et les terrains très en pente.

L'irrigation en planche

Caractéristiques techniques

Le champ à irriguer est divisé en bandes de terre de plusieurs centaines de mètres, avec une légère pente. L'eau ruisselle le long de la parcelle en suivant la pente.

Ce type de distribution n'est pas adapté aux petites surfaces. Il convient aux grandes exploitations où les travaux sont mécanisés. Les sols doivent être profonds, argileux et limoneux et la topographie adaptée.

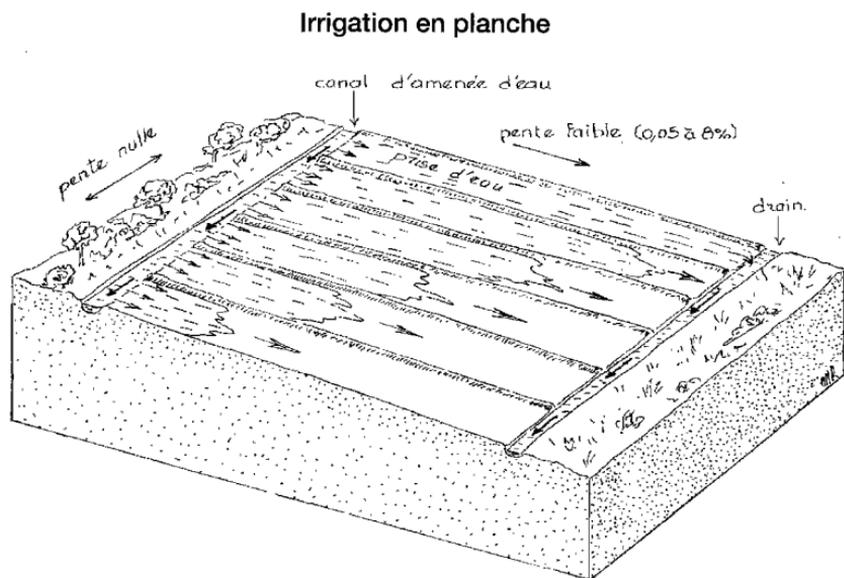
Ce type de distribution est difficile à mettre en oeuvre à cause des travaux de planage qu'il nécessite. Si le sol est sableux ou si la topographie ne permet pas de réaliser de grandes planches, il faut utiliser la distribution par bassins.

Cultures

Ce type d'irrigation est recommandé pour les cultures fourragères et céréalières.

Avantages et inconvénients :

- **Pour** : Elle permet d'irriguer de grandes surfaces avec peu de main-d'oeuvre.
- **Contre** : Ce type de distribution nécessite des grandes surfaces planes.



L'irrigation par aspersion

Caractéristiques techniques

Ce système arrose les plantes grâce à une pluie artificielle : l'eau sous pression est amenée à la parcelle par des canalisations ; l'aspersion est réalisée grâce à des asperseurs rotatifs que l'on appelle "sprinklers".

Cette méthode d'irrigation demande un investissement important. Elle demande un réseau de canalisations sous pression (entre 2 et 5 bars) et donc un système de pompage. La pression fournie par un château d'eau en hauteur est en général insuffisante puisqu'un réservoir placé à 10 mètres ne donne qu'une pression de 1 bar. Un sprinkler peut irriguer en moyenne une superficie d'environ 1000 m².

Pour les petites surfaces, on peut utiliser des sprinklers de jardins d'agrément avec des tuyaux souples.

Cultures

Ce type d'irrigation convient à toutes les cultures.

Avantages et inconvénients

- **Pour** : Le grand avantage de l'aspersion est de s'adapter à presque tous les types de sols et presque tous les types de cultures. L'aspersion permet une bonne rentabilité de l'eau d'irrigation : l'efficacité est de 80 %. Sur des petits périmètres où l'installation ne doit pas être déplacée, l'irrigation demande peu de main-d'oeuvre.

- **Contre** : L'investissement est très élevé : de l'ordre de 20 000 FF pour un hectare. Ce type d'irrigation nécessite une formation préalable. En outre, les distributeurs sont rares et il est difficile de trouver des pièces détachées.

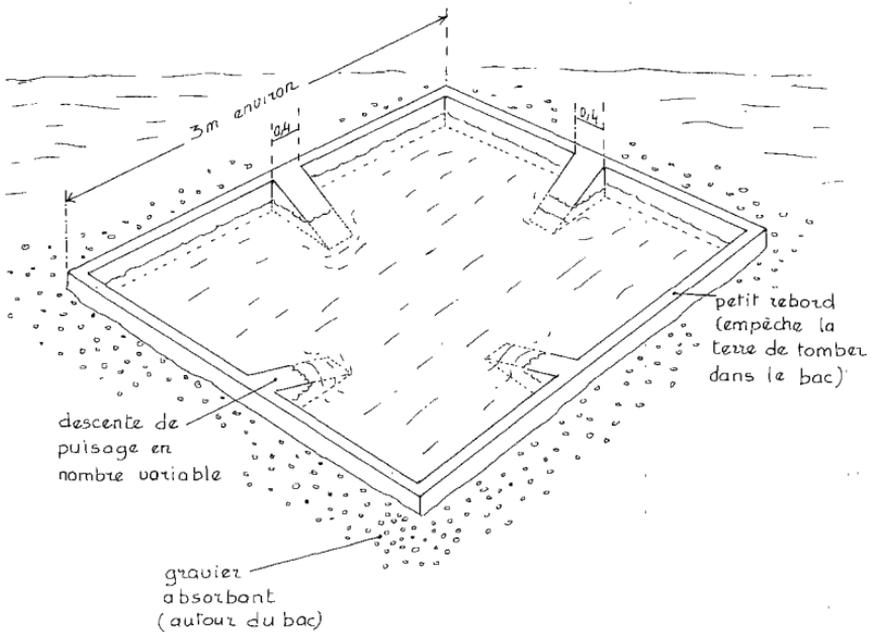
L'irrigation à l'arrosoir

Caractéristiques techniques

Un homme seul peut irriguer correctement 500 m². Cette méthode de distribution est donc utilisable seulement pour les petits jardins communautaires avec beaucoup de main-d'oeuvre (coopératives féminines par exemple).

L'arrosoir peut soit être utilisé sans système de pompage, soit permettre la distribution à partir de petits bassins de stockage disséminés dans le jardin et remplis par une pompe.

Aire de puisage



Cette aire de puisage aménagée permet à 4 personnes de puiser en même temps avec chacune 2 arrosoirs. Un tel bassin de puisage peut être installé au bord d'un marigot ou d'un fleuve. Il est aussi utile de répartir plusieurs bassins dans le périmètre, de façon à rendre moins pénible le transport de l'eau.

Il n'est pas recommandé d'arroser sans la pomme d'arrosoir, même si la vitesse d'épandage de l'eau et donc le travail sont plus rapides. Il est en effet plus facile de répartir l'eau sur la parcelle avec une pomme, et le débit

en pluie ne risque pas d'abîmer les jeunes plants. Pour les mêmes raisons, il faut éviter d'arroser avec un seau.

Cultures

L'arrosoir est la meilleure solution pour irriguer des semis.

Avantages et inconvénients

• **Pour** : L'arrosoir est très intéressant quand la quantité d'eau disponible est limitée, par exemple quand il s'agit de l'eau excédentaire d'un point d'eau d'hydraulique villageoise. En effet les pertes d'eau sont très faibles : l'efficacité est de l'ordre de 80 %.

Avec des planches cultivées dont on connaît la surface, il est facile de calculer la dose d'irrigation en nombre d'arrosoirs.

• **Contre** : Cette technique est ingrate mais très répandue et très efficace pour les petits jardins proches d'une source d'eau. Il faut s'efforcer de limiter le rayon d'action des points de puisage à une cinquantaine de mètres.



L'irrigation localisée

Caractéristiques techniques

L'irrigation localisée ou goutte à goutte n'arrose qu'une fraction du sol à partir de goutteurs ou de perforations dans une conduite sous pression.

Cette technique est très efficace et permet des économies d'eau très importantes par rapport à toutes les autres méthodes. L'eau est directement distribuée au niveau de la plante. Cette technologie n'a pas encore été vulgarisée en Afrique en dehors des centres de recherches ou écoles agronomiques. Elle peut être intéressante pour des cultures de haute valeur économique.

Ce système de distribution nécessite une eau très propre et donc souvent un système de filtration. Les débits nécessaires sont de 2 litres par heure pour les cultures maraîchères avec une pression minimum de 1 bar (soit un réservoir de 10 mètres de hauteur).

L'irrigation au goutte à goutte entraîne un développement racinaire proche de la surface du sol : le volume de sol exploré est faible. Si l'alimentation en eau est interrompue, les plantes souffrent et meurent rapidement. Cette technique nécessite donc une alimentation permanente et sûre.

• **Remarque** : il existe des moyens traditionnels d'irrigation localisée avec des canaris enterrés. Cette technique permet d'irriguer de petits jardins de 20 m² ou des pépinières.

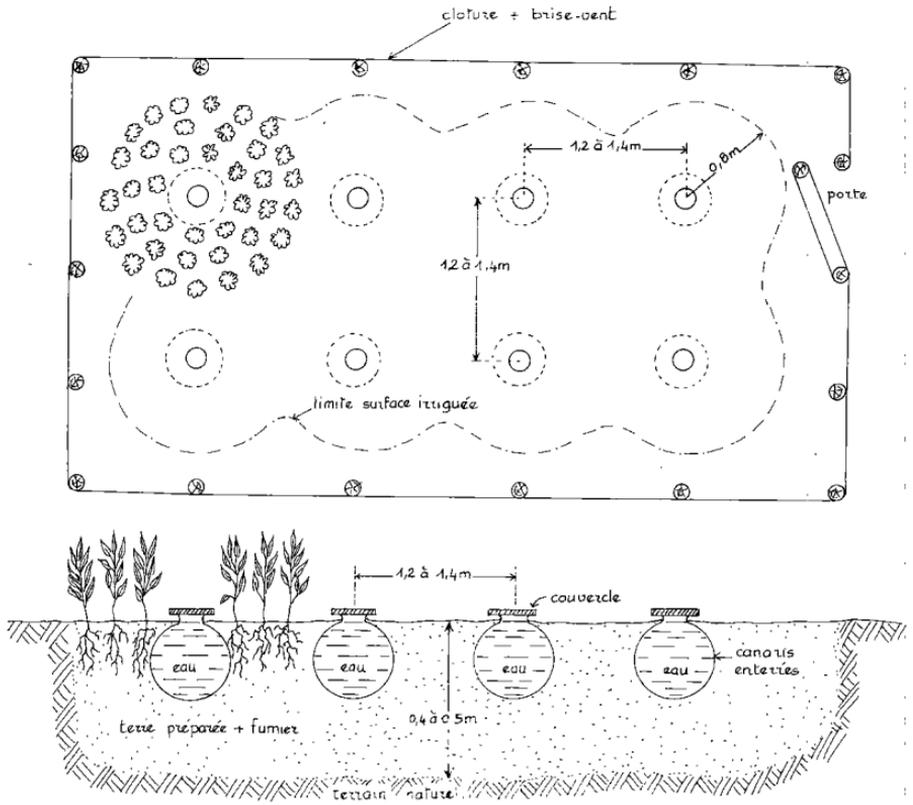
Cultures

Ce type de distribution convient parfaitement aux cultures maraîchères et fruitières.

Avantages et inconvénients

• **Pour** : C'est le type de distribution qui a la plus grande efficacité : de l'ordre de 90 %. Une fois installé il n'y a aucun travail à faire sinon une surveillance. Il s'adapte à tous les types de sols et est recommandé pour les sols salés.

• **Contre** : Le coût est très élevé : de 40 000 à 80 000 FF par hectare pour un système complet. Il nécessite une filtration de l'eau. C'est une technologie complexe, difficile à maîtriser et qui demande une formation approfondie.



Exemple de jardin de 12m² avec 8 canalis enterrés

Les systèmes de pompage

Une fois que l'on connaît les besoins en eau des cultures et que l'on a choisi un mode de distribution de l'eau, on peut sélectionner un système de pompage adapté.

Ils sont classés ici selon l'énergie qui les met en œuvre puis comparés en fonction de leurs caractéristiques techniques et de leur intérêt économique.

ENERGIE HUMAINE

Le seau, l'arrosoir, les pompes à main ou à pied sont des systèmes de puisage qui fonctionnent à l'énergie humaine.

Caractéristiques

Avec ces systèmes, les débits d'exhaure sont faibles. Avec une pompe manuelle, un homme peut remonter $1 \text{ m}^3 / \text{h}$ à 10 m de profondeur et $600 \text{ l} / \text{h}$ à 20 mètres de profondeur. Au-delà de 10 mètres, la profondeur a une incidence très forte sur les débits. A 40 m de profondeur, le débit passe à $300 \text{ l} / \text{h}$!

Il faut distinguer entre les efforts qu'un homme peut développer durant un court instant et les efforts sur une longue période d'1 à 2 heures. Lorsque le temps de travail est court, le débit annoncé ci-dessus peut doubler ou tripler. Pour avoir une valeur fiable, il convient de mesurer le débit d'une pompe à motricité humaine durant un laps de temps supérieur à 20 minutes.

Le pompage à la main est fatigant et monotone. Par les temps modernes, le maraîcher recherche toujours un système motorisé. Le coût d'achat des pompes manuelles souvent élevé (1000 à 2 000 FF) s'ajoute à la pénibilité pour limiter leur diffusion.

Lorsque le coût d'achat de l'équipement est faible (seau, pompes très rustiques), l'exhaure manuelle convient bien au maraîchers débutants ou peu engagés dans la commercialisation. Les faibles coûts de fonctionnement engagés pour une campagne de maraîchage limitent les risques. Si le producteur vend mal, il n'aura pas perdu d'argent ! En cas de bons résultats, il pourra envisager de motoriser son pompage. La pompe manuelle peut donc constituer, pour de petites surfaces, une première étape vers le pompage motorisé.

Matériels

L'énergie utile fournie par un homme dépend en partie de l'adaptation de la pompe à l'utilisateur. Le confort de travail détermine les performances. Ainsi une pompe à volant est plus confortable qu'une pompe à balancier. Les pompes qui font travailler tout le corps donnent de meilleurs débits que les pompes qui ne font travailler que les bras.

Une pompe manuelle est plus confortable que le puisage au seau. Elle permet de pomper plus d'eau durant une heure de travail. La pompe manuelle est surtout bien préférable aux seaux lorsqu'il y a transport d'eau. Faire circuler l'eau dans des tuyaux représente un gain de temps énorme par rapport au transport manuel.

Le choix du type de pompe à motricité humaine dépend des caractéristiques du site : quelle est la configuration du point d'eau ? Quelle est la hauteur manométrique de pompage (HMT) ? On choisira également en fonction des disponibilités locales en réparation et pièces de rechange. Cela conduira souvent à choisir des pompes déjà présentes dans la zone.

• *Pompes à motricité humaine pour l'irrigation à partir de puits*

Si la profondeur est inférieure à 5 mètres, trois types de pompes sont recommandés :

- la pompe à pied dite Tapak Tapak. Il s'agit d'une pompe à piston très bon marché, de l'ordre de 100 à 200 FF. Son rendement est bon, tandis que la maintenance est facile par l'utilisateur lui-même. Il s'agit d'une pompe artisanale fabriquée surtout en Asie ;
- la pompe à bouchon. Elle permet des débits très forts (jusqu'à 10 m³ / h) et est idéale pour les faibles pro-

fondeurs (jusqu'à 10 mètres) ;

– le chadouf, système traditionnel à balancier, est également une bonne solution, très économique.

Au-delà de 5 mètres, les pompes à piston conviennent bien. Il existe des modèles artisanaux en PVC qui conviennent aux usages individuels. Lorsque la pompe est collective et qu'elle fonctionne plus de 5 heures par jour, il est nécessaire de choisir un modèle de technologie industrielle (pompe INDIA, SEEE, Volanta, etc.)

Au-delà de 15 à 20 m de profondeur, l'effort de pompage est tel qu'il n'est plus intéressant d'irriguer.

• **Pompes à main pour l'irrigation à partir d'eaux de surface**

La hauteur de pompage est faible. La pompe a surtout un rôle de transport d'eau. C'est le seul cas où la pompe augmente de manière très importante le débit par rapport au puisage traditionnel (5 à 8 fois plus).



En général, la pompe est placée près de l'eau et la refoule vers le point haut du jardin. Il y a peu de pompes pour ce type d'utilisation (à membrane, à piston, Japy). L'effort de pompage reste fatigant. Les maraîchers s'orientent souvent vers la moto-pompe dès qu'ils le peuvent.

Le rendement est un critère de choix important, ainsi que le confort de pompage. Le débit chute très vite avec la HMT. A 1 ou 2 mètres de profondeur, il peut atteindre $5 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Le prix de la pompe est souvent largement augmenté par le coût des tuyaux. Ceux-ci ne doivent pas être sous-dimensionnés afin d'éviter les pertes de charge, sources d'efforts inutiles ($\varnothing 50$ ou 60 mm).

L'irrigation à la calebasse en pays dogon, au Mali :

Les Dogons sont essentiellement des cultivateurs de mil et des jardiniers. Après la récolte du mil en octobre, les Dogons cultivent l'oignon et le piment, les seules cultures qu'ils pourront transporter dans ce pays montagneux. L'eau est disponible temporairement grâce à un barrage qui permet de retenir l'eau après la saison des pluies. Les parcelles sont aménagées en terrasses et l'eau est distribuée à l'aide de grosses calebasses de terre. Les femmes utilisent ensuite des petites calebasses de bois pour répartir l'eau sur la parcelle.

• Pourquoi ce type d'irrigation ?

- c'est la plus facile à pratiquer ; elle ne demande aucune formation ;
- l'eau est disponible sans pompage ;
- Les surfaces individuelles sont très petites ;
- il y a une tradition récente du maraîchage irrigué ;
- la main-d'oeuvre est disponible en quantité ;
- les calebasses sont fabriquées sur place : le coût de l'irrigation se limite au travail ;
- il n'y a ni vendeur de pompes ni réparateurs sur la zone.

• Y-a-t-il une autre solution technique ?

- l'arrosoir permet de mieux irriguer, avec moins de fatigue.
- une pompe manuelle (type Kadiogo) pourrait être partagée entre plusieurs petit périmètres, mais il faudrait dépenser une somme importante pour l'acquérir et créer une organisation commune.

La Kadiogo, une pompe pour irriguer en bord de mare à Pabré, au Burkina Faso :

A Pabré, au Burkina Faso, des maraîchers utilisent une Kadiogo. Cette pompe est munie d'un tuyau qui amène l'eau directement jusqu'aux planches de légumes. L'eau est pompée à 3 m et permet d'irriguer environ 3 000 m². Le cultivateur pompe durant 4 heures par jour. Il est aidé par une autre personne qui dirige l'eau à travers un système de petits canaux vers les planches de légumes.

La production est vendue chaque année sur le marché de Ouagadougou. En une ou deux campagnes, la pompe peut être remboursée.

- *Pourquoi ce type d'irrigation ?*
 - un projet l'a présenté et a proposé un crédit ;
 - le fabricant n'est pas loin, il saura réparer en cas de panne ;
 - le débit est suffisant pour la surface ;
 - le maraîcher n'avait pas assez d'argent pour se payer une motopompe ;
 - le maraîcher ne voulait pas dépenser trop d'argent durant la campagne avant de vendre ses produits ;
 - il souhaitait toutefois agrandir ses surfaces.

- *Y-a-t-il une autre solution technique ?*
 - une motopompe conviendrait bien.

ENERGIE ANIMALE

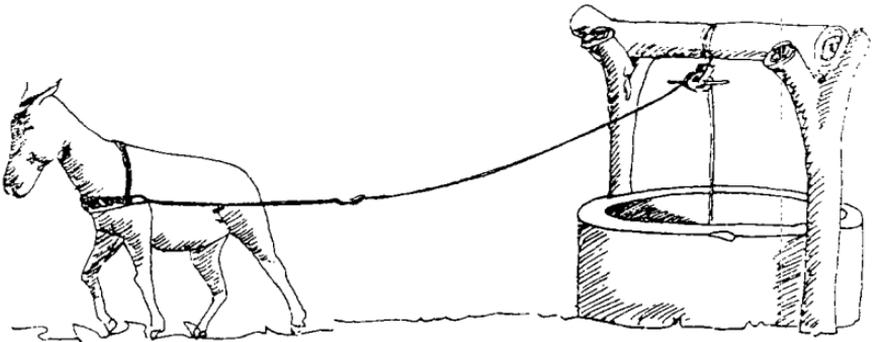
Caractéristiques

Le pompage avec les animaux est une pratique ancienne dans de nombreuses cultures : Europe, Egypte, Maroc, Niger, Soudan... Il est toutefois maintenant concurrencé par les moteurs qui sont d'emploi beaucoup moins fatigant et plus souple.

Les avantages de la traction animale sont de délivrer un m³ d'eau peu cher, d'utiliser des ressources locales tant énergétiques que matérielles et humaines, et surtout d'intégrer l'animal à l'exploitation agricole en utilisant ses sous-produits : viande, lait, peau, fumier.

De nombreux programmes de diffusion du manège à traction animale se sont développés dans les années 80. Les résultats ont été décevants : sur le plan technique, des manèges peuvent être fabriqués en Afrique et ils fonctionnent avec les animaux locaux de manière satisfaisante. Mais les systèmes introduits n'ont pas été reproduits.

Le manège est limité dans son domaine d'utilisation par la disponibilité des points d'eau. Il faut des puits ou des forages de bon débit car la puissance installée autorise plusieurs m³ / h de pompage. Or les puits ont souvent de faibles débits, surtout quand il s'agit de puits maraîchers. Sa diffusion est limitée également par la disponibilité en animaux. Les femmes en particulier sont très rarement propriétaires des animaux. De plus, il faut une présence constante pour faire avancer l'animal.



Chapitre 3

Le facteur certainement le plus limitant, et souvent rédhibitoire, est la gestion de l'animal. Il faut s'en occuper, le dresser, le nourrir, le garder à proximité du village. Cela est une source d'ennuis et de contrainte qui, comparée à la facilité d'utilisation des motopompes, handicape fortement le manège à traction animale.

La puissance fournie par un animal varie extrêmement d'une bête à l'autre. Ordres de grandeur (en Afrique) :

	ANE	BOEUF	CHEVAL OU CHAMEAU (COMPARAISON)	HOMME
Force de traction (effort continu)	20 kg	40 kg	50 kg	
Débit à 10 m de HMT	1 à 3 m ³ /h	5 à 7 m ³ /h	5 à 12 m ³ /h	1 m ³ /h

Les matériels

Les types de manèges de pompage sont très diversifiés.

- *Manège pour puits inférieurs à 2,5 m*

Il s'agit de faire passer de gros débits (par exemple 50 m³ / h). Les manèges égyptiens sont la référence : tympan (roue spiralee) ou zawafa (chaîne à godets). Ils ne sont pas commercialisés, sauf en Egypte.

- *Manège pour puits supérieurs à 2,5 m*

Manèges rotatifs entraînant une pompe à godet ou à chapelet, voire à piston (Sahores) ; manèges à aller-retour rectilignes : délou ou Guéroult, qui consistent à faire remonter un seau plein d'eau. Ces derniers sont très performants quand le puits est profond (par exemple 2 m³ / h à 60 m). Le délou est une technique traditionnelle. Le Guéroult, qui est équipé d'un système automatique de vidage des seaux, n'est commercialisé qu'au Sénégal et au Niger.

- *Manège pour forage*

Il existe peu de matériels, excepté le système Sahores (non commercialisé sauf fabrication locale au Sénégal et au Burkina Faso).

- *Manège pour eaux de surface*

Quasiment pas de matériels, sauf le manège avec pompe à membrane (commercialisé) et le bidon verseur au Niger.

Choix et dimensionnement

Le choix et le dimensionnement d'un manège sont fonction de la topographie du site, de la profondeur et de l'environnement technique. Il s'agit le plus souvent de techniques à mettre en oeuvre localement, avec des artisans.

Lorsque le travail des animaux est continu et permanent (cas des manèges rotatifs), on veillera à alléger l'effort de traction. En Afrique par exemple, les animaux ne sont pas très forts. L'effort fourni est proportionnel au poids de l'animal. L'alimentation est également un facteur important, même pour les ânes ! Un animal peut travailler 8 heures par jour. En pratique, 4 h / jour font déjà une bonne moyenne.

◆ **Exemple de dimensionnement** : Pompage sur un puits maraîcher à 7 m de profondeur pour l'irrigation de 20 ares de maraîchage. Irrigation tous les 2 jours.

Le besoin en eau est de $7 \text{ l} / \text{m}^2 / \text{jour}$, soit $14 \text{ m}^3 / \text{jour}$, soit 28 m^3 par jour d'irrigation. On pourra choisir soit un délou peu cher mais mal adapté à cette gamme de profondeur, soit une pompe à chapelet. Les débits seront les suivants :

		DÉLOU	CHAPELET
Débit à 7 mètres	âne	2,5 m ³ /h	4 m ³ /h
	bœuf	4 m ³ /h	8 m ³ /h
Durée du travail par jour	âne	11 h	7 h
	boeuf	7 h	3,5 h

Ainsi, avec un délou il faudra travailler 7 h avec 2 animaux (chacun 3 h30) ; avec un manège chapelet, 1 boeuf ou 2 ânes conviendront.

Le délou de Bamoiré, en Mauritanie

Ce périmètre de 3 000 m² est irrigué grâce à un délou actionné par deux ânes à partir d'un puits. L'eau est puisée à 10 m de profondeur et déversée dans des petits bassins ; un système de tuyauterie relie ces petits bassins à des réservoirs de 5 m³. L'arrosage se fait ensuite à l'arrosoir sur les planches situées tout autour. Le périmètre a une activité saisonnière et produit les légumes pour la ville de Nouakchott située à 100 km. Ces maraîchers sont d'ancien nomades. Ils utilisent le même moyen de pompage que celui qu'ils utilisaient auparavant pour abreuver leur bétail. Ils ont simplement adapté la technique traditionnelle à l'irrigation.

Pourquoi ce type d'irrigation ?

- il était déjà utilisé pour l'exhaure nomade et n'a nécessité aucune formation de ces utilisateurs ;
- il est adapté à la petite surface du périmètre ;
- il est adapté à l'exhaure sur puits ;
- le périmètre est saisonnier, il ne peut pas supporter un moyen de pompage motorisé.

Y-a-t-il une autre solution technique ?

- une pompe manuelle pourrait rendre un service équivalent ;
- une éolienne pourrait être utilisée si la région est ventée et s'il existe un réparateur.

ENERGIE SOLAIRE

Caractéristiques

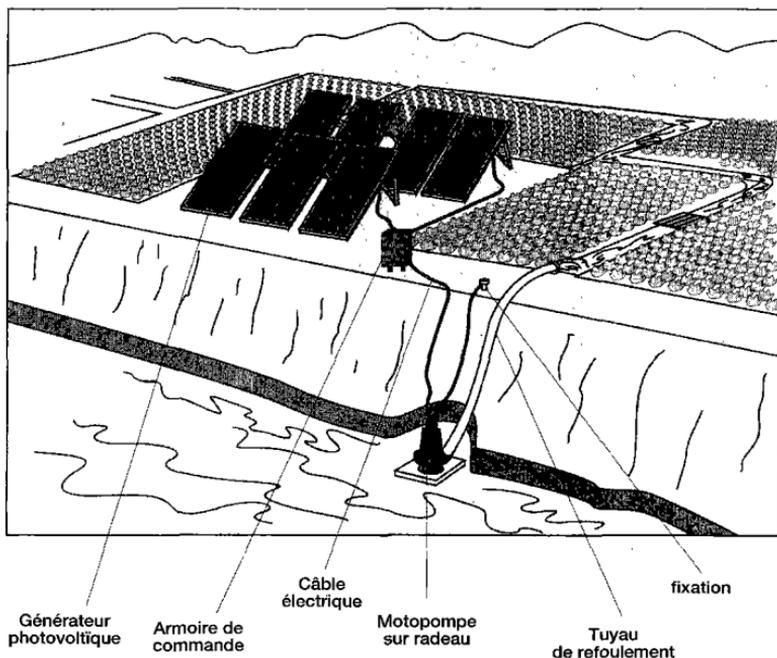
Seuls sont intéressants les systèmes que l'on appelle photovoltaïques (PV) où des panneaux de photopiles produisent un courant électrique. Une cellule de silicium exposée au soleil produit un courant électrique, sans mouvement d'aucune pièce, sans consommation de carburant ou de main-d'oeuvre. La durée de vie est estimée à 15 ans au minimum. Leur fiabilité est excellente, même si cela n'exclut pas toutes les pannes puisqu'un système photovoltaïque n'est pas composé uniquement de panneaux solaires.

Il y a deux sortes de panneaux solaires : les modules au silicium amorphe et les modules cristallins. L'amorphe coûte moins cher que le cristallin. Sa durée de vie est moindre (5 à 10 ans contre 15 ans). Son rendement est moitié moindre. Il reste destiné aux faibles puissances.

L'eau est pompée lorsque le soleil brille, c'est-à-dire de 10 h à 16 heures, avec un maximum de débit au midi solaire. La puissance maxima de la pompe solaire obtenue dans les meilleures conditions d'ensoleillement est appelée puissance crête. On l'exprime en watt crête (Wc). Cette puissance est utilisée pour définir la taille des pompes solaires. Il faut constater qu'elle n'est pratiquement jamais atteinte. La technologie, qui évolue peu à peu, permet actuellement à 1 m² de panneaux de titrer 100 watts crête.

Les panneaux solaires produisent du courant continu et peuvent alimenter directement une pompe à courant continu. Ces pompes, lorsqu'elles sont destinées à l'irrigation, sont souvent des pompes de surface placées sur radeau flottant. Elles nécessitent un changement des balais une fois par an. Une autre formule est de transformer le courant en courant alternatif. C'est la solution adoptée pour le pompage sur forages qui utilise des pompes standard. L'onduleur électronique qui assure cette transformation est toutefois un équipement cher et de haute technologie.

• Pompes solaires de surface



Il est difficile de rentabiliser une pompe solaire de surface pour l'irrigation.

Le premier problème est le manque de souplesse de la pompe solaire : le débit journalier est constant durant les 365 jours de l'année ! Or les cultures ont des besoins en eau qui varient du simple au double. Ainsi, les besoins de pointe déterminent la surface maximum irrigable avec la pompe solaire, ce qui signifie que le reste de temps, une partie de l'eau pompée sera perdue. Par ailleurs, une campagne culturale dure en général 4 à 6 mois. En faire 2, voire 3 par an est possible mais demande une remarquable maîtrise des techniques agronomiques.

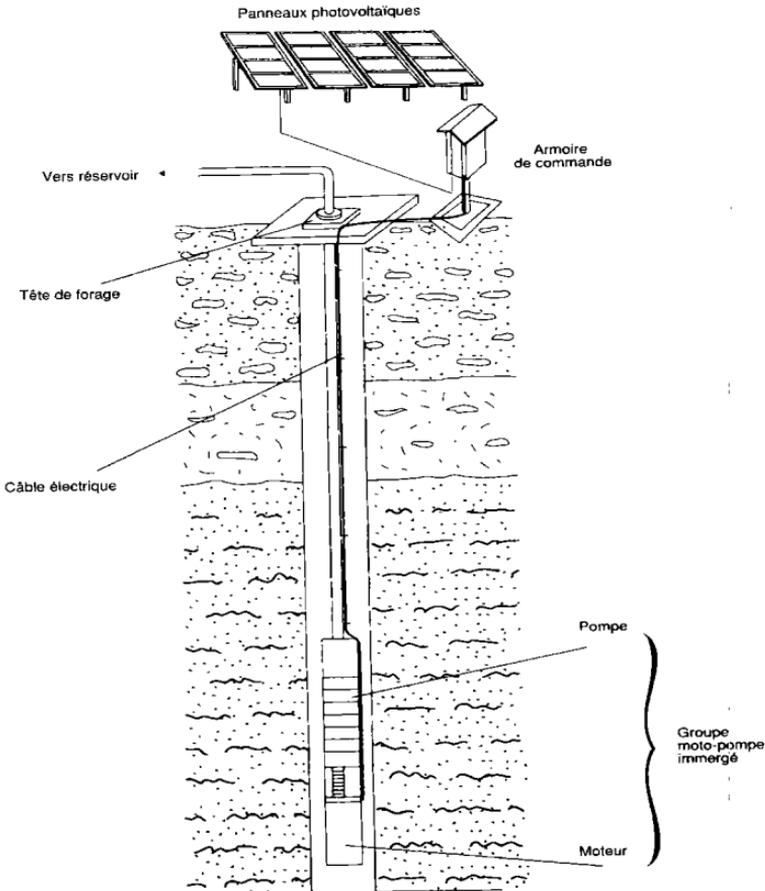
Ainsi, la quantité d'eau réellement utilisée pour les cultures n'est qu'une partie du débit pompé (de 50 à 80 %), ce qui augmente d'autant le coût de l'eau. Le manque de flexibilité des pompes photovoltaïques peut être compensé par une installation mixte : motopompe essence et pompe PV. La motopompe permet d'écrêter les débits de pointe et de valoriser une plus grande partie de l'eau solaire.

Le second problème vient de la concurrence. Les petites motopompes essence ou diesel qui donnent des débits similaires

sont très bon marché car elles sont produites en grand nombre. De ce fait, il n'est pas possible au photovoltaïque d'être compétitif. Des calculs de rentabilité basés sur 15 ou 20 ans de fonctionnement montrent qu'à long terme, l'écart se réduit fortement entre les deux produits. Mais qui est capable d'investir lorsque la rentabilité ne pointe qu'au bout de 15 ans de fonctionnement optimal ?

• *Pompe solaire de profondeur*

Elle équipe les forages de 10 à 60 mètres de profondeur. Ce type d'utilisation correspond aux besoins domestiques des populations et à l'abreuvement du bétail. Comme l'eau est profonde, son coût d'extraction est élevé et il n'est en général pas rentable de faire de l'irrigation. Le maraîchage est souvent fait avec le surplus d'eau restant après l'utilisation pour les besoins domestiques.



Dans ce cas, il faut comparer le solaire aux pompes immergées mécaniques ou électriques qui sont aussi très coûteuses. Le prix du m³ d'eau est élevé pour tous les types d'énergie ; le solaire garde un avantage certain si l'on calcule le coût moyen de l'eau sur 10 années d'utilisation.

Pour des raisons économiques, la taille de la pompe solaire restera inférieure à 6 kWc.

Vu son coût, c'est un équipement collectif. La création d'un dispositif communautaire de gestion est donc un préalable à son installation. Ce dispositif est complexe à mettre en place car il s'agit de collecter et gérer des sommes importantes durant un grand nombre d'années (10 ans).

Un réservoir est pratiquement toujours nécessaire afin de bien utiliser l'eau. A noter que les coûts de maintenance sont pratiquement indépendants du nombre d'heures de fonctionnement. On cherchera donc à optimiser pour chaque saison l'utilisation de toute l'eau produite par la pompe.

Dimensionnement

• *Quelle est la puissance d'un panneau solaire ?*

1 panneau au silicium cristallin	=	50 watts crête
1 panneau au silicium amorphe	=	de 2 à 20 Wc selon sa surface

• *Quelle énergie reçoit-on du soleil ?*

La quantité journalière d'énergie reçue du soleil (l'irradiation) dépend de l'inclinaison du soleil et de la nébulosité du ciel. Elle est à prendre en compte dans tous les calculs de dimensionnement. Voici quelques ordres de grandeur :

	IRRADIATION (IR)
Sahel	6 kWh/m ² par jour
Afrique équatoriale	4 kWh/m ² par jour

- **Comment calculer la taille d'une pompe solaire ?**

$$P_c = \frac{10 \times Q \times H}{I_r}$$

P_c : puissance crête (W)

I_r : ensoleillement (kWh / m² par jour)

Q : débit (m³ / jour)

H : hauteur totale de pompage (HMT) en m
(QxH est exprimé souvent en m⁴ / jour)

Au Sahel, la formule se simplifie et devient :

$$P_c = 1,7 \times Q \times H$$

- ◆ **Exemple** : A Niamey, pour pomper 30 m³ / j à 20 mètres de hauteur (pertes de charge comprises), il faut une pompe solaire de 1 000 Wc. La pompe fonctionne environ 6 h / jour. Le débit est maximum au midi solaire.

ENERGIE ÉOLIENNE

Caractéristiques

Pour utiliser les éoliennes, le site doit être réputé très venté : la vitesse moyenne annuelle du vent doit être au minimum de 4 m / s. La répartition des vents sur le site par plages de vitesses est une information plus riche mais souvent difficile à obtenir.

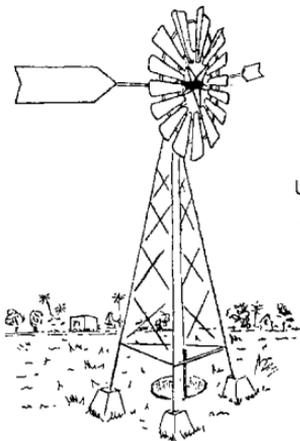
Pour justifier l'installation d'une éolienne, 6 à 8 heures par jour de vent d'une vitesse minima de 4 m / s sont suffisantes.

En Afrique de l'Ouest, il y a deux zones ventées : le littoral atlantique au nord de Dakar et le Sahel (Mauritanie, Nord Mali, Nord Niger, Tchad). Tous les pays côtiers de l'Afrique humide, de la Casamance jusqu'au Congo, ne sont pas ventés. On peut simplement y rencontrer parfois quelques sites propices en raison d'effets de relief localisés.

Matériels

Il existe deux grands types d'éoliennes.

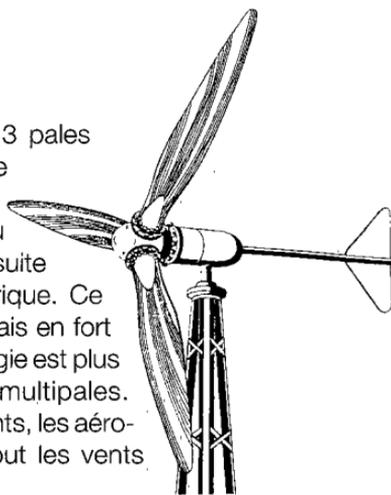
• Les éoliennes multipales



La surface réelle métallique du rotor est importante. Elles sont couplées mécaniquement à une pompe à piston car leur vitesse de rotation est lente (40 à 70 t / mn). Leur rendement est faible. C'est une technologie facile à maîtriser. Elles exploitent les vents de 3 à 8 m / s.

• Les aérogénérateurs

Ce sont des rotors à 2 ou 3 pales (type hélice) qui tournent vite (100 à 300 t / mn pour de petits rotors). Ils produisent du courant électrique qui est ensuite envoyé à une pompe électrique. Ce système est peu répandu mais en fort développement. Sa technologie est plus complexe que celle des multipales. Présentant de forts rendements, les aérogénérateurs exploitent surtout les vents supérieurs à 5 m / s.



Le système classique est l'éolienne multipale sur puits (ou sur forage). Les diamètres de roue vont de 1,5 à 8 mètres, les profondeurs exploitées de 10 à 80 mètres. Plus la taille est grande et plus difficiles sont la gestion et la maintenance par les utilisateurs ; les éoliennes de 1 à 3 m de diamètre sont faciles à maîtriser.

Les éoliennes ont pour inconvénient la grande variabilité du vent. Un bassin permettant un à deux jours de réserve d'eau est indispensable.

Leur avantage est de produire de l'eau à un coût bas, d'utiliser une énergie nationale et de favoriser les entreprises locales.

Dimensionnement

Pour dimensionner la taille d'une éolienne de pompage, il faut connaître le vent sur le site, ainsi que la profondeur de pompage et les besoins journaliers. On utilise alors la formule suivante :

$$S = \frac{2,725 \times Q \times H}{r \times V^3}$$

S : surface du rotor en m²

Q : débit en m³ / h

H : HMT en mètres

r : rendement mécanique { multipale : r = 5 à 10 %
aérogénérateur : r = 30 à 60 %

V : vitesse du vent en m / s

◆ **Exemple** : on veut obtenir avec une éolienne multipale 50 m³ / jour à 7 mètres de profondeur (HMT = 8 m) sur un site où le vent souffle 7 heures par jour à 5,5 m / s. La surface du rotor nécessaire est $S = 2.725 \times (50 / 7) \times 8 / 0.1 / (5.5)^3 = 9,36 \text{ m}^2$. Le diamètre du rotor est égal à : racine carrée de $(4 \cdot 9,36 / 3,14) = 3,5$ mètres.

En général, à 10 m de HMT, il faut compter pour une éolienne multipale :

- 1 à 2 m³ / jour par m² de rotor pour un site peu venté ;
- 3 à 6 m³ / jour par m² de rotor pour un site bien venté.

Sur un site donné, on double le débit en doublant la surface de la roue (c'est-à-dire, en multipliant son diamètre par 1,414). Par contre, comme la puissance d'une éolienne varie avec le cube de la vitesse du vent, un vent supérieur de 25 % seulement permettra de doubler le débit !

EXEMPLE DE DÉBITS ENREGISTRÉS

ÉOLIENNE	LIEU	PROFONDEUR	DÉBIT	M ³ .M / JOUR* PAR M ² DE ROTOR
multipale Ø 2,50 m	Mauritanie (bien venté)	15 m	20 m ³ / j	61
multipale Ø 3 m	Burkina (peu venté)	10 m	6 m ³ / j	8,5

* *Produit du débit / jour (m³ / jour) par la profondeur (m).*

Le dimensionnement de la pompe est en général proposé par le fournisseur sur indication des caractéristiques du site.

MOTOPOMPES ET ÉNERGIES FOSSILES

Caractéristiques

Une motopompe est un ensemble compact comprenant sur un même châssis un moteur et une pompe centrifuge. Le moteur consomme une énergie fossile, c'est-à-dire extraite du sol et non renouvelable. Il s'agit de tous les dérivés du pétrole : essence, diesel, pétrole lampant, gaz butane et propane.

La motopompe est d'une très grande souplesse d'utilisation et ses nombreuses qualités en font un outil inégalé pour la petite irrigation : elle se déplace facilement, s'installe immédiatement, sans aménagement particulier. Le débit fourni est important et correspond bien aux besoins et aux compétences du maraîcher.

Son coût d'investissement est raisonnable (par rapport à celui des énergies renouvelables) : les motopompes de petite taille coûtent 3 à 4 000 FF, parfois moins lorsqu'il s'agit de productions locales (les Tomos du Ghana coûtent 2 000 FF). Le coût de l'eau fourni par une motopompe inclut le carburant, les vidanges, la maintenance. Les coûts de fonctionnement sont

répartis tout au long de la campagne. Un investissement en fond de roulement est donc nécessaire avant de voir les premiers produits de la campagne. Une motopompe génère de bons bénéfices lorsque la production agricole est bien vendue.

La motopompe fait entrer le maraîcher dans une économie de marché. Vu les frais engagés tout au long de la campagne, il doit commercialiser afin de ne pas avoir travaillé à perte. Le risque financier existe et est d'autant plus grand que la surface cultivée, et donc les dépenses engagées pour l'eau, sont importantes.

Outre le risque financier, la motopompe peut présenter un risque pour la pérennité des points d'eau. Le débit d'exhaure est parfois trop fort et le sous-sol trop exploité, d'où un risque de dégradation de la zone de captage du puits allant jusqu'à l'écroulement de ce dernier. Dans les zones à risques de sel, la motopompe peut accélérer le processus de salinisation en exploitant les zones inférieures de la nappe phréatique, plus salées.

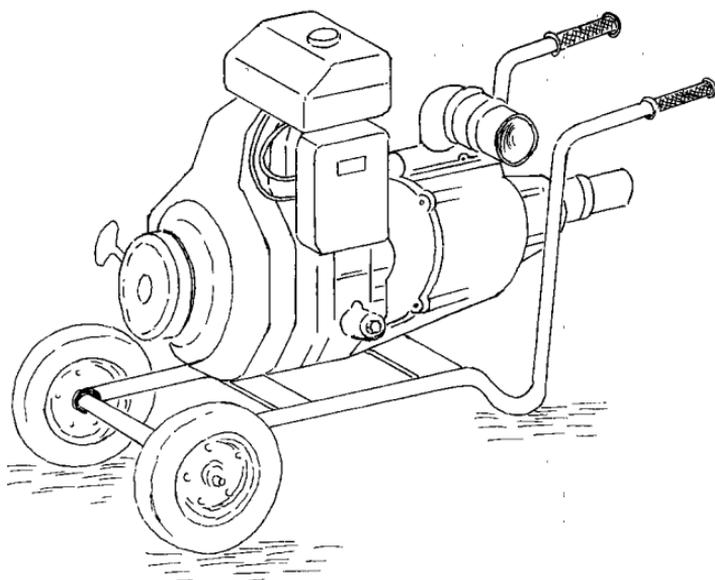
Les carburants fossiles ont le grand avantage de représenter une énergie concentrée et très souple d'emploi. Par contre, ils présentent des risques pour l'environnement et l'importation du carburant va poser des problèmes de devises croissants aux pays non producteurs de pétrole.

Pour de petites surfaces (moins de 2 ha), toute motopompe convient, même la plus petite. Nous donnons tout de même un exemple de dimensionnement des moteurs dans l'encadré ci-après et dans un exemple au chapitre 4.

Moteurs

Il y a quatre types de moteurs selon le carburant qu'ils consomment.

- **Les moteurs à essence** : ils consomment de l'essence ordinaire, dite "essence sèche" car on n'y a pas incorporé d'huile. Ce sont généralement des moteurs de petite taille. Ceux de 2 à 4 chevaux sont très répandus car très pratiques d'utilisation : ils coûtent peu cher à l'achat (2 à 4 000 FF), se transportent très facilement (parfois sur un vélo), se réparent aisément. Ils ont cependant de fortes vitesses de rotation (3 à 4 000 t / mn) et par conséquent une durée de vie limitée (3 à 4 000 heures).



- **Les moteurs deux-temps** : ils fonctionnent au "mélange", comme les moteurs de mobylette. Ce carburant est un mélange d'essence et de 4 % d'huile moteur. Cette huile sert à graisser les pièces du moteur. Il n'y a pas de bain d'huile et donc pas de vidanges à faire. Le mélange coûte 10 % plus cher que l'essence. Les moteurs deux-temps sont de petite taille. Ils sont moins robustes que les autres types de moteurs.
- **Les moteurs à pétrole** : ils consomment du pétrole lampant comme les lampes à pétrole. Leurs caractéristiques sont les mêmes que celles des moteurs à essence. Le pétrole est bien meilleur marché que l'essence. La consommation étant la même, ces moteurs sont plus économiques. Ils sont cependant peu distribués.
- **Les moteurs diesel** : ils fonctionnent au gazole et sont plus gros que les autres (les plus petits diesels font 3 à 4 ch environ). Leur rendement est meilleur. Tournant plus lentement (à 1 500 t / mn par exemple), ils ont une grande durée de vie (6-8 000 h). Les moteurs diesels modernes ont tendance à tourner plus vite, sans que leurs performances diminuent pour autant (fréquemment 2 800 t / mn en fonctionnement normal). Leur utilisation demande des précautions particulières (propreté du gazole) et les réparations sont plus complexes (tarage des injecteurs par exemple).

Consommation en carburant

A taille égale, la consommation est à peu près la même pour tous les types de moteurs.

Ceci signifie que les moteurs les plus économiques sont ceux qui utilisent le carburant le moins cher. A titre indicatif, voici quels étaient les prix en 1990 des divers carburant au Burkina Faso :

CARBURANT	PRIX DU LITRE BURKINA FASO-1990
Pétrole	160 F FCFA / litre
Gazole	260 F FCFA / litre
Essence	272 F FCFA / litre
Mélange	300 F FCFA / litre

La consommation dépend en théorie de la puissance du moteur et du travail fourni ; mais diverses enquêtes ont montré que pour les petits moteurs en dessous de 5 kW, d'autres facteurs viennent modifier ces paramètres : quand on utilise le moteur au ralenti, quand la pompe n'est pas bien adaptée ou quand le moteur est en mauvais état, les rendements sont mauvais et la consommation reste constante quel que soit le débit d'eau fourni.

Les petites motopompes qui pompent environ 15 m³ / h à 5 mètres de HMT consomment 0,3 à 0,4 litres par heure de fonctionnement.

L'entretien et la réparation des motopompes

Les opérations d'entretien de base consistent à :

- **faire la vidange de l'huile du carter moteur.** En principe, on change l'huile toutes les 100 heures, ce qui correspond à 2 mois de fonctionnement faible et 2 semaines de fonctionnement intensif. Souvent les maraîchers font la vidange plus fréquemment, ce qui est inutile.

Il faut utiliser de l'huile neuve référencée 40 ou 50 (2 litres

par vidange souvent) et ne jamais utiliser des huiles déjà brûlées. C'est pourquoi on évitera d'acheter de l'huile au détail dont on ne connaît pas l'origine ;

- **nettoyer ou changer le filtre à air.** Un nettoyage mensuel et un changement annuel sont recommandés ;
- **nettoyer ou changer les bougies.** Les bougies s'encrassent très rapidement et un nettoyage à chaque vidange est le minimum nécessaire.

Les motopompes sont relativement faciles à réparer, sauf les moteurs diesel. On trouve assez souvent des mécaniciens compétents car cette technologie est la même que celle des mobylettes ou des voitures. Il est toutefois nécessaire de vérifier si cela est vrai dans la région.

Le problème majeur est l'acquisition des pièces de rechange. Les fournisseurs n'ont pas tous un service après vente à long terme. Aussi il ne faut pas acheter de motopompe sans être certain d'avoir des pièces détachées plus tard. Mieux vaut choisir des fournisseurs solides et sérieux et des marques connues (Honda, Yanmar, Yamaha, Deutz, Lombardini, etc.)

Comment améliorer les performances d'une motopompe ?

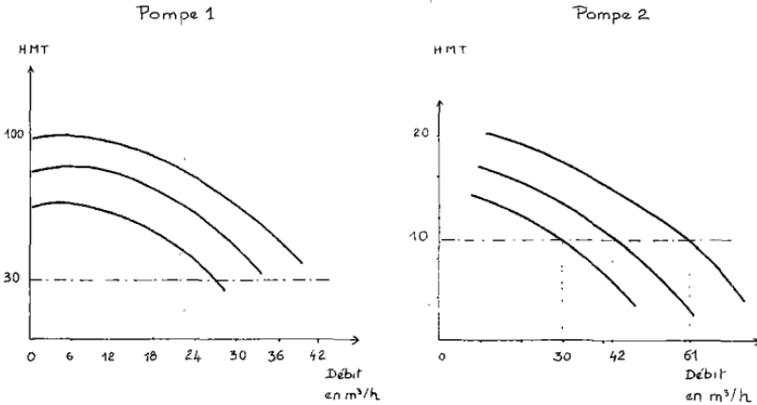
Une motopompe qui fonctionne dans de bonnes conditions a un meilleur rendement et consomme moins de carburant. On suivra les conseils suivants :

- **évités d'utiliser de trop petits moteurs.** Leur rendement est généralement plus bas que celui des plus gros moteurs et il diminue très vite lorsque les moteurs vieillissent ;
- **faites tourner les moteurs à leur vitesse nominale.** Il s'agit de la vitesse pour laquelle ils ont été construits. Ce n'est en général pas la vitesse maximale. Les techniciens pensent que l'utilisation du ralenti conduit à de mauvais rendements. Néanmoins, des essais provisoires conduits à l'ETSHER (Burkina Faso) en 1990 semblent remettre en question cette certitude ;
- **choisissez les pompes en fonction de votre HMT.** Ne les utilisez pas dans leur plage limite de fonctionnement. Par exemple, si la HMT est de 5 mètres, choisissez une pompe qui peut fonctionner de 0 à 10 mètres, plutôt qu'une pompe

Utiliser les informations des constructeurs

Voici deux courbes typiques de motopompes données par les constructeurs. Comment les utiliser ?

Les trois courbes sur le même graphique correspondent à différentes vitesses de rotation, c'est-à-dire à différentes positions de l'accélérateur. Choisissez plutôt la courbe du milieu.



La motopompe 1 peut théoriquement pomper de 30 à 100 m (elle peut fournir une pression de 3 à 10 bars). Vous la choisirez si votre HMT est de 50 m ou plus, ce qui n'est presque jamais le cas pour l'irrigation.

La motopompe 2 convient pour des HMT de 5 à 17 m, mais par sécurité, vous ne la choisirez que si votre HMT est inférieure à 14 m. Elle convient bien si la HMT est par exemple de 10 m ; le débit sera compris entre 30 et 60 m³ / h selon la vitesse du moteur (la puissance consommée est alors comprise entre 2 et 5 ch).

dont le domaine varie de 0 à 40 mètres. Ne choisissez surtout pas une pompe qui travaille de 0 à 5 mètres ou une pompe qui travaille de 5 à 20 mètres. Demandez à consulter les courbes de débit ou de rendement afin de vérifier si la pompe est bien adaptée au site ou non ;

- **n'utilisez pas de trop grandes longueurs de tuyaux** (supérieures à 20 mètres). Si vous y êtes obligé, choisissez des tuyaux assez gros (> à 50 mm de diamètre). Evitez les pas-

La motopompe, un outil de développement vital pour les paysans des oasis de l'Adrar, en Mauritanie :

Entre 1983 à 1992, le nombre de motopompes est passé de 800 à 2 549 dans les oasis de l'Adrar. Elles sont installées à proximité des puits, parfois au fond d'un contre-puits à ambiance confinée.

La motopompe a remplacé les moyens d'exhaure traditionnels : le délou et le chadouf. La taille est comprise entre 2,5 et 3 CV. Les surfaces irriguées sont faibles par rapport à la capacité des machines avec une moyenne inférieure à 5 000 m². Les ressources hydrauliques de l'Adrar sont limitées et l'utilisation intensive des motopompes met en danger la nappe alluviale. Les motopompes sont peu fiables à cause des conditions d'exploitation, du manque d'entretien et de pièces de rechange.

Pour diminuer les frais de fonctionnement, certains agriculteurs remplacent l'essence par du gaz butane. Le carburateur est retiré et le gaz admis directement sans filtration préalable. L'intrusion durable de butane dans le cylindre entraîne cependant des pannes fréquentes souvent irréparables.

• Pourquoi ce type d'irrigation ?

- L'absence de main-d'oeuvre ne permet plus d'utiliser les moyens traditionnels d'irrigation ;
- un projet de développement (le projet Oasis) a fait la promotion de cette machine ;
- il existe un marché pour la datte qui permet de couvrir les frais de fonctionnement des motopompes.

• Y-a-t-il une autre solution technique ?

- des éoliennes de pompage si le terrain est dégagé et pour les surfaces inférieures à 0,3 ha ;
- de petites pompes solaires de 500 watts ;
- peut-être les pompes électriques avec générateur.

sages difficiles dans la tuyauterie : brusques changements de taille, réductions, coudes, tés, vannes, etc. ;

- **placez la motopompe près de l'eau**. Réduisez la longueur d'aspiration ;
- **évittez d'augmenter la hauteur de pompage** en soulevant inutilement le tuyau de sortie.

ENERGIE ÉLECTRIQUE

L'électricité du réseau

L'énergie électrique est très économique lorsqu'elle est fournie par un réseau. Les économies d'échelle des générateurs électriques sont telles que les rendements globaux sont bien meilleurs que ceux des petits moteurs individuels, d'où un faible coût de l'énergie.

Le cas de figure typique est représenté par les maraîchers qui ont accès au réseau et qui équipent leurs jardins de pompes électriques centrifuges. Dans ce cas, quand le branchement est bon marché, l'eau coûte 3 fois moins cher qu'avec une motopompe standard. Le seul risque majeur réside dans les coupures de courant (parfois fréquentes !).

Ces pompes sont d'une excellente fiabilité et d'une grande durée de vie (7 ans). Des pompes spéciales existent lorsque les hauteurs sont inférieures à 5 mètres (vis d'Archimède, pompe à hélice adaptée).

Les groupes électrogènes

On peut aussi alimenter une pompe électrique avec un groupe électrogène. Les matériels sont fiables mais le coût d'investissement est élevé. Il faut en effet largement surdimensionner le groupe électrogène par rapport à la pompe en raison des efforts importants de démarrage (3 fois la puissance nominale). Un dispositif électronique de démarrage permettrait de réduire ce surdimensionnement.

Cette solution convient au pompage de profondeur, lorsque la motopompe ne peut plus être utilisée.

Dans les petites puissances qui nous intéressent, il n'existe pas beaucoup de groupes électrogènes faisant fonctionner des pompes et la rentabilité de tels montages n'est pas encore bien connue. Il conviendrait pourtant d'expérimenter ce type de pompage car les petits groupes électrogènes ne sont pas très onéreux.

ENERGIE HYDRAULIQUE

Il s'agit d'utiliser soit l'énergie d'une chute d'eau, soit celle du courant d'un cours d'eau.

Exploitation d'une chute d'eau

Pour créer une chute, on relève artificiellement le niveau de l'eau en créant un barrage ou en détournant en amont une partie du cours d'eau. L'énergie que l'on peut récupérer dépend de la hauteur de la chute et du débit d'eau qui passe.

On peut utiliser des pompes centrifuges couplées directement à la turbine hydraulique. La turbine peut également actionner un alternateur et alimenter une pompe électrique.

Il existe aussi le principe du bélier hydraulique qui utilise mécaniquement l'énergie de l'eau pour en refouler une partie en hauteur.

Dans le cas du bélier, le débit de pompage est calculé comme suit :

$$q = 0,5 \times Q \times \frac{h}{H}$$

q = débit de l'eau pompée

Q = débit de la chute d'eau à l'entrée du bélier

h = hauteur de la chute

H = hauteur à laquelle l'eau pompée est refoulée.

Le bélier est un équipement très robuste et fiable. Il ne fonctionne efficacement qu'avec une hauteur de chute de plusieurs mètres.

Exploitation de la vitesse du courant

Une roue, placée au bord du cours d'eau ou sur un bac flottant tourne avec le courant et actionne une pompe. Ce système est intéressant si la vitesse du courant dépasse 0,5 m / s. Mais les sites équipables sont peu nombreux : le besoin d'irrigation est rarement là où le courant de la rivière est fort.

COMPARAISON DES SYSTEMES DE POMPAGE

Résumé des principales caractéristiques

- l'homme** Très faible niveau de dépenses, faibles superficies cultivées, mais fatigant.
- le soleil** Coût d'investissement très élevé, très grande fiabilité des composants, non recommandé en pompage de surface.
- le vent** Demande des sites très bien ventés (vitesse moyenne supérieure à 4 m / s). Investissement initial fort, coût de l'eau global faible.
- les animaux**..... Niveau de puissance intéressant, mais la gestion d'un animal est une tâche trop contraignante.
- l'énergie hydraulique**..... Nécessite une chute de plusieurs mètres au minimum ou un courant d'au moins 1 m / s.
- la motopompe** Bon débit, permet d'irriguer des surfaces importantes, dépenses annuelles de campagnes importantes, nécessite de bien commercialiser
- l'électricité** Quand le branchement sur réseau est possible, c'est la solution à recommander. Le groupe électrogène est un investissement assez élevé.

Les gammes de débit pour l'irrigation

	DOMAINE DE PROFONDEUR	DÉBITS MOYENS
l'homme	0 - 15 m	0 à 10 m ³ / j
le soleil	0 - 40 m	0 à 50 m ³ / j
le vent	0 - 40 m	0 à 50 m ³ / j
les animaux	0 - 60 m	0 à 50 m ³ / j
l'énergie hydraulique	0 - 30 m	0 à 50 m ³ / j
les motopompes	0 - 10 m	0 à 200 m ³ / j
l'électricité	0 - 60 m	0 à 200 m ³ / j

Selon votre besoin :

BESOIN	ENERGIES UTILISABLES
Quelques m ³ par jour	<ul style="list-style-type: none">•homme, femme, enfant•âne•petite éolienne de moins de 3 m•pompe solaire de moins de 400 Wc
Quelques 10° de m ³ par jour	<ul style="list-style-type: none">•bœufs, chameau•éoliennes de plus de 3 m•énergie solaire de plus de 400 Wc
Plus de 100 m ³ par jour	<ul style="list-style-type: none">•motopompes

Choisir des énergies renouvelables ?

Les énergies renouvelables constituent une richesse locale. Leur exploitation évite les exportations de devises et développe les emplois pour construire les machines, les distribuer, les entretenir et les réparer. Elles respectent également l'environnement.

Elles présentent deux inconvénients majeurs :

- **L'énergie est disponible en quantité limitée**, généralement faible et seulement à certains moments. Il faut souvent stocker l'eau pour pouvoir l'utiliser quand on en a besoin. Il faut optimiser au maximum le système afin de parvenir à une rentabilité comparable à celle des autres systèmes de pompage ;
- **Le coût d'investissement est très élevé**. Une installation solaire coûte de 50 à 150 000 FF, une éolienne de 10 000 à 50 000 FF. Un manège coûte 10 000 FF. Ces coûts sont à rapprocher de ceux des petites motopompes qui sont de l'ordre de 5 000 FF. Ces montants importants interdisent la commercialisation des équipements à énergie renouvelable sans intervention de l'aide internationale.

L'avantage des énergies renouvelable est le faible niveau des coûts de fonctionnement. Ainsi, ces matériels se prêtent bien à des dons : le donateur investit afin d'alléger le coût de l'eau pour l'exploitant. Cette approche reste toutefois artificielle et dangereuse. Il vaut mieux appliquer dès le premier jour le vrai coût de l'eau afin de mettre en place des activités agricoles économiquement viables et d'éviter la concurrence déloyale.

Le développement des énergies renouvelables est souhaitable dans les pays en développement pour lesquels elles constituent une énergie d'avenir. Cependant cette diffusion demande des mécanismes financiers particuliers afin d'amortir sur des périodes longues (plus de 5 ans) les charges d'investissements.

Utiliser des technologies "appropriées" ou industrielles ?

Dans les années 80, de nombreuses expérimentations ont été faites avec des technologies appropriées. La définition du terme reposait alors sur le principe de réparation, voire de fabrication, par l'usager. Ceci a conduit à créer des pompes très rustiques, très bon marché mais de faible fiabilité. Les pannes étant nombreuses et les pompes peu solides, les maraichers les ont souvent abandonnées.

La notion de technologie appropriée a ainsi évolué : les pompes locales sont maintenant fabriquées par des ateliers en mécano-soudure. Les réparations sont faites par des artisans régionaux qui se font rémunérer leurs prestations.

En Asie, il existe bon nombre de pompes rustiques et très bon marché. Cependant, le contexte africain est différent et, dans le cas d'un transfert sud-sud, il n'est pas certain que ces matériels soient bien acceptés.

Il est très délicat de développer les systèmes traditionnels : ils n'ont pas une image valorisante. En outre, les contraintes de leur utilisation ne sont plus acceptées de nos jours.

Il est préférable que la diffusion des matériels soit assurée par des sociétés commerciales solides et viables. C'est la garantie d'un service sérieux et durable pour la fourniture des pompes et des pièces. Les projets de développement ont du mal à mettre en place des entreprises locales de fabrication. Ces entreprises, pour survivre, doivent disposer d'un marché régulier et suffisant durant des années, ce qui n'est généralement pas le cas sur un seul pays. Une entreprise viable devra donc avoir une vocation régionale et aura intérêt à être associée à une société étrangère disposant d'un marché international.

Le coût de l'eau

Les ouvrages

Un puits cimenté coûte 2 000 à 3 000 FF / mètre ; un puits de 10 mètres coûte donc environ 25 000 FF. On réalise de petits puits maraîchers pour quelques milliers de francs. Un forage, au sein d'un programme de 100 à 200 forages, coûte entre 30 000 et 50 000 FF en zone de roche dure. Un forage isolé peut être facturé beaucoup plus cher : 80 000 FF par exemple.

L'investissement

Il est préférable de regarder séparément les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement. Dans les faits, ils sont souvent supportés par deux acheteurs différents et ils sont appréhendés différemment dans une culture et une économie où une moyenne des coûts sur 10 ans n'a guère de signification.

La durée de vie est très différente selon les équipements. Les matériels les plus chers durent très longtemps (10 à 15 ans pour une pompe photovoltaïque).

• **Pompes manuelles**

Les systèmes traditionnels coûtent moins de 200 FF. Leur durée de vie est de quelques années. Les pompes modernes artisanales coûtent entre 500 et 1 000 F, pour une durée de vie de 5 ans. Il existe des pompes rustiques très bon marché (moins de 200 FF). Quand il y a des tuyaux, le coût monte vite car le tuyau coûte 20 FF / m.

◆ **Exemple** : un chadouf coûte 100 FF, une pompe Tapak à pied au Bengla Desh : 100 FF, une pompe à piston en PVC : 750 FF, une pompe Kadiogo au Burkina Faso : 1 500 FF, une petite pompe industrielle 1 500 FF, une pompe robuste d'hydraulique villageoise : 5 000 FF.

• **Pompes solaires**

Compter 100 à 120 FF par watt crête installé. Durée de vie : 15 ans.

◆ **Exemple** : une pompe solaire de 1 000 Wc qui pompe 30 m³ / j à une HMT de 20 m coûte environ 120 000 FF.

• **Pompes éoliennes**

Une éolienne métallique multipale installée coûte 20 000 FF quand elle fait 3 m de diamètre et 80 000 FF quand elle fait 6 m. Un petit aérogénérateur coûte quelques milliers de FF. Un aérogénérateur de 3 m coûte 25 000 FF et 50 000 quand il fait 5 m. La durée de vie des éoliennes est de 8 à 10 ans.

• **Manèges à traction animale :**

Les délous traditionnels coûtent moins de 300 FF. Les systèmes modernes coûtent jusqu'à 15 000 FF. La durée de vie est de 5 à 10 ans.

◆ **Exemple** : un système Guéroult au Sénégal coûte 12 000 FF à 40 mètres de profondeur. Un manège Sahores au Sénégal coûte environ 4 000 FF.

• **Motopompes**

Une motopompe de petite taille coûte 1 000 à 4 000 FF en Afrique de l'Ouest. Compter 500 à 700 FF / cheval. Les modèles provenant des pays anglophones sont moins chers. Le coût des tuyaux est compris entre 1 000 et 4 000 FF, ce qui double le prix d'achat de la motopompe. Les maraîchers achètent souvent des tuyaux d'occasion.

Chapitre 3

La durée de vie d'une petite motopompe est de 4 ans en moyenne d'après une enquête menée au Burkina Faso.

Résumé des coûts d'investissement :

ENERGIE DE POMPAGE	COUTS D'INVESTISSEMENT
l'homme	200 FF à 5 000 FF
le soleil	30 000 FF à 200 000 FF
le vent	5 000 FF à 80 000 FF
les animaux	300 FF à 15 000 FF
les carburants	2 000 FF à 20 000 FF
l'électricité	3 000 FF à 20 000 FF

Le fonctionnement

Tous les systèmes, mêmes les plus fiables, ont besoin de réparations et d'entretien. Ces interventions ont un coût qu'il faut prévoir d'une année sur l'autre. On estime ces coûts, chaque année, entre 5 % et 10 % du coût d'investissement.

• Petites motopompes (3-4 ch)

Carburant : 0,4 l / h pour un débit moyen de 14 m³ / h (enquête Burkina Faso 30 motopompes, 1991 (5,50 FF / l d'essence)).

Vidanges : 70 FF par vidange toutes les 100 à 200 heures.

Réparations : 30 à 50 F par saison (nettoyage).
Grosse réparation : 200 FF.

Les coûts d'entretien / réparation sont globalement estimés à 10 à 20 % des dépenses de carburant. Ceci donne pour un moteur fonctionnant 7 h / jour et irriguant 1,5 ha, un coût de l'eau de 0,25 FF / m³ en comptant l'amortissement.

• *Systèmes éolien et solaire*

Les coûts de fonctionnement se résument à une visite par an à un coût de 1 500 FF par exemple. Changement de certaines pièces à la fin de leur durée de vie (pompe tous les 7 ans par exemple).

• *Manèges à animaux*

Pour les animaux qui travaillent beaucoup, il est conseillé de compter un complément sous forme de 1 à 2 kg de céréales par jour, soit 75 FF / mois ; pour le matériel, une visite de maintenance par an à 300 FF par exemple.

• *Pompes manuelles*

Le besoin de maintenance dépend beaucoup de la pompe. Il y a quelques années, on comptait 1 000 FF / an pour une pompe d'hydraulique villageoise. Actuellement, compter la moitié.

Analyse économique

Le coût du m³ d'eau est un critère utile de comparaison des systèmes entre eux, mais toutefois insuffisant. Il n'a de valeur que pour des systèmes qui fournissent des débits journaliers comparables.

On le calcule en prenant en compte l'amortissement de l'investissement (à un taux d'intérêt de 10 % par exemple) et en y ajoutant les coûts annuels de fonctionnement et de maintenance.

Le coût du m³ d'eau est compris entre 0,5 et 1,5 FF / m³ lorsque les quantités pompées sont faibles (par exemple 10 m³ par jour à 10 m de HMT). Il diminue à moins de 0,5 FF / m³ lorsque le volume pompé est important (par exemple 100 m³ par jour à 10 m de HMT). Les motopompes ne trouvent vraiment leur rentabilité qu'à partir d'une production de 100 m³ / j, c'est-à-dire quand la surface irriguée augmente. Inversement, le pompage manuel devient de plus en plus coûteux au fur et à mesure de l'augmentation des besoins.

Un autre élément de l'analyse économique est le calcul du bénéfice monétaire annuel retiré par l'utilisateur du système de pompage. Le prix du m³ peut être plus élevé pour un système que pour un autre et générer malgré tout des bénéfices plus importants parce qu'il permettra de cultiver de plus grandes superficies.

Chapitre 3

Par exemple, une petite motopompe produit de l'eau à 0,25 F / m³, soit 2 fois plus cher que ne le fait une pompe manuelle. Toutefois, la motopompe génère un revenu brut, pour une campagne de maraîchage, 5 fois plus fort (7 500 FF). En effet, elle permet d'irriguer 1,5 ha contre 0,3 ha pour la pompe manuelle. Le bénéfice final pour l'exploitant est de 3 500 FF avec la motopompe et de 1 100 FF avec la pompe manuelle. Dans cet exemple, le bénéfice annuel contredit les conclusions basées sur le seul examen du coût du m³ d'eau.

Cette notion de bénéfice final est plus intéressante que l'évaluation du coût du m³, mais encore faut-il pouvoir commercialiser les produits de l'exploitation maraîchère et être capable de maîtriser les autres aspects de la production (fertilité, main-d'oeuvre, etc.).

En parlant de coût au m³ d'eau, il est important de garder à l'esprit le facteur d'échelle et de ne comparer que des systèmes qui peuvent être interchangeables et offrent le même service. On ne pourra en définitive comparer que des systèmes de pompe qui placent l'utilisateur dans la même situation socio-économique, dans un système de contraintes et d'avantages identiques.

Enfin, il faut garder à l'esprit que le coût de l'eau n'est qu'un des coûts de l'exploitation maraîchère : l'exploitant doit également payer les semences, les engrais, les pesticides, etc.. Dans une exploitation d'un demi-hectare irriguée par motopompe, les dépenses annuelles d'eau représentent le tiers de toutes les dépenses de la campagne et peuvent aller jusqu'à 50 %. Mais en tenant compte des coûts d'amortissement, le coût de l'eau atteint les 2 / 3 de toutes les dépenses. Il diminue quand la taille de l'exploitation augmente.

Exemple de coût de quelques systèmes de pompage :

**TABLEAU DES COÛTS (EN FF)
D'IRRIGATION POUR 1 HECTARE**

AÉROGÉNÉRATEUR MOTO-POMPE PHOTOVOLTAÏQUE			
• Coût d'achat du matériel	65 000	8 000	100 000
• Amortissement annuel (taux d'intérêt 10%)	9 600	2 500	14 000
Frais de fonctionnement			
• Essencé (5.3 FF / l)			
– 5 mois / an		3 000	
– 10 mois / an		6 000	
• Entretien annuel	3 500	1 500	2 000
• Total m ³ pompés / jour (HMT 5 m)	80	80	80
• Campagne 5 mois Coût du m ³ en FF	1.1	0.6	1.3
• Campagne 10 mois Coût du m ³ en FF	0.55	0.42	0.66

Chapitre 3

COMPARAISON DE DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'EXHAURE DE L'EAU POUR UNE HMT DE 8 M

	PUISSETTE ET CORDE	DÉLOU	POMPE MANUELLE RUSTIQUE	MOTOPOMPE 2CV
• Débit				
– m ³ / heure	0,9	2,8	1,4	23
– m ³ / jour	2,7	11,2	5,6	23
• Surface cultivée (are)	5	19	9	38
• Coût investissement (F)	70	500	600	3 000
• Durée de vie (an)	—	20	5	4
• Amortissement annuel (taux intérêt 5%)	—	40	140	850
• Coût de fonctionnement (campagne de 5 mois)	70	280	60	575
• Coût total d'1 campagne	70	320	200	1 425
• Coût du m ³ pompé (FF)	0,17	0,19	0,24	0,41
Revenu de la campagne				
– commercialisation sur la base de 5 000 FF / ha	180	630	250	475
– commercialisation sur la base de 2 500 FF / ha	1 180	4 430	2 050	8 075

Quelques notions théoriques

LES POINTS D'EAU

Les types de points d'eau

L'eau peut être pompée dans différents types de points d'eau

- **Les puits** : leur diamètre va de 1,20 m à 2 m et parfois davantage. Faciles à creuser et à entretenir, ils conviennent bien pour des profondeurs inférieures à 40 m. Leur débit est souvent faible, de quelques m^3/h , car le captage ne descend pas profondément dans la nappe ;

- **Les forages** : de diamètre de 10 à 20 cm, ils sont souvent effectués avec des foreuses coûteuses. Il existe cependant des techniques très simples de forage à faible coût lorsque l'eau n'est pas profonde. Les forages peuvent être très profonds (plusieurs centaines de mètres). Ils ont de meilleurs débits que les puits ;

- **Les puisards** : ce sont des trous peu profonds (moins de 3 m), creusés pour un usage temporaire. Les parois ne sont pas consolidées ;

- **Les eaux de surface** : mares ou fleuve. A mesure que la saison sèche avance, l'eau des mares se trouve de plus en plus éloignée des champs à irriguer. Les fleuves ont également un étiage.

D'une manière générale, plus l'eau est profonde et plus la rentabilité de l'irrigation diminue. Aussi la culture irriguée est-elle plus rentable à partir d'eaux de surface qui sont peu profondes et disponibles en grande quantité qu'à partir de puits ou de forages. L'irrigation par pompage au-delà de 20 mètres de profondeur est réservée aux régions où il n'existe pas d'autres sources d'eau.

Le débit d'un point d'eau

Le débit d'un point d'eau est la quantité d'eau qu'il peut fournir pendant un certain temps. Les débits sont en général exprimés en mètre cube par heure (m^3 / h). Le débit d'un point d'eau peut varier selon la saison ; il est donc intéressant de connaître le débit maximum et minimum sur l'année. Le débit du point d'eau est le facteur le plus limitant pour l'irrigation.

Dans le cas des eaux de surface (marigot, fleuve, mares), le débit est en théorie illimité. Il existe néanmoins des mares non pérennes (les lacs de petits barrages par exemple) qui peuvent s'assécher quand elles sont exploitées trop intensivement.

Pour les eaux souterraines, le débit est souvent limité dans le temps à très court terme ; si on pompe plus que ce débit, on risque d'endommager le point d'eau. C'est surtout le cas des puits.

Le débit des puits varie entre 0,5 et 5 $\text{m}^3 / \text{heure}$. Il est possible d'avoir une idée du débit du puits en pompant régulièrement pendant plusieurs heures et en observant la descente du niveau de l'eau en fonction du débit pompé. Le débit est calculé en fonction de la remontée du niveau de l'eau.

◆ Exemple : un puits a des buses de captage de 2 m de diamètre. Après un pompage intensif le niveau du puits a largement baissé. Il est ensuite remonté de 1 m en une heure :

Le débit est = $3,14 \times (2 / 2)^2 \times 1 = 3,14 \text{ m}^3$ par heure

En cas de débit inférieur à 1 m^3 / h , seul le pompage manuel peut être utilisé.

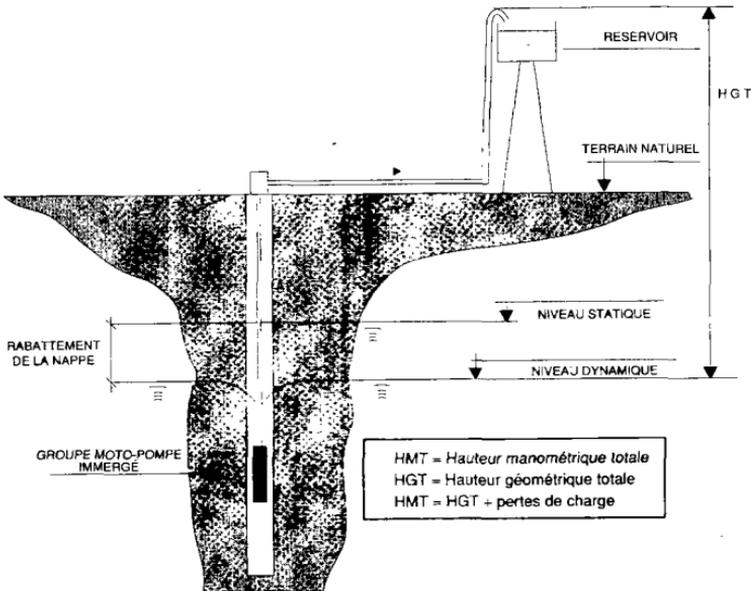
Les débits des forages sont en général supérieurs à ceux des puits. Il est difficile de les mesurer. Il faut utiliser le chiffre fourni par l'entreprise qui a réalisé le forage ou par l'administration qui l'a réceptionné. A défaut, on peut faire un essai de débit mais cela demande des moyens de pompage et de mesure importants. Les débits des forages s'expriment en $\text{m}^3 / \text{heure}$ par mètre de rabattement. En effet, plus le niveau dynamique est bas, plus le débit est important. Le débit est variable selon la profondeur. Par exemple un forage peut avoir un débit de 20 m^3 / h à 40 m de profondeur et de seulement 10 $\text{m}^3 / \text{heure}$ à 20 m.

LA HAUTEUR DE POMPAGE ET LA HMT

La hauteur de pompage est un paramètre essentiel pour le choix d'un système de pompage.

Hauteur géométrique de pompage

La hauteur de pompage est la différence d'altitude entre le niveau de l'eau du point d'eau et le niveau de sortie de la pompe. On l'appelle hauteur géométrique de pompage : elle est indépendante de la longueur ou de la forme des tuyaux et du chemin qu'ils suivent. La hauteur géométrique de pompage est également indépendante du fait que la pompe travaille en aspiration ou en refoulement. Il suffit de se poser la question : quelle est l'altitude de l'eau au départ et quelle est l'altitude de l'eau en sortie de tuyau ?

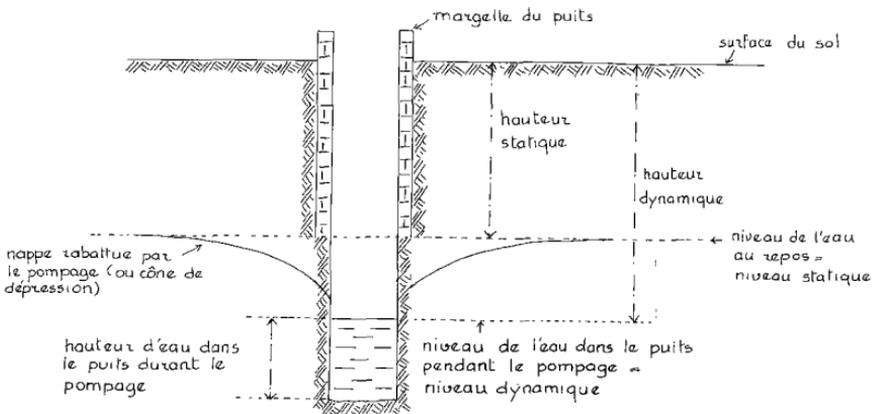


Dans un puits elle est facile à mesurer : on attache une pierre à une ficelle que l'on descend dans le puits. Quand la pierre entre dans l'eau, son poids devient moindre. On fait alors un noeud à la ficelle au niveau de la margelle. On n'aura plus qu'à retirer la corde du puits, à l'étaler sur le sol et à mesurer la dis-

tance entre la pierre et le noeud. Dans un forage, on a souvent besoin d'une sonde pour connaître la profondeur car on évite d'introduire une pierre qui risquerait de tomber au fond.

On mesure ainsi le niveau statique de l'eau, c'est-à-dire le niveau de l'eau après une longue période de repos. Lorsque l'on pompe, le niveau de l'eau dans le puits ou dans le forage descend. Il se stabilise à un niveau inférieur que l'on appelle "niveau dynamique". Ce rabattement entre niveaux statique et dynamique dépend du débit de pompage et des caractéristiques du point d'eau. Plus on pompe et plus le rabattement est fort. A chaque débit de pompage correspond un niveau dynamique.

Quand le débit de la pompe est supérieur au débit du point d'eau, le rabattement est alors plus grand que la hauteur d'eau dans le puits et le puits est asséché. La pompe se retrouve à l'air libre et se détériore.



Plus le rabattement d'un point d'eau est fort et plus la zone de captage exploite la nappe phréatique. Cela peut être dangereux lorsque les nappes sont fragiles : présence de sables très fins qui migrent avec l'eau et viennent combler le puits, ou présence de sel qui se situe en général au dessous de l'eau douce et qui est alors capté.

Le rabattement du niveau de l'eau dans un forage est souvent important (car il n'y a aucune réserve d'eau contrairement à un puits de grand diamètre). Quand on pompe dans un forage, on doit donc toujours connaître à l'avance le débit et le rabattement. Selon le débit de la pompe à installer, on déterminera

à l'avance le niveau auquel l'eau se stabilisera dans le forage. Ce n'est qu'à ce moment que l'on pourra connaître la hauteur de pompage et choisir précisément la pompe et la longueur de tuyauterie à placer dans le forage.

Quand on choisit une pompe, il faut prendre en compte les niveaux les plus bas atteints par l'eau dans le point d'eau : par exemple le niveau d'étiage pour un fleuve, ou le niveau de rabattement maximum pour un forage.

La hauteur géométrique de pompage est la différence d'altitude entre la sortie de l'eau et le niveau dynamique auquel se stabilise l'eau dans le puits ou le forage.

Les pertes de charge

Quand l'eau circule dans un tuyau cela crée des frottements. Quand l'eau doit passer par des étranglements du tuyau, des vannes, des coudes serrés, des embranchements, cela crée également des frottements. Ces frottements sont des pertes d'énergie. On les appelle les pertes de charge et on a pris l'habitude de les évaluer en mètres, comme s'il s'agissait d'une hauteur de pompage supplémentaire.

Les pertes de charge augmentent l'énergie consommée par le système de pompage et donc la consommation d'électricité ou de carburant. On cherchera, par mesure d'économie, à les diminuer au maximum en évitant les "accidents de parcours", les tuyaux trop petits (mais les gros tuyaux sont plus chers) ou trop longs.

Les pertes de charge sont souvent évaluées à 10 % de la hauteur de pompage. Elles dépendent de la forme des tuyaux, de leur taille et de leur longueur et surtout de la vitesse de l'eau. Lorsqu'il y a plusieurs dizaines de mètres de tuyaux, les pertes de charges deviennent importantes et il faut en tenir compte dans le choix de la pompe.

◆ **Exemple** : pertes de charge dans un tuyau de 50 mm de diamètre intérieur.

		LONGUEUR DU TUYAU	
		10 M	50 M
débit :	10 m ³ / h	0,4 m	2 m
débit :	30 m ³ / h	2,4 m	12 m

Les pertes de charge sont constituées par tous les frottements de l'eau dans les tuyaux.

La Hauteur Manométrique Totale (HMT)

La hauteur totale de pompage s'appelle la HMT. Elle est la somme de la hauteur de pompage et des pertes de charge.

Pour une installation sur un forage profond, la HMT sera peu différente de la profondeur de pompage. On a seulement l'habitude de rajouter 10 % pour les pertes de charge.

◆ **Exemple** : forage de 40 mètres de profondeur dont le niveau statique est de 15 mètres. Soumis à un pompage de $10 \text{ m}^3 / \text{h}$, le niveau dynamique du forage est de 25 mètres. La pompe alimente un château d'eau haut de 6 mètres. La hauteur géométrique de pompage est de $25 + 6 = 31$ mètres. Les pertes de charge sont estimées à 3 mètres. La HMT pour une pompe de $10 \text{ m}^3 / \text{h}$ est donc de $31 + 3 = 34$ mètres.

Pour une installation située au bord d'un fleuve, la hauteur de pompage est très faible ; par contre, les pertes de charge peuvent être importantes s'il y a beaucoup de tuyaux.

◆ **Exemple** : une motopompe installée au bord d'un lac irrigue un jardin situé sur la berge. En utilisant un niveau (un théodolite ou un simple tuyau transparent), on mesure que la hauteur de pompage est de 2 mètres. La motopompe fournit un débit de $10 \text{ m}^3 / \text{h}$. Il y a 40 mètres de tuyaux. La perte de charge dans les tuyaux est donc de l'ordre de 2 mètres. La HMT sera de $2 + 2 = 4$ mètres.

ENERGIE ET PUISSANCE POUR LE POMPAGE

Energie de pompage

L'énergie que l'on dépense chaque fois que l'on pompe de l'eau dépend de trois facteurs :

La profondeur de l'eau :

L'énergie à fournir est directement proportionnelle à la profondeur de pompage (ou HMT). Quand la profondeur double, l'énergie à fournir double. On peut exprimer cela d'une autre manière : pour une quantité d'énergie déjà fixée, le débit fourni par le système de pompage est divisé par 2 quand la profondeur double.

◆ **Exemple** : un homme pompe en une heure 1 m^3 d'eau quand l'eau se trouve à 10 mètres de profondeur. Il ne pompe plus que 500 litres durant la même période quand l'eau se trouve à 20 mètres.

La quantité d'eau pompée :

L'énergie à fournir est directement proportionnelle à la quantité d'eau pompée.

◆ **Exemple** : Une pompe solaire produit 20 m^3 d'eau par jour grâce à un générateur de 16 panneaux photovoltaïques. Pour disposer de 50 % d'eau en plus, c'est-à-dire de 30 m^3 par jour, il faudra augmenter sa puissance d'autant, c'est-à-dire ajouter 8 panneaux solaires.

Le rendement du système de pompage :

Le rendement est le rapport entre l'énergie fournie et l'énergie réellement utile pour le pompage de l'eau. Selon les systèmes, ce rendement varie de 20 à 70 % ! Il est inutile de rechercher des gains de rendement de quelques %. Cependant, le système choisi doit rester dans des limites de rendement raisonnable sinon l'eau devient trop coûteuse.

◆ **Exemple 1** : Le puisage et le transport manuels de l'eau au seau sur les berges d'un fleuve utilise l'énergie humaine avec un très mauvais rendement. Une pompe Kadiogo donne le même résultat avec moins de temps et de fatigue, ou, à effort égal, donne deux ou trois fois plus d'eau.

- ◆ **Exemple 2** : Une pompe centrifuge électrique mal choisie consommera deux à trois fois plus d'électricité qu'une pompe bien adaptée au site. Si l'on est branché sur le réseau électrique, le résultat est simplement un surcoût de l'eau qui peut rester acceptable. Par contre, si l'électricité fournie est limitée (aérogénérateur, pompe solaire), la pompe risque de ne pas marcher du tout.

On exprime la relation entre ces 3 facteurs par la formule suivante :

$$E = \frac{2,725 \times Q \times H}{r}$$

E : énergie consommée (en wattheures)

H : hauteur totale de pompage (HMT) (en mètres)

Q : quantité d'eau pompée (en m³)

r : rendement du système de pompage (en %).

- ◆ **Exemple** : Une pompe électrique doit fournir 120 m³ d'eau. La hauteur de pompage est de 6 mètres. Le pompage consommera donc 1 962 Wh. Le rendement de cette pompe est de 35 %. La quantité d'électricité totale consommée par le système de pompage sera de 5 605 Wh.

Puissance de pompage

On parle plus souvent de puissance de pompage que d'énergie. La puissance est la quantité d'énergie fournie dans un temps donné (1 seconde ou 1 heure).

- ◆ **Exemple** : un moteur d'une puissance de 3 kW fournit une énergie de 3 kWh en fonctionnant durant une heure.

En multipliant la puissance par la durée de fonctionnement, on obtient l'énergie à fournir au système.

$$P = \frac{E}{t}$$

P : Puissance à fournir par le système de pompage (en watt)

E : Énergie consommée (en wattheures)

t : Temps (en heures)

ou

$$E = \frac{2,725 * Q * H}{r}$$

H : hauteur totale de pompage (HMT) (en mètres)

Q : débit (en m³ / heure)

r : rendement du système de pompage (en %).

La notion de puissance est souvent utile pour connaître le débit instantané d'une pompe.

◆ **Exemple de puissance de motopompe** : La formule ci-dessus permet de calculer la puissance nécessaire d'une motopompe. Pour obtenir un débit de 20 m³ / h à 5m de HMT, il faut une puissance de : $(2.725 \cdot 20 \cdot 5) / 0.15 = 1817$ W soit 1.8 kW ou 2.5 chevaux. On a pris ici 15% comme rendement global de la motopompe (par exemple 50% pour le moteur et 30% pour la pompe). Ce rendement varie fortement selon les motopompes. Il augmente quand la taille de la pompe augmente. On peut l'estimer à 35% pour un moteur de 20 chevaux avec une pompe bien dimensionnée.

On a souvent l'habitude de caractériser les sources d'énergie par leur puissance. On parle d'un moteur de 3 chevaux (= 2,2 kW), d'un aérogénérateur de 5 kW, d'une pompe solaire de 1 400 watt crête. Cette puissance est en général celle que le générateur fournit lorsqu'il travaille à pleine puissance. Quand il est au ralenti, la puissance fournie est moindre.

La notion de puissance est intéressante mais est tout à fait insuffisante pour comparer les systèmes de pompage entre eux. Tout dépend en effet de la durée d'utilisation du système dans la journée. Un moteur peut fonctionner 24 h sur 24 en cas de besoin extrême. Certains maraîchers font fonctionner leurs motopompes jusqu'à 14 h par jour en périodes de pointe. Cependant, bon nombre de systèmes ont une durée de fonctionnement limitée : une pompe solaire ne marche que quand le soleil est présent, une éolienne, que lorsqu'il y a du vent. Il faut également tenir compte de considérations réalistes : un homme ne peut guère puiser plus de 4 heures par jour ou même conduire sa motopompe plus de 8 heures par jour.

Comparer les systèmes entre eux

La meilleure base de comparaison des systèmes de pompage est leur production d'eau à la journée, puisque c'est à la journée que s'exprime l'ensemble des besoins. L'énergie moyenne produite sur l'ensemble d'une journée peut s'exprimer :

- soit en m^3 / jour pompés à une certaine profondeur (1).

◆ **Exemple** : une pompe solaire de 1 kWc produit, à 20 mètres de profondeur, 30 m^3 par jour, tandis qu'une paire de boeufs fournit 15 m^3 d'eau à la même profondeur. Dans cet exemple la pompe solaire produit deux fois plus d'eau que la paire de boeufs.

- soit en Wh / jour

le wattheure, unité d'énergie, permet de ne pas citer la profondeur. C'est toutefois une valeur qui s'adresse davantage aux spécialistes.

◆ **Exemple** : une pompe solaire de 1 kWc fournit 1 635 Wh par jour. Il s'agit de l'énergie utile (appelé aussi Wh hydraulique). Son rendement étant de 40 %, elle consommera 4 087 Wh d'électricité par jour. Seuls 1 635 Wh sont utilisés pour le pompage de l'eau, le reste est perdu par échauffement.

COMPARAISON DES SOURCES D'ÉNERGIE ENTRE ELLES				
SYSTEME DE POMPAGE	DURÉE FONCT.	Q. D'EAU POMPÉE EN 1 JOURNÉE		
	PAR JOUR	À 5 M	À 15 M	À 30 M
	HEURES	M^3 / J	M^3 / J	M^3 / J
Puisette et corde	4	8	3	1,5
Pompe manuelle	5	10	4	2
Délou à âne	3	15	6	3
Délou à deux boeufs	6	100	35	20
Pompe solaire 1 kWc	5	100	35	18
Éolienne Oasis	10	20	10	5
Aérogénérateur 1kW	8	50	20	10
Motopompe de 3 ch	5	75	30	—
Groupe 6 kVA	5	75	30	15

(1) La profondeur s'exprimant en mètres, certains parlent alors de m^4 / jour. Par exemple, d'une motopompe qui fournit 100 m^3 par jour à une hauteur de pompage de 5 mètres on dira qu'elle produit une énergie de 500 m^4 par jour.

LE FONCTIONNEMENT DES POMPES

Les types de pompes

La pompe est un mécanisme qui "pousse" l'eau en avant. Il existe une multitude de principes pour y parvenir. Les pompes dites "volumétriques" donnent la même quantité d'eau à chaque tour ou à chaque coup, quelle que soit la vitesse à laquelle la pompe est actionnée. Par opposition, les turbo pompes donnent pour chaque tour un débit d'autant plus grand que la vitesse de rotation est grande.

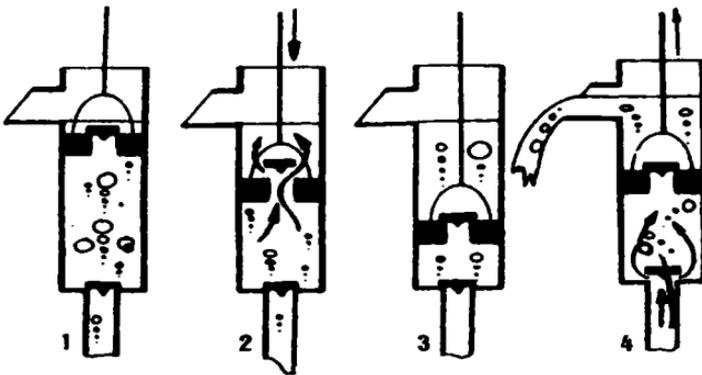
Parmi cette diversité de pompes, seules quelques-unes allient l'efficacité à la facilité d'utilisation et à la rentabilité économique.

Pompes volumétriques

La plus répandue est la pompe à piston. Elle se compose d'un piston équipé de joints d'étanchéité qui va et vient dans une chemise. Deux clapets complètent le mécanisme obligeant l'eau à ne passer que dans un sens.

La pompe à piston est souvent utilisée pour les pompes manuelles. Ce système discontinu crée parfois des chocs importants sur les pièces de la pompe.

UNE POMPE À PISTON



1 Premier temps

2 Deuxième temps

3 Fin du deuxième temps

4 De nouveau premier temps, l'eau accumulée au-dessus du piston est évacuée à l'extérieur

Parmi les pompes volumétriques, on trouve aussi la pompe à membranes basée sur le même principe, la pompe à godet ou à chapelet où une chaîne animée d'un mouvement sans fin plonge dans le puits, la pompe à vis d'Archimède et la pompe Moineau où un rotor de forme hélicoïdale pousse l'eau vers le haut en tournant.

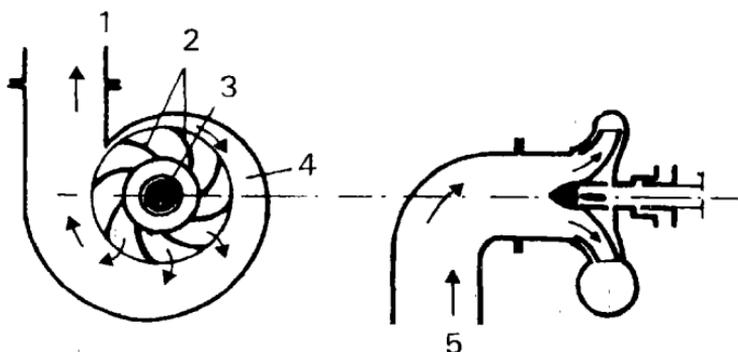
Le rendement des pompes volumétriques est à peu près constant quelle que soit la profondeur de pompage. Plus elle augmente et plus il faut que la cylindrée (le débit par coup) soit faible afin de ne pas augmenter l'énergie de pompage nécessaire.

Turbo pompes

Les turbo pompes équipent en général les moteurs qui tournent vite. La pompe centrifuge est très répandue. C'est la pompe qui équipe les motopompes. L'eau est éjectée par une turbine animée d'un effet rapide de rotation. On comprend que plus la vitesse de rotation est grande et plus la quantité d'eau éjectée est importante. Les pompes centrifuges sont encombrantes.

Pour les forages on préfère utiliser des pompes à hélice, souvent étagées avec plusieurs hélices les unes au-dessus des autres. Ces pompes propulsent l'eau très haut. Elles sont d'un encombrement très réduit ; certaines entrent dans des forages de 10 cm de diamètre.

Pompe à hélice



- 1 Refoulement
- 2 Ailettes
- 3 Rotor
- 4 Diffuseur
- 5 Aspiration

Le débit des turbo pompes est très dépendant des conditions d'utilisation. Il varie selon la vitesse de rotation de la pompe et selon la profondeur. Le rendement de la pompe varie de la même manière. Chaque pompe est prévue pour fonctionner dans une certaine plage de hauteur et de débit. En choisissant une pompe centrifuge ou une motopompe, on cherchera donc à connaître cette plage optimale d'utilisation.

◆ **Exemple** : une pompe centrifuge est prévue pour fonctionner à 25 mètres. A cette hauteur, elle a un rendement de 65 %. Si elle travaille sous une HMT très différente, exemple 40 mètres ou 5 mètres, le rendement chute beaucoup (40 % par exemple). La consommation de carburant, s'il s'agit d'une motopompe, augmente nettement.

Aspiration et refoulement

En poussant l'eau devant elle, la pompe crée un vide derrière elle. Ce "vide" crée une force d'aspiration. Une pompe est donc capable d'aspirer de l'eau et il n'est pas obligatoire de la placer dans l'eau ou au niveau de l'eau. Cette aspiration dépend

Une pompe ne peut jamais aspirer à plus de 7 mètres de hauteur. Par contre, elle peut refouler très haut.

de la pression atmosphérique et ne peut jamais dépasser 10,33 mètres. En pratique, du fait de pertes diverses, cette limite est égale à 7 mètres.

Par contre, une pompe peut refouler l'eau très haut, sur plusieurs dizaines de mètres selon les pompes.

L'aspiration créant une dépression dans la tuyauterie, les tuyaux d'aspiration doivent résister à l'écrasement. Ils sont donc plus onéreux que les tuyaux de refoulement.

Amorçage

Avant de commencer à pomper, quand une pompe n'est pas placée dans l'eau, elle est vide, ou plutôt pleine d'air. Quand on la met en route, elle commence donc à pomper de l'air et elle va ainsi petit à petit aspirer de l'eau. Or il est beaucoup

plus difficile de pomper de l'air que de l'eau. Certaines pompes ne sont pas capables de pomper suffisamment d'air pour faire monter l'eau jusqu'à elles. Il faut alors amorcer manuellement la pompe, c'est-à-dire remplir d'eau la pompe et toute la tuyauterie d'aspiration.

Les pompes qui n'ont pas besoin d'être remplies d'eau au préalable sont dites auto-amorçantes.

Les pompes des motopompes doivent souvent être amorcées à la main. Un orifice est prévu à cet usage.

La pression

La pression est la HMT à laquelle peut travailler la pompe. Elle s'exprime en mètres ou en bars.

10 mètres d'eau correspondent à une pression de 10 kg par cm^2 , soit 1 bar environ.

Pour une pompe, l'effort à fournir dépend de la HMT. Il ne dépend pas du volume d'eau qui pèse sur la pompe. C'est pourquoi, on peut par exemple faire arriver le tuyau de refoulement de la pompe dans le bas d'un bassin de stockage afin d'éviter de remonter l'eau trop haut.

Le débit

Le débit est la quantité d'eau délivrée par unité de temps. On exprime souvent le débit en m^3 par heure (m^3 / h) ou en litres par seconde (l / s).

Equivalences :

$$1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ litres}$$

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ m}^3 / \text{h} = 1\,000 \text{ l} / \text{h} = 0,278 \text{ l} / \text{s}$$

$$1 \text{ l} / \text{s} = 3,6 \text{ m}^3 / \text{h}$$

De gros débits demandent de grosses quantités d'énergie et donc des moteurs puissants. Il faudra utiliser de grosses pompes et les tuyauteries seront de forte section afin de réduire les pertes de charge.

Détermination des coefficients culturaux

VALEUR DES COEFFICIENTS CULTURAUX (Kc) POUR DIFFÉRENTES CULTURES ET DIFFÉRENTS PHASES DE CROISSANCE

CROP	PHASE INITIALE	PHASE DE DÉVELOPPEMENT	PHASE DE MI-SAISON	PHASE D'ARRIÈRE-SAISON
Orge / avoine / froment	0,35	0,75	1,15	0,45
Haricots verts	0,35	0,70	1,10	0,90
Haricots secs	0,35	0,70	1,10	0,30
Choux / carottes	0,45	0,75	1,05	0,90
Coton/lin	0,45	0,75	1,15	0,75
Concombres / courges	0,45	0,70	0,90	0,75
Aubergines / tomates	0,45	0,75	1,15	0,80
Graminées (petites)	0,35	0,75	1,10	0,65
Lentilles (légumineuses)	0,45	0,75	1,10	0,50
Laitues / épinards	0,45	0,60	1,00	0,90
Maïs doux	0,40	0,80	1,15	1,00
Maïs grain	0,40	0,80	1,15	0,70
Melons	0,45	0,75	1,00	0,75
Mil	0,35	0,70	1,10	0,65
Oignons verts	0,50	0,70	1,00	1,00
Oignons secs	0,50	0,75	1,05	0,85
Arachides	0,45	0,75	1,05	0,70
Pois frais	0,45	0,80	1,15	1,05
Poivre frais	0,35	0,70	1,05	0,90
Pomme de terre	0,45	0,75	1,15	0,85
Radis	0,45	0,60	0,90	0,90
Sorgho	0,35	0,75	1,10	0,65
Soya	0,35	0,75	1,10	0,60
Betteraves sucrières	0,45	0,80	1,15	0,80
Tournesol	0,35	0,75	1,15	0,55
Tabac	0,35	0,75	1,10	0,90

Le tableau ci-dessus montre des valeurs moyennes de Kc pour les différentes cultures et phases de croissance. En fait Kc dépend également du climat et en particulier de l'humidité relative et de la vitesse du vent. On réduira les valeurs ci-dessus indiquées de 0,05 si l'humidité relative est élevée (HR > 80 %) et la vitesse du vent faible ($u < 2\text{m/sec}$), par exemple, $Kc = 1,15$ devient $Kc = 1,10$. On augmentera les valeurs de 0,05 si l'humidité relative est faible (HR < 50 %) et la vitesse du vent élevée ($u > 5\text{m/sec}$), par exemple $Kc = 1,05$ devient $Kc = 1,10$.

**DURÉE APPROXIMATIVE DE PHASES DE CROISSANCE
DE QUELQUES CULTURES EN CHAMP**

	TOTAL	PH. INITIALE	PH. DÉVELOPPEMENT	PH. MI-SAISON	PH. ARRIERE-SAISON
Orge / Avoine / Froment	120 150	15	25	50	30 40
Haricots verts	75 90	15 20	25 30	25 30	10 10
Haricots secs	95 110	15 20	25 30	35 40	20 20
Choux	120 140	20 25	25 30	60 65	15 20
Carottes	100 150	20 25	30 35	30 70	20 20
Coton / lin	180 195	30 30	50 50	55 65	45 50
Concombres	105 130	20 25	30 35	40 50	15 20
Aubergines	130 140	30 30	40 40	40 45	20 25
Graminées(petites)	150 165	20 25	30 35	60 65	40 40
lentilles	150 170	20 25	30 35	60 70	40 40
Laitues	75 140	20 35	30 50	15 45	10 10
Maïs doux	80 110	20 20	25 30	25 50	10 10
Maïs grain	125 180	20 30	35 50	40 60	30 40
Melons	120 160	25 30	35 45	40 65	20 20
Mil	105 140	15 20	25 30	40 55	25 35
Oignons verts	70 95	25 25	30 40	10 20	5 10
Oignons secs	150	15	25	70	40

	TOTAL	PH. INITIALE	PH. DÉVELOPPEMENT	PH. MI-SAISON	PH. ARRIERE-SAISON
Arachides	210	20	35	110	45
	130	25	35	45	25
	140	30	40	45	25
Pois	90	15	25	35	15
	100	20	30	35	15
Poivre	120	25	35	40	20
	210	30	40	110	30
Pommes de terre	105	25	30	30	20
	145	30	35	50	30
Radis	35	5	10	15	5
	40	10	10	15	5
Sorgho	120	20	30	40	30
	130	20	35	45	30
Soya	135	20	30	60	25
	150	20	30	70	30
Epinards	60	20	20	15	5
	100	20	30	40	10
Courges	95	20	30	30	15
	120	25	35	35	25
Betteraves Sucrières	160	25	35	60	40
	230	45	65	80	40
Tournesol	125	20	35	45	25
	130	25	35	45	25
Tomates	135	30	40	40	25
	180	35	45	70	30

(Sources : "Gestion des eaux en irrigation" - Méthodes d'irrigation FAO)

L'éolienne Oasis (Ø 2,5 m)

Présentation

Petite éolienne multipale métallique de pompage. La roue de 2,5 m entraîne directement, par un système de bielle manivelle, une tringle de commande qui actionne une pompe à piston placée au fond du puits (ou du forage). La course de la pompe est faible, de l'ordre de 70 mm. La vitesse de rotation est limitée à 60 tours par minute. Lorsque le vent est trop fort, une palette latérale place la roue de profil par rapport au vent. Le pylône mesure 7,5 m de haut. L'éolienne se place à la verticale au-dessus du puits et gêne, sans l'empêcher totalement, toute autre utilisation du puits.

L'éolienne Oasis, outil robuste et fiable, a été fabriquée à plus de 20 000 exemplaires. Elle est principalement fabriquée en France (Ets Ponçelet) et en Mauritanie (Ets Deylou) mais plusieurs autres marques françaises ou étrangères existent.

DÉBIT (SITE MOYENNEMENT VENTÉ AU SAHEL : 4 M / S)

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
5 mètres	1.5 m ³ / h	16 m ³ / jour	25 ares
10 mètres	1.2 m ³ / h	10 m ³ / jour	17 ares
15 mètres	0.8 m ³ / h	7 m ³ / jour	12 ares
20 mètres	0.6 m ³ / h	5 m ³ / jour	8 ares

- *Systèmes concurrents directs : pompe électrique avec groupe électrogène, pompe solaire, délou.*

Domaine d'utilisation

L'éolienne convient bien pour pomper des eaux situées entre 5 et 15 m de profondeur. Le vent étant fantasque, un bassin de stockage, permettant une irrigation gravitaire, est en général nécessaire. On peut également irriguer par arrosoir à partir d'autres bassins secondaires.

L'éolienne est un investissement lourd. Il n'est pas a priori destiné au maraîchage en raison du temps de retour sur investissement qui est très long. C'est un système envisageable soit dans le cas d'un apport financier extérieur qui permet de minimiser les dépenses de fonctionnement, soit dans le cas d'un crédit à long terme.

Sa durée de vie étant peu liée à son fonctionnement, il est recommandé

d'exploiter l'éolienne durant toute l'année et non uniquement en saison maraîchère.

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
puits, forages, mares	0 à 30 m	jusqu'à 50 ares	modernes, groupements

Fourniture et maintenance

Les fournisseurs locaux étant rares, il est souvent nécessaire de se fournir dans les pays développés ou intermédiaires. Dans ce cas toutefois, la disponibilité des pièces de rechange dans les années futures ainsi que la compétence de réparation ne sont pas garanties. On préférera donc choisir cet équipement dans les zones où le nombre d'éoliennes est déjà important.

- *Durée de vie : 15 ans. Fiabilité : une panne par an qui demande une compétence spécialisée pour les réparations.*

Coût

ORDRES DE GRANDEUR

Investissement de départ	20 000 FF
Amortissement annuel	1 400 FF
Dépenses annuelles de fonctionnement: réparations	1 500 FF
Coût total annuel	2 900 FF

Avantages et inconvénients

• **Avantages** : l'éolienne Oasis est en accord avec le niveau technologique des pays africains : elle exploite une richesse nationale, le vent, qui permet, à terme, de fournir l'eau à un coût très compétitif. Sa taille la rend facile à installer et à entretenir. Son débit convient à celui des puits.

• **Inconvénients** : le prix d'achat est élevé et rédhitoire, surtout sans crédit ni subvention. Le débit est variable, ce qui nécessite un bassin de stockage égal à 2 jours de production. Son installation est réservée aux régions ventées disposant déjà d'équipements du même type, afin de faciliter l'entretien (pièces de rechange, réseau de réparateurs).

Le délou

Présentation

Système traditionnel : un animal tire en ligne droite une corde à laquelle est fixée une grosse puisette en cuir ou en caoutchouc. La corde passe sur une poulie placée au-dessus du puits. La contenance de la poche va de 20 à 60 litres (dans ce dernier cas pour les chameaux). Lorsque la puisette arrive en haut du puits, elle est vidée à la main. Cela nécessite l'emploi de deux personnes : l'une conduisant l'animal et l'autre vidant la poche d'eau. Il existe des délou à vidange automatique : dans ce cas, l'opérateur conduit simplement l'animal (Takarkart au Niger, Guéroult au Sénégal, bidon verseur au Niger).

L'animal produit un effort bref mais violent. Il court souvent durant la phase de remontée de la puisette. Il revient ensuite tranquillement ce qui constitue une phase de repos.

Il existe des délou sur des puits de faible profondeur (quelques mètres). dans ce cas, l'animal revient en faisant marche arrière.

Le débit dépend de la force de l'animal et varie de 1 à 6 (un âne - une paire de bœufs)

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
5 mètres	4 à 20 m ³ / h	15 à 60 m ³ / jour	25 à 100 ares
10 mètres	1.5 à 10 m ³ / h	6 à 40 m ³ / jour	10 à 65 ares
15 mètres	1 à 6 m ³ / h	4 à 25 m ³ / jour	7 à 40 ares
20 mètres	0.6 à 4 m ³ / h	2 à 15 m ³ / jour	3 à 25 ares

- *Systèmes concurrents directs : pompes mécanisées mais se situant à un autre niveau de technologie. Manège Sahores (profondeur 10 à 20 mètres).*

Domaine d'utilisation

Le domaine incontestable du délou, c'est le pompage dans les puits de grande profondeur (30 mètres et plus), où il se révèle très supérieur à la plupart des autres systèmes car il permet de bons débits.

Utilisé pour le maraîchage, il demande un bon débit du point d'eau (tous les points d'eau ne fournissent pas plusieurs m³ / h). Il demande surtout une organisation particulière pour la gestion de l'animal.

L'utilisation des ânes est plus facile mais leur force de travail est très faible (un âne vaut 1 à 2 hommes).

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
puits	0 à 100 mètres	0 à 100 ares	bonne maîtrise technologique

Fourniture et maintenance

Le délou traditionnel est fabriqué par l'exploitant. Les poulies et la puisette relèvent de l'artisanat traditionnel. Les délous modernes font appel à la mécano-soudure.

- *Durée de vie : système traditionnel : 2 an, système moderne : 5 ans.*
Fiabilité : système moderne : trois pannes par an, réparable souvent par l'utilisateur.

Coût

	DÉLOU TRADITIONNEL	GUÉROULT (ordres de grandeur)
Investissement de départ	200 à 300 FF	10 000 FF
Amortissement annuel	150 FF / an	2 000 FF / an
Dépenses annuelles de fonctionnement : réparations	50 FF / an	750 FF / an
Coût total annuel	200 FF / an	2 750 FF / an

Avantages / inconvénients

• **Avantages** : le délou peut exploiter des puits profonds. Alors qu'avec un puisage manuel, il n'est pas recommandé de faire du maraîchage lorsque la profondeur de l'eau dépasse 15 mètres, on peut envisager d'exploiter des puits deux fois plus profonds avec le délou. Le délou est un système très simple, facile à maîtriser sur le plan technique et qui a l'intérêt de permettre une intégration des animaux à l'économie agricole.

• **Inconvénients** : la maîtrise de l'animal est une difficulté de poids. Il porte l'image d'un système traditionnel. Ces deux handicaps rendent hasardeuse son introduction dans des zones nouvelles.

Pompe électrique immergée

Présentation

Système pour forages. Une pompe électrique est immergée dans le forage, le plus profond possible (juste au-dessus de la crépine du forage). La pompe est alimentée en courant alternatif 220 volts fourni par un groupe électrogène placé à côté du forage, dans un abri. Le groupe est constitué d'un moteur diesel de 5 à 10 ch. Bien abrité et tournant lentement, ce type de moteur a une bonne durée de vie.

La pompe ne doit jamais tourner à vide. Un système de sécurité par électrodes coupe automatiquement l'alimentation électrique de la pompe quand l'eau vient à manquer dans le forage. De façon identique, un dispositif de sécurité arrête la pompe quand le château d'eau est plein.

Les pompes utilisées (pompes centrifuges ou à hélices multicellulaires) sont des matériels courants, de grande fiabilité et d'un excellent rendement. Toutes les gammes de débit sont possible, il suffit d'adapter la puissance du moteur en conséquence. Cette dernière doit être au minimum 3 fois supérieure à la puissance de la pompe afin d'absorber les efforts de démarrage.

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
10 à 100 mètres	10 à 50 m ³ / h	20 à 100 m ³ / jour	jusqu'à 400 ares

- *Systèmes concurrents directs : pompe sur forage à transmission mécanique : mêmes performances mais fiabilité moindre. Pompes solaires mais celles-ci fournissent un débit par jour beaucoup plus faible.*

Domaine d'utilisation

Système exclusivement sur forages de bon débit (supérieur à 5 m³ / h) que l'on aura vérifié au préalable. Ce système est à retenir en dernier ressort quand la profondeur interdit l'usage des motopompes.

L'équipement est cher tant à l'achat qu'en fonctionnement. Il doit être retenu de préférence quand la profondeur du forage est inférieure à 25 mètres afin de disposer, pour un même niveau de dépenses, d'un prix de l'eau plus bas. Les maraîchers doivent être sûrs de leurs débouchés afin de couvrir leurs frais de campagne. Attention aux concurrents qui disposeront certainement d'une eau d'irrigation moins chère !

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
forage	10 à 40 m	de 1 à 4 hectares	modernes, groupements

Fourniture et maintenance

La pompe, matériel industriel, est disponible chez tous les grands fournisseurs, en général sur commande. Son installation et sa maintenance demandent un personnel spécialisé. Le groupe électrogène est un équipement standard largement disponible.

- *Durée de vie : 7 ans. Fiabilité : une panne tous les 3 ans, réparable par spécialiste.*

Coût

FRANCS FRANÇAIS
(ORDRES DE GRANDEUR)

Investissement de départ	20 000 à 50 000
Amortissement annuel	3 à 5 000 FF/an
Dépenses annuelles de fonctionnement (6 mois, 1 ha)	
• Réparations	1 000 FF/an
• Carburant	2 500 FF/an
Coût total annuel	6 500 à 8 500 FF

Avantages / inconvénients

- **Avantages** : c'est pratiquement le seul système de pompage à gros débit sur forages profonds. Quand on est dans ce cas, on n'a donc pas le choix.
- **Inconvénients** : c'est un système cher, produisant une eau chère que l'on ne sait en général pas rentabiliser en usage agricole. Le système n'est donc que peu utilisé en agriculture alors qu'on le rencontre fréquemment pour l'hydraulique villageoise ou pastorale.

L'éolienne LVIA (Ø 6 m)

Présentation

Eolienne multipale métallique de grande taille fabriquée à Thiès, au Sénégal, par LVIA, volontaires italiens, sur un modèle de l'éolienne Tuzzi e Bardi. Le rotor fait 6 mètres de diamètre et le pylône 16 mètres de hauteur. La transmission du mouvement se fait dans un multiplicateur à engrenages noyés dans un bain d'huile. L'éolienne, placée au-dessus du puits, actionne une pompe à piston qui peut exploiter des profondeurs allant jusqu'à 80 mètres (mais il est conseillé de ne pas dépasser 50 mètres). La roue se met automatiquement hors du vent quand le vent est trop fort.

Cette éolienne existe à plus de 100 exemplaires au Sénégal où elle est fabriquée pratiquement en totalité. Il existe bon nombre d'autres marques étrangères de ce type d'éolienne disponibles sur le marché international.

Les débits sont importants quand la profondeur est inférieure à 20 mètres et les puits ne sont souvent pas suffisants. Cette éolienne est 6 fois plus puissante que l'éolienne Oasis de 2,5 m.

DÉBIT (SITE MOYENNEMENT VENTÉ AU SAHEL : 4 M / s)

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
10 mètres	7 m ³ / h	60 m ³ / jour	100 ares
20 mètres	3.5 m ³ / h	30 m ³ / jour	50 ares
30 mètres	2.3 m ³ / h	20 m ³ / jour	30 ares
40 mètres	1.7 m ³ / h	15 m ³ / jour	25 ares

- *Systèmes concurrents directs : pompe électrique avec groupe électrogène, pompe solaire.*

Domaine d'utilisation

Cette éolienne convient bien pour pomper des eaux situées entre 20 et 40 mètres de profondeur. Un bassin de stockage est en général nécessaire (20 à 40 m³). A partir de ce bassin, on peut irriguer gravitairement ou par arrosage à partir d'autres bassins secondaires. Le problème principal est de disposer de points d'eau qui fournissent le débit demandé par l'éolienne (plusieurs m³ / h).

L'éolienne est un investissement très lourd. Son amortissement se fait sur 10 ans et sa rentabilité est à calculer sur cette période. Sans don ou système de crédit spécialisé, elle ne peut être rentable par rapport aux systèmes concurrents.

La durée de vie de l'éolienne étant peu fonction de sa durée de fonctionnement, il est toujours recommandé d'exploiter l'eau de l'éolienne durant toute l'année et non pas seulement durant la saison maraîchère.

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAÎCHERS
puits, forages	10 à 80 mètres	jusqu'à 150 ares	modernes groupements

Fourniture et maintenance

L'installation de grosses éoliennes de ce type ne peut se faire que par du personnel spécialisé. On conseillera donc de n'installer ces machines que dans les régions où un fabricant accepte de faire l'installation et le service après-vente. Cette éolienne très grosse reste difficilement maîtrisable par les ateliers locaux.

- **Durée de vie** : 15 ans
- **Fiabilité** : une panne par an qui demande une compétence spécialisée

Coût

	FRANCS FRANÇAIS (ORDRES DE GRANDEUR)
Investissement de départ	80 000 FF
Amortissement annuel	5 300 FF/an
Dépenses annuelles de fonctionnement réparations	2 500 FF/an
Coût total annuel	7 800 FF/an

Avantages / inconvénients

- **Avantages** : l'éolienne permet l'exploitation de points d'eau profonds. L'eau qu'elle fournit peut irriguer jusqu'à 1,5 hectares ce qui est une surface déjà importante en maraîchage. De ce fait, elle convient bien aux groupements.
- **Inconvénients** : sa taille rend sa maîtrise difficile. Le coût d'achat très élevé rend impossible une commercialisation de la machine par des financements autres que ceux de l'aide extérieure.

La petite motopompe (3 ch)

Présentation

Un moteur, essence ou diesel, et une pompe centrifuge sont montés sur un même châssis. Ce dernier n'est pas équipé de roues pour les petites puissances.

Le moteur développe 3 ou 4 chevaux, soit 2 à 3 kW. Dans cette gamme, il s'agit de moteurs à 4 temps à essence. Il existe aussi des moteurs 2 temps (de durées de vie plus faible), et des moteurs à pétrole (plus économiques).

Un tuyau d'aspiration souple mais dur pour ne pas s'écraser, muni d'une crépine avec clapet à son extrémité, est utilisé pour l'aspiration. Le refoulement se fait par tout type de tuyau et peut atteindre des longueurs allant jusqu'à une centaine de mètres.

Le moteur est équipé d'une commande permettant de faire varier sa vitesse de rotation. Il est en général conseillé de conserver la vitesse maximale car c'est sur cette dernière qu'est réglée la pompe.

La consommation d'essence est de l'ordre de 0,4 litre par heure de fonctionnement. Les vidanges (2 litres d'huile) sont à faire toutes les 100 heures.

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
5 mètres	20 m ³ / h	100 m ³ / jour	165 ares
10 mètres	15 m ³ / h	75 m ³ / jour	125 ares
20 mètres	5 m ³ / h	25 m ³ / jour	40 ares

- *Systèmes concurrents directs : plusieurs marques se partagent le marché. Les autres sources d'énergie ne sont pas des concurrents directs.*

Domaine d'utilisation

La petite motopompe est l'instrument idéal pour le maraîchage en bord d'un fleuve ou de mares. Elle allie un débit appréciable (10 à 20 m³ / h), à une grande souplesse d'utilisation : on peut la déplacer d'un point à l'autre du jardin, la prêter à son voisin ; on irrigue facilement les parties hautes en allongeant le tuyau. Le débit fourni permet une distribution par petits canaux avec une main d'eau suffisante tout en étant facile à maîtriser.

Elle peut aussi être installée sur les puits dont la profondeur maximale est

de 7 à 10 mètres. Son débit important fait qu'elle assèche rapidement le puits (en un quart d'heure par exemple) et qu'il est alors nécessaire de pomper par intermittence en attendant la réalimentation du puits.

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
mares et puits	aspiration : 0 à 7 m refoulement : 0 à 50 m	jusqu'à 2 ha	modernes, avec commercialisation

Fourniture et maintenance

On trouve des fournisseurs de motopompes dans toutes les grandes villes. Les réparateurs sont nombreux et compétents. Le seul problème majeur est la disponibilité en pièces détachées qui n'est pas toujours certaine.

- **Durée de vie** : 4 ans.
- **Fiabilité** : une panne par an en moyenne, réparée dans la zone quand on dispose de pièces.

Coût

	FRANCS FRANÇAIS (ORDRES DE GRANDEUR)
Investissement de départ	3 000 FF
Amortissement annuel	750 FF/an
Dépenses 5 mois de campagne sur 0,5 ha	
• carburant	1 000 FF/an
• entretien / réparations	200 FF/an
Total dépenses annuelles	1 200 FF

Avantages / inconvénients

- **Avantages** : débit important, facilité d'utilisation, bonne maîtrise des réparations par le milieu, excellent confort de l'utilisateur, coût abordable. Ces avantages expliquent sa très large diffusion.
- **Inconvénients** : la motopompe oblige l'agriculteur à entrer dans une économie de marché. Ayant engagé de gros frais, il doit commercialiser pour réussir. La motopompe est un risque pour les points d'eau de faible débit où les zones de captage sont fragiles.

La pompe Kadiogo

Présentation

Pompe à piston montée sur brouette. Il s'agit d'une sorte de "motopompe manuelle". L'utilisateur est placé sur la pompe et actionne un balancier vertical. Un tuyau d'aspiration souple et dur est équipé d'une crépine et plonge dans le point d'eau tandis qu'un tuyau souple de refoulement permet d'amener l'eau dans le jardin. On limitera toutefois la longueur de ce dernier à une vingtaine de mètres pour éviter les pertes de charge inutiles.

La pompe est placée près de l'eau et permet de suivre la variation du niveau de l'eau d'une mare. Elle ne peut aspirer à plus de 7 mètres mais peut renvoyer l'eau à 10 mètres au-dessus de la pompe. Elle existe en plusieurs tailles s'adaptant aux différentes hauteurs de pompage.

La pompe est conçue pour être fabriquée localement par un atelier de mécano-soudure. Elle est fabriquée au Burkina Faso (200 exemplaires vendus), au Congo, au Mali. Les plans sont disponibles au Gret.

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
5 mètres	2.5 m ³ / h	12 m ³ / jour	20 ares
10 mètres	1 m ³ / h	5 m ³ / jour	8 ares
15 mètres	déconseillée	déconseillée	

- *Systèmes concurrents directs : les autres pompes manuelles de ce type sont rares : Jappy, Irripompe. La vraie concurrente est la petite motopompe.*

Domaine d'utilisation

C'est typiquement une pompe destinée aux eaux de surface (par exemple, irrigation d'un jardin sur la berge d'un fleuve). La pompe est alors située tout près de l'eau et le tuyau de refoulement permet d'envoyer l'eau directement dans les parcelles. Elle peut également être installée sur les puits de faible profondeur (quelques mètres).

La pompe Kadiogo constitue un stade intermédiaire entre le puisage par seaux (qui ne coûte rien) et la pompe mécanisée. Elle est donc utilisée par les maraîchers qui commencent à s'équiper et qui évolueront ensuite vers la motopompe. Dans ce cas ils conserveront leur Kadiogo par sécurité ou pour certaines parcelles de leur jardin.

La Kadiogo, vu son coût, fait entrer l'utilisateur dans une logique de marché et le pousse donc vers la motopompe.

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
mares, puits, forages	0 à 10 mètres	jusqu'à 1 hectare	en voie d'équipement ouverts sur un marché

Fourniture et maintenance

Pas de fabricant européen. Elle doit être fabriquée sur place par un atelier disposant de soudure et d'un approvisionnement facile en profilés et PVC. Cette pompe ne peut donc être diffusée que sur certaines zones où l'on aura formé les réparateurs et mis en place la fourniture des pompes et des pièces détachées.

- **Durée de vie** : 5 ans.
- **Fiabilité** : une panne tous les 1 à 2 ans. Réparation par artisan régional.

Coût

	FRANCS FRANÇAIS (ORDRES DE GRANDEUR)
Investissement de départ	1 500 FF
Amortissement annuel	300 FF / an
Dépenses annuelles de réparation	40 FF / an
Coût total annuel	340 FF

Avantages / inconvénients

- **Avantages** : la Kadiogo permet d'augmenter notablement la surface cultivée par rapport à l'arrosage par arrosoirs puisque la pompe réalise en même temps le transport de l'eau. Elle valorise donc bien le travail humain et ce d'autant plus que la fonction "transport" est importante.
- **Inconvénients** : pomper à la main est pénible. Si le propriétaire pompe lui-même, il cherchera rapidement un système moins fatiguant. Le prix d'achat est élevé comparativement à la motopompe. Le rapport coût d'investissement et confort n'est pas en sa faveur.

La pompe Koubri

Présentation

Pompe à bouchon (à chapelet) à placer sur un puits. Un volant couplé à une roue entraîne une chaîne sans fin qui remonte à l'intérieur d'un tuyau. Sur la chaîne sont disposés tous les 20 cm des bouchons faits de cuir ou de rondelles de caoutchouc. L'eau est entraînée par les bouchons et se déverse dans un bac récepteur placé au dessous du volant.

Cette pompe ne contient ni clapet, ni piston. L'eau circule de manière continue, toujours dans le même sens, ce qui lui confère un excellent rendement et lui permet de fournir des débits très importants à faible hauteur.

Les joints placés sur la chaîne s'usent régulièrement mais peuvent être changés facilement.

Certaines pompes ont deux chaînes permettant d'utiliser deux tuyaux PVC de faible diamètre (63 mm) (pompe Koubri au Burkina Faso). Un autre type, équipé de poulies de renvoi, permet l'installation de cette pompe sur forage (pompe Bouchet au Burkina Faso).

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
5 mètres	5 à 6 m ³ / h	20 à 25 m ³ / jour	30 à 40 ares
10 mètres	2,5 m ³ / h	10 m ³ / jour	17 ares
15 mètres	déconseillée		

- *Systèmes concurrents directs : plusieurs systèmes à motricité humaine sont concurrentiels malgré le fait qu'ils présentent tous des débits moindre : le "Tapak tapak", pompe à pédale à double piston actionnée avec les pieds ; le chadouf, solution d'autoconstruction ; les pompes à godets qui exploitent de plus grandes profondeurs.*

Domaine d'utilisation

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
puits (forage)	0 à 15 mètres	10 à 50 ares	Disposant de débouchés.

La pompe est exclusivement destinée à des puits. Pour des eaux de surface, elle peut être installée au-dessus d'un canal relié à la mare. Les hauteurs de pompage préférentielles sont de 1 à 6 mètres. C'est là que la pompe donne ses meilleures performances. Sur un puits de quelques mètres de profondeur, c'est assurément le meilleur système.

Le débit important permet de faire une irrigation gravitaire par canaux. Dans ce cas, cela nécessite deux personnes : l'une pour pomper et l'autre pour gérer la distribution de l'eau dans les parcelles.

Les surfaces étant importantes, la pompe est réservée aux maraîchers qui pourront commercialiser leur récolte.

Fourniture et maintenance

Il existe quelques rares fabricants en Europe où il s'agit d'une vieille technologie. La pompe peut être fabriquée dans des ateliers de mécano-soudure. Plans disponibles à l'AFVP. La pompe Tapak tapak, son concurrent direct, est dans le même cas de figure.

- **Durée de vie** : 3 ans
- **Fiabilité** : deux pannes par campagne de 6 mois. Réparation rapide par l'utilisateur ou l'artisan local.

Coût

FRANCS FRANÇAIS
(ORDRES DE GRANDEUR)

Investissement de départ	1 200 FF
Amortissement annuel	400 FF/an
Dépenses annuelles de fonctionnement	
• Réparations	30 FF/an
Coût total annuel	430 FF

Avantages / inconvénients

• **Avantages** : le principal est son débit important. Sur de faibles hauteurs de pompage, la pompe peut fournir jusqu'à 12 m³ / heure ! Les réparations sont à la portée de l'agriculteur.

• **Inconvénients** : pénibilité du pompage, relative fragilité de la pompe (faible durée de vie). Le créneau pour le pompage manuel mécanisé est faible entre le puisage manuel simple et la motopompe.

La pompe convient surtout à des puits qui sont souvent incapables de fournir le débit important qu'elle demande. Sur les eaux de surface, son installation demande un aménagement compliqué.

Le seau, l'arrosoir

Présentation

Le seau ou l'arrosoir servent en même temps au transport de l'eau et à sa distribution. Le seau (ou une puisette en cuir ou caoutchouc), attaché à une corde, est utilisé sur les puits pour l'exhaure. L'eau est ensuite distribuée à l'aide d'un autre seau ou d'un arrosoir. On utilise un petit réservoir de stockage intermédiaire afin de séparer les activités de pompage et d'arrosage.

La capacité d'un arrosoir étant de 10 litres, et celle du seau ou de la puisette de 10 à 20 litres, cette activité est pénible. Sur un puits, le puisage est facilité par l'utilisation d'une poulie simple, d'une poulie avec une corde à double puisette, ou d'un treuil simple. Ces améliorations sont à mettre en place dès que la profondeur dépasse 3 à 4 mètres.

L'irrigation des cultures comprend le transport de l'eau et l'arrosage proprement dit. Le transport consomme une grande partie du temps et des efforts : de 50 % à 90 % du temps passé dans le jardin. Il y a donc une grande différence entre le débit théorique de pompage et le débit pompé par jour par une seule personne.

POMPAGE À LA PUISETTE SUR UN PUIT ET IRRIGATION À L'ARROSOIR (UN ADULTE) :

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
5 mètres	1.5 m ³ / h	3 m ³ / jour	5 ares
10 mètres	0.8 m ³ / h	2 m ³ / jour	3 ares
15 mètres	0.5 m ³ / h	1 m ³ / jour	1.5 ares
20 mètres	déconseillé	déconseillé	

Domaine d'utilisation

C'est le système de pompage des maraîchers pauvres qui ne peuvent investir dans un autre système. Il est destiné aux petites surfaces de 200 m² à 2 000 m² par individu.

C'est le système d'irrigation pour les jardins en bord de rivière ou de lac, surtout lorsque la berge est en pente montante. C'est également un système pour quelques centaines de m² autour d'un puits.

Il peut permettre de valoriser au maximum l'eau pompée par une pompe (pompe solaire, motopompe). Dans ce cas, on multiplie les petits bassins à l'intérieur du jardin. L'objectif est d'être à moins de 20 mètres des parcelles à irriguer.

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
puits et mares	0 à 15 mètres	20 ares / personne	débutants, faible commercialisation

Fourniture et maintenance

Les arrosoirs et les seaux sont fabriqués par des ateliers de faible niveau technologique. On préférera les matériels métalliques, réparables localement, aux équipements en plastique irréparables. On favorisera l'économie locale en achetant la fabrication du pays, au besoin en demandant des améliorations.

- **Durée de vie** : 3 ans.
- **Fiabilité** : une panne tous les deux ans, réparation facile localement.

Coût

	ARROSOIR	PUISSETTE ET CORDE
Investissement de départ	20 à 60 FF	100 à 200 FF
Amortissement annuel	20 FF / an	50 FF / an
Dépenses annuelles d'entretien	5 FF / an	20 FF / an

Avantages / inconvénients

- **Avantages** : demande un très faible investissement de départ. La prise de risque est donc très limitée. Il est recommandé pour des débutants ou les sites sans possibilités de commercialisation. L'irrigation à l'arrosoir a l'avantage de consommer peu d'eau.
- **Inconvénients** : pénibilité de l'opération et faiblesse des surfaces exploitables.

Le chadouf

Présentation

Système manuel à balancier : un contrepoids permet au seau de remonter pratiquement seul. L'utilisateur utilise son propre poids pour faire descendre le seau et pour le plonger dans l'eau. C'est un système traditionnel très répandu sur tous les continents.

Le chadouf se fabrique avec des matériaux locaux. Sa taille est proportionnelle à la profondeur.

PROFONDEUR	DÉBIT	POMPAGE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
1 mètres	8 m ³ / h	30 m ³ / jour	50 ares
3 mètres	3,5 m ³ / h	14 m ³ / jour	20 ares
5 mètres	ne convient pas		

- *Systèmes concurrents directs : pour les très faibles profondeurs (1 à 2 mètres), il existe un grand nombre de systèmes traditionnels concurrents : vis d'Archimède, paniers, systèmes à traction animale. Sur puits, son rendement est supérieur à celui de la puisette.*

Domaine d'utilisation

Le chadouf n'exploite que les faibles profondeurs de 1 à 3 mètres. Il convient d'abord aux puits, mais peut également être installé sur les berges d'une mare si celles-ci sont assez raides. Il ne peut pas être installé sur forage.

Le débit étant assez fort, l'irrigation est en général gravitaire, par petits canaux.

Comme tous les systèmes traditionnels, le chadouf est une technologie difficile à introduire là où il n'existe pas, car il nécessite un certain savoir-faire pour être correctement utilisé. De plus, son image est celle d'un matériel traditionnel donc en recul par rapport à la modernité que visent la plupart des exploitants.

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAÎCHERS
puits	0 à 3 mètres	jusqu'à 50 ares	traditionnels

Fourniture et maintenance

Le chadouf est un système à construire soi-même. On peut également le faire fabriquer par des menuisiers traditionnels. Ceci demande une certaine habitude car les réglages sont délicats. L'utilisateur assure la maintenance.

- **Durée de vie** : 5 ans.
- **Fiabilité** : deux pannes par an, réparables par l'utilisateur.

Coût

FRANCS FRANÇAIS

Investissement de départ	100 FF
Amortissement annuel	20 FF / an
Dépenses annuelles de réparation	20 FF / an

Avantages / inconvénients

- **Avantages** : le chadouf est très peu coûteux et d'un rendement intéressant. C'est un système qui peut rendre de grands services à des maraîchers de type traditionnel.
- **Inconvénients** : il est cependant limité à l'emploi sur les puits. Il reste d'un débit faible comme tous les systèmes manuels et est certainement difficile à introduire là où il n'existe pas déjà.

La pompe solaire de 1400 Wc

Présentation

Le générateur est constitué par un champ de 28 panneaux photovoltaïques de 50 watts crête chacun, totalisant une surface de 14 m². Exposé au rayonnement solaire, il produit un courant électrique continu qui est dirigé vers un convertisseur électronique de haut rendement. Celui-ci actionne une pompe électrique immergée. Ce système est très fiable puisqu'il y a très peu de pièces en mouvement.

A midi, une pompe installée sur un forage de 30 mètres de profondeur peut débiter jusqu'à 10 m³ / h. Le point d'eau doit donc pouvoir fournir ce débit sans s'assécher.

La pompe solaire alimente un réservoir d'une capacité égale à une journée de production.

PROFONDEUR	DÉBIT MAXI À MIDI	EAU POMPÉE PAR JOUR	SURFACE IRRIGABLE
5 mètres	30 m ³ / h	130 m ³ / jour	200 ares
10 mètres	15 m ³ / h	75 m ³ / jour	125 ares
20 mètres	9 m ³ / h	40 m ³ / jour	65 ares

- *Systèmes concurrents directs (HTM > 10 m) : pompe électrique avec groupe électrogène, éolienne de pompage.*

Domaine d'utilisation

Il est très rare de trouver des pompes solaires photovoltaïques uniquement pour l'irrigation. En général, la pompe solaire est destinée aux besoins domestiques d'un village et le surplus de l'eau est utilisé pour l'irrigation. Les pompes solaires consacrées uniquement à l'irrigation doivent être placées sur les eaux de surface pour être concurrentielles (HMT = 5 m). Encore ne le sont-elles guère par rapport aux motopompes, dont le prix est très bas.

Les pompes photovoltaïques de 1 400 Wc sont surtout destinées aux profondeurs comprises entre 20 et 50 mètres. Le fort débit de pointe à midi (10 m³ / h) interdit leur installation sur un puits. Il ne pourra s'agir que d'un forage dont on aura vérifié soigneusement le débit au préalable.

Le solaire, comme l'éolien, demande à être exploité toute l'année pour atteindre sa rentabilité. Parfois, le solaire est couplé à de petites motopompes afin de mieux passer les débits de pointe et d'assurer une sécurité maximale.

POINTS D'EAU	HAUTEUR DE POMPAGE	SURFACE IRRIGABLE	TYPES DE MARAICHERS
forages, mares	10 à 60 mètres	jusqu'à 2 ha	groupements

Fourniture et maintenance

Dans tous les pays d'Afrique on trouve maintenant des fournisseurs et des installateurs de pompes photovoltaïques. La maintenance des pompes, bien que rare, demande une compétence spécialisée. On ne placera une pompe en site isolé que si on a la garantie que cette maintenance est possible dans des délais acceptables.

- **Durée de vie** : 15 ans pour les panneaux, 7 ans pour la pompe et le convertisseur
- **Fiabilité** : Excellente. 2 à 3 années sans pannes.

Coût

	FRANCS FRANÇAIS (ORDRES DE GRANDEUR)
Investissement de départ	180 000 FF
Amortissement annuel	12 000 FF/an
Provision annuelle pour réparations	10 000 FF/an
Coût total annuel	22 000 FF/an

Avantages / inconvénients

- **Avantages** : excellente fiabilité de l'ensemble du système. Les coûts de maintenance sont très réduits. Un autre avantage du solaire est sa modularité : il est facile d'ajouter des panneaux et d'augmenter ainsi la taille de l'installation. Le développement des pompes photovoltaïques contribue au développement de cette filière, utilisée également pour l'électrification rurale.
- **Inconvénients** : coût élevé des systèmes. Ce coût concerne l'investissement mais également le renouvellement des pièces puisqu'un convertisseur ou la pompe coûtent 10 000 FF chacun.

Bibliographie

- *Les éoliennes de pompage*, Collection Le point sur les technologies, Gret - IT Dello - Ministère de la Coopération, Paris, 1989, 172 p.
- Bernard Gay, *L'énergie solaire photovoltaïque, un outil de développement* - Présentation résumée, Cahier n°7 Programme Solidarité Eau, Gret, Paris, 1993, ronéo, 46 p.
- *Les énergies de pompage* - Approvisionnement en eau et énergies renouvelables, Dossier Technologies et Développement, Ministère de la Coopération et du Développement, I.T. Dello, Gret, Paris, 1985, 271 p.
- Chleq J.-L., H. Dupriez, *Eau et terres en fuite* - Métiers de l'eau au Sahel, collection Terres et vie, Enda, L'Harmattan, Paris, 1984, 125 p.
- Dupriez H., Ph. de Leener, *Agriculture tropicale en milieu paysan africain*, collection Terres et Vie, Enda; L'Harmattan, Paris, 1983, 280 p.
- Fraenkel P., *Water-Pumping Devices - A Handbook for Users and Choosers*, Intermediate Technology Publications, FAO, Londres, 1986, 176 p.
- Agence française pour la maîtrise de l'énergie, *Le pompage solaire photovoltaïque - 13 années d'expériences et de savoir-faire au Mali*, AFME - Ministère de la Coopération, 1991, 59 p. + annexes.
- *Matériels pour l'agriculture* - 1500 références pour l'équipement des petites et moyennes exploitations, Gret, ITDG, Paris, 1993, 301 p.
- *Des systèmes traditionnels de pompage*, I.T. Dello, n°6, Paris, 1985, 77 p., ronéo.

■ Programme Manèges à traction animale, Bulletin n°1, GTZ, octobre 1990, 62 p.

■ *Je pompe, tu pompes... - l'eau au Burkina Faso*, Institut Technologique Dello, Paris, 52 p.

■ Beaudoux E. et al., *Cheminevements d'une action de développement* - De l'identification à l'évaluation, L'Harmattan, Paris, 1992, 203 p.

■ Messiaen C.H., *Le potager tropical*, Collection Techniques vivantes, ACCT, PUF, 2ème édition, Paris, 1989, 572 p.

■ *La réhabilitation des périmètres irrigués*, Travaux du Réseau Recherche-Développement, Ministère de la Coopération, mars 1991, 80 p.

■ Castellanet Ch., *L'irrigation villageoise* - Créer des petits périmètres irrigués au Sahel, Collection Le point sur les technologies, Ministère de la Coopération, Gret, 1992, 368 p.

■ Brouwer C. et al., Gestion des eaux en irrigation :

- manuel de formation n°1 : Introduction à l'irrigation, 81 p.
- manuel de formation n°2 : Topographie pratique élémentaire, 53 p.
- manuel de formation n°3 : Les besoins en eau d'irrigation, pag. mult.
- manuel de formation n°4 : Pilotage des irrigations, 38 p.
- manuel de formation n°5 : Méthodes d'irrigation, 65 p.

Institut international pour l'amélioration et la mise en valeur des terres, FAO, Rome, 1987.

Quelques adresses utiles

Groupe de recherche et d'échanges technologiques (Gret)

213, rue La Fayette, 75010 Paris, France

Tél : 40 05.61 61

Fax : 40 05 61 10

Agence française des volontaires du progrès (AFVP)

Linac

91310 Montlhéry, France

Tél : 69 01 10 95

Groupe de recherche et de développement rural (GRDR)

8, rue Paul Bert

93300 Aubervilliers, France

Tél : 48.34.95.94

Fax : 48.34.01.67

Fondation Energie pour le monde

146, rue de l'Université

75007 Paris, France

Tél : 44.18.00.80

Fax : 44.18.00.36

Sommaire

3 Introduction

5 Petite méthode pour choisir un système d'irrigation

- 6 1. Quelles sont les caractéristiques du point d'eau ?
- 8 2. Quels sont les débouchés pour ma production ?
- 10 3. Quelle somme puis-je investir dans l'irrigation ?
- 11 4. De quelle quantité de main-d'oeuvre puis-je disposer ?
- 12 5. Quelle est la surface disponible pour l'irrigation ?
- 14 6. Quel est mon niveau de compétence ?
- 15 7. Quels sont les systèmes utilisés et pourquoi ?

Chapitre 1

17 Les besoins en eau d'une culture

- 17 La réserve en eau du sol
- 20 Calculer les besoins en eau d'une culture
- 24 Diminuer les besoins en eau d'une culture ?

Chapitre 2

29 La distribution de l'eau

- 29 L'efficacité de l'irrigation
- 31 Les différents systèmes

Chapitre 3

46 Les systèmes de pompage

- 46 Energie humaine
- 51 Energie animale
- 55 Energie solaire
- 59 Energie éolienne
- 62 Motopompes et énergies fossiles

- 69 Energie électrique
- 70 Energie hydraulique
- 71 Comparaison des systèmes de pompage

Chapitre 4

81 Quelques notions théoriques

- 81 Les points d'eau
- 83 La hauteur de pompage et la HMT
- 85 Energie et puissance pour le pompage
- 91 Le fonctionnement des pompes

97 Pour en savoir plus

- 99 Détermination des coefficients culturaux
- 102 Fiches matériels
- 122 Bibliographie
- 124 Adresses utiles

Impressions DUMAS
42100 SAINT-ÉTIENNE
Dépôt légal : 3^e trimestre 1994
N° d'imprimeur : 32052

Imprimé en France

**LE CENTRE TECHNIQUE DE COOPÉRATION
AGRICOLE ET RURALE (CTA)**

Le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale a été fondé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé entre les Etats membres de l'Union européenne et les Etats du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique).

Le CTA est à la disposition des Etats ACP pour leur permettre un meilleur accès à l'information, à la recherche, à la formation et aux innovations dans les domaines du développement agricole et rural et de la vulgarisation.

Siège :

Galvanistraat 9, Ede (Pays-Bas)

Adresse postale :

CTA, Postbus 380

6700 AJ Wageningen (Pays-Bas)

Tél. : (31) 8380 - 60400

Télex : (44) 30169 CTANL

Télécopie : (31) 8380 - 31052