



APPUI À LA COMPOSANTE 4 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT



GUIDE DES BONNES PRATIQUES D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	1
2. IRRIGATION ET DRAINAGE	2
3. PRATIQUES ACTUELLES D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE	3
3.1 NOTION D'UNE IRRIGATION PROPRE.....	3
3.2 PRATIQUES ACTUELLES D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE	3
3.3 RISQUES ÉCOLOGIQUES DES PRATIQUES ACTUELLES.....	5
3.4 RISQUES SOCIAUX DES PRATIQUES ACTUELLES	5
4. BONNES PRATIQUES D'UTILISATION DE L'EAU	7
4.1 AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ DE L'EAU UTILISÉE EN IRRIGATION.....	7
4.1.1 Bilan hydrique et gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle.....	7
4.1.2 Comment améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau ?.....	9
4.1.3 Calcul des indices de l'efficacité	10
4.2 ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DES PLANTES.....	11
4.2.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle ETP	11
4.2.2 Calcul des besoins en eau des plantes	14
5 TECHNIQUES PROPRES POUR LA PETITE IRRIGATION	19
5.1 MODES D'IRRIGATION SOUTERRAINES	21
5.1.1 Description	21
5.1.2 Irrigation par vases de céramique poreux	21
5.1.3 Irrigation à l'aide de tuyaux poreux sectionnés.....	23
5.1.4 Irrigation à l'aide d'un Goutte -à- Goutte souterrain.....	25
5.1.5 Avantages et inconvénients associés aux méthodes souterraines	26
5.2 MÉTHODES D'IRRIGATION SUPERFICIELLES	26
5.2.1 Description	26
5.2.2 Le goutte - à- goutte simplifié	27
5.2.3 Barboteur de basse chute	30
6 SCHEMA DE COMPARAISON DE L'IRRIGATION HELPFUL ET EXCESSIVE	32
7 GESTION DES PROBLÈMES ÉDAPHIQUES ASSOCIÉS AUX PRATIQUES D'IRRIGATION	33
7.1 DIAGNOSTICS DE LA SALINITÉ ET DE L'ALCALINITÉ	34
7.2 GESTION DE LA SALINITÉ	36
7.2.1 La surveillance de la salure de sol	36
7.2.2 Mesures et traitements des sols salins.....	39
7.3 GESTION DE L'ACIDITÉ DES SOLS	43
7.3.1 Facteurs affectant le pH.....	43
7.3.2 Influence de l'acidité des sols sur les plantes.....	43
7.3.3 Contrôle de l'acidité des sols	44
8 CONCLUSION	49
9 RÉFÉRENCES	50

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CLASSIFICATION SIMPLIFIÉE DES MÉTHODES D'IRRIGATION	2
TABLEAU 2: CALCUL DE BESOINS EN EAU DE CULTURE ET D'IRRIGATION	18
TABLEAU 3: CARACTÈRES D'IDENTIFICATION D'UN SOL ALCALIN, SALIN OU SODIQUE	35
TABLEAU 4: CLASSIFICATION DES SOLS SALINS	35
TABLEAU 5: ESTIMATION DE L'EAU NÉCESSAIRE EN LESSIVAGE	41
TABLEAU 6: QUANTITÉ DE CALCIUM REQUIS POUR NEUTRALISER L'ACIDITÉ DES ENGRAIS	46
TABLEAU 7: VALEURS INDICATIVES DES NIVEAUX CRITIQUES DE AI POUR QUELQUES CULTURES	48

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : BILAN HYDROLOGIQUE D'UN SITE D'IRRIGATION	8
FIGURE 2: SCHÉMA DE LA DISTRIBUTION DES RACINES DES PLANTES	8
FIGURE 3 : SCHÉMA ILLUSTRATIF DE L'IRRIGATION PAR SURVERSE (HUMIDIFICATION DE LA RHIZOSPHERE JUSQU'À SATURATION)	11
FIGURE 4: L'ÉVAPORIMÈTRE, OU BAC ÉVAPORATOIRE, STANDARD DE CLASSE A	13
FIGURE 5 : FORME DU MOUILLAGE DU SOL AUTOUR D'UN VASE D'ARGILE POREUX ENFOUI ENTRE DEUX RANGÉES DE CULTURES	22
FIGURE 6 : FORME DU MOUILLAGE DU SOL IRRIGUÉ PAR UNE SÉRIE DE VASES D'ARGILE POREUX ENFOUIS ENTRE DEUX RANGÉES DE CULTURES	22
FIGURE 7 : FORME DU MOUILLAGE D'UN SOL IRRIGUÉ PAR DES TUYAUX SOUTERRAINS D'ARGILE POREUX : LES SECTIONS DE TUYAUX SONT ASSEMBLÉES POUR FORMER DES SOURCES LINÉAIRES HORIZONTALES PARALLÈLES DESTINÉES À IRRIGUER DES CULTURES EN LIGNES.....	23
FIGURE 8 : FORME DU MOUILLAGE D'UN SOL IRRIGUÉ PAR UN TUYAUX POREUX ENFOUI À L'HORIZONTALE ENTRE DEUX RANGS PARALLÈLES DE CULTURES	24
FIGURE 9 : CULTURE EN LIGNE PLANTÉE JUSTE AU-DESSUS DE TUYAUX POREUX HORIZONTAUX.....	24
FIGURE 10 : SOURCE LINÉAIRE D'IRRIGATION AU GOUTTE À -GOUTTE MUNIE DE PERFORATIONS PEU ESPACÉES:	25
FIGURE 11 : SCHÉMA D'UN SYSTÈME CLASSIQUE D'IRRIGATION AU GOUTTE-À-GOUTTE	27
FIGURE 12 : FORME DU MOUILLAGE DU SOL SOUS DES GOÛTEURS PLACÉS DE PART ET D'AUTRE D'UN ARBRE	29
FIGURE 13 : FORME DU MOUILLAGE DU SOL SOUS UN GOÛTEUR PLACÉ ENTRE DEUX RANGS PEU ESPACÉS	29
FIGURE 14 : FORME DU MOUILLAGE DU SOL IRRIGUÉ PAR BARBOTEUR, AVEC COUDE SOUTERRAIN .	30

PRÉFACE

Le Niger a absolument besoin d'une production agricole plus abondante et plus stable. En effet, il est clair que l'irrigation peut et doit jouer un rôle clé dans cette optique, mais les efforts visant à développer le secteur de l'irrigation au Niger appartiennent désormais au passé, peut-être parce que les formules adoptées étaient inappropriées aux conditions physiques et socioéconomiques.

Même si les grands périmètres d'irrigation contrôlés par l'État, peuvent permettre d'accroître rapidement la production, l'irrigation devrait être développé sur les petites exploitations gérées par les agriculteurs indépendants ou des associations d'agriculteurs.

Cette publication décrit non seulement les risques écologiques et humains associés aux pratiques actuelles d'irrigation au Niger (Une pratique dominée par les méthodes d'irrigation traditionnelles notamment l'irrigation par planche, par sillon etc....) mais vise principalement à mieux faire connaître les concepts et les pratiques fondamentaux de l'utilisation efficace de l'environnement irrigué. Le but est d'appliquer ces principes pour améliorer la petite irrigation, et par voie de conséquence, la sécurité alimentaire au Niger.

L'approche des bonnes pratiques, l'objet essentiel de ce document, penchera non seulement sur des petits systèmes d'irrigation peu coûteux, basés sur l'application fréquente d'un faible volume d'eau sur une surface partielle, qui semble offrir des possibilités considérables encore inexploitées mais aussi sur les pratiques culturelles de gestion de quelques problèmes associés aux pratiques d'irrigation. En adoptant cette approche, nous n'avons pas traité les méthodes d'irrigation de surface (notamment l'irrigation par planche, par sillon etc.) qui ont déjà été maintes fois décrites dans le passé et sont généralement bien connues au Niger.

1. INTRODUCTION

Au Niger, les perspectives de la sécurité alimentaire suscitent de vives préoccupations. Le pays sujet à des aléas climatiques, fréquentes sécheresses etc.... est particulièrement vulnérable, car il est déjà aux prises avec une grave crise démographique et environnementale. Dans ce contexte, il est clair que l'irrigation peut et doit jouer un rôle important dans l'augmentation et la stabilisation de la production alimentaire.

Cependant, de nombreux obstacles freinent l'expansion de l'irrigation. Dans de vastes zones du pays, les ressources en eau (souterraines et superficielles) sont limitées. Dans d'autres zones, on ne connaît pas suffisamment les ressources potentielles pour faire des prévisions fiables. Même dans les endroits où l'on sait de façon certaine que les ressources hydriques soient substantielles, il arrive que les conditions ne soient pas propices au développement de l'irrigation. Ces conditions peuvent être les suivantes : topographie et sols défavorables, marchés distants, infrastructures inadéquates, absence de crédit, de main d'œuvre, d'information et d'autres services destinés aux irrigants mais aussi et surtout les pratiques actuelles d'irrigation, sources de gaspillage de ressources en eau et de dégradation écologique.

Par ailleurs, l'épuisement et la pollution des ressources limitées en eau et les pressions concurrentes exercées sur ces dernières limitent les possibilités d'expansion de l'irrigation. Quoique réels, ces problèmes ne suffisent pas à expliquer l'échec des efforts déployés à travers l'histoire pour exploiter le potentiel d'irrigation au Niger. Les résultats décevants de quelques initiatives mises en œuvre dans le passé pour développer l'irrigation semblent d'avantage imputables à des défaillances aux niveaux de la stratégie et de la mise en œuvre qu'à des obstacles réellement insurmontables.

L'approche présentée par ce guide se propose de présenter à l'usage des accompagnateurs agricoles, des agents techniques d'agriculture etc. a pour objectif la conception et l'adoption des technologies suffisamment souples et ajustables aux conditions et aux besoins locaux. Les plus importantes de ces innovations sont les techniques basées sur l'application fréquente d'un faible volume d'eau sur une surface partielle, en ajustant le débit en fonction des besoins des cultures. En outre, elles sont suffisamment souples pour pouvoir être reproduites à une échelle réduite et adaptées aux besoins des petits paysans.

2. IRRIGATION ET DRAINAGE

On appelle irrigation, l'approvisionnement des cultures en eau par des moyens artificiels. Il existe plusieurs moyens d'arroser les cultures parmi lesquels nous avons :

Irrigation superficielle : laisser couler l'eau à la surface, ou inonder le sol et le laisser saturer jusqu'à une certaine profondeur. Elle inclut ;

Exemple : Irrigation par épandage, irrigation par ruissellement, irrigation par planche, irrigation par submersion, par sillon etc.

Irrigation par aspersion : pulvériser de l'eau dans l'air et la laisser retomber en pluie sur les plantes et sur le sol.

Irrigation à la goutte – à - goutte : Arroser goutte –à –goutte une fraction de la surface du sol de façon à ce qu'elle s'infiltré dans la rhizosphère.

Irrigation exsudeurs souterrains : introduire l'eau directement dans la rhizosphère au moyen de réceptacles poreux.

Irrigation souterraine : élever la nappe d'eau par en dessous (dans les endroits où la nappe d'eau souterraine est peu profonde et contrôlable) de façon à ce que la rhizosphère soit humidifiée par capillarité.

Le tableau 1 donne une classification des méthodes d'irrigation.

Tableau 1 : Classification simplifiée des méthodes d'irrigation

	L'eau est administrée		
	Sur toute la surface	Sur une partie de la surface	Sous la surface
L'eau est amenée sous forme :			
courante			
-sur un coté quelconque	Épandage, déversement		
- sur le petit coté de la parcelle élémentaire	Planche	Sillons, raies, fossés	
dormante»	Bassin de submersion		Irrigation souterraine
en pluie	Aspersion		

Toute opération d'assainissement permettant d'éliminer du sol les excédents d'eau asphyxiants ou qui contrarient, pour le moins, l'exécution des opérations culturales ou de la récolte est appelée drainage.

Le drainage aère le sol, modifie la constitution physique des terres, favorise la nitrification, permet aux terres argileuses de mieux résister à la sécheresse, assure une pénétration plus profonde des racines, facilite la culture du sol, amène la disparition des plantes adventices et des maladies cryptogamiques....

3. PRATIQUES ACTUELLES D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE

3.1 Notion d'une irrigation propre

Une irrigation propre est une pratique qui consiste à appliquer exactement la quantité d'eau que la plante a besoin c'est-à-dire à déverser de l'eau jusqu'à la partie du profil pédagogique, appelée rhizosphère, où elle est absorbée instantanément et ultérieurement par la plante. Les systèmes d'irrigation bien gérés sont ceux qui contrôlent la distribution spatiale et temporelle de l'eau de façon à favoriser la croissance et le rendement des cultures et améliorer la rentabilité économique de la production végétale. Ces systèmes distribuent l'eau à raison de fréquences et de quantité calculée de façon à satisfaire les besoins des cultures qui varient en fonction du temps.

3.2 Pratiques actuelles d'irrigation et de drainage

Contrairement aux pratiques d'une irrigation saine, les méthodes actuelles d'irrigation à dominance superficielle (notamment l'irrigation par planche, par sillon...) est une véritable source de gaspillage de l'eau, du temps et de l'énergie. Cette pratique du gaspillage de l'eau résulte de l'idée perpétuée au sein de la communauté nigérienne qui stipule que : « *l'eau douce est un bien naturel gratuit, et non une ressource rare et précieuse.*

Le phénomène du gaspillage de l'eau est accentué surtout avec l'introduction des motopompes car inadéquate non seulement à la plus grande partie des réseaux actuels de transport et distribution de l'eau à la parcelle mais aussi à la majorité des moyens de captage, constitués en plus grande partie des puisards, des puits, des mares etc. qui souffrent à leur tour de problème de baisse de niveau de la nappe et de tarissement précoce.

Les principales causes de gaspillage en eau sont :

- Les pertes par les fuites dans les canaux de transport et de distribution dont la plus part sont mal dimensionnés par rapport aux doses manifestement excessives, apportées par les motopompes,
- l'infiltration dans le terrain trop sableux de l'eau d'irrigation,
- les pertes par évapotranspiration surtout au niveau parcellaire et
- Le choix de la variété à cycle long qui a également une influence sur la consommation en eau.

L'irrigant nigérien n'a pas encore en tête que l'irrigation est une pratique de raisonnement des situation de déficit et d'excès en eau c'est à dire : Appliquer trop peu d'eau c'est sans conteste, la gaspiller car elle ne produira pas l'effet souhaité. A l'inverse, la pratique consistant à déverser une quantité excessive d'eau sur la terre en l'inondant peut être encore plus nocive car elle sature le sol pendant trop longtemps, inhibe l'aération, lessive les nutriments, accroît l'évaporation et la salinisation et enfin, porte la nappe phréatique à un niveau qui supprime l'activité racinaire et microbienne normale et qui ne peut être drainée et lessivée qu'à grands frais.

En effet, l'irrigation excessive contribue à se desservir elle-même à travers le double fléau de l'engorgement et de la salinisation du sol. Dans ces circonstances, non seulement l'irrigation ne produit pas le résultat escompté qui est d'accroître et de stabiliser la production alimentaire, mais sa viabilité risque d'être compromise. La conséquence économique et environnementale ultime de la mauvaise pratique de l'irrigation est la destruction de la base productive d'une zone. Le coût de la remise en état de la terre, une fois qu'elle a été dégradée, peut être prohibitif.

La situation des pratiques actuelles d'irrigation dans les zones du PIP₂ présente d'énormes risques écologiques et sociaux. Cette situation est d'autant plus inquiétante car la plupart des systèmes d'irrigation ont été conçus sans plan de drainage. D'où la nécessité des pratiques de l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau à la parcelle, de la gestion de l'alcalinité et de la salinisation (voir encadré 2).

3.3 Risques écologiques des pratiques actuelles

L'irrigation telle que pratiquée dans les zones du PIP₂, peut avoir des risques sur l'environnement tant hors du site que sur le site. Les risques hors du site peuvent se produire en amont de la terre qui doit être mise en valeur, par exemple s'il faut construire un barrage sur un fleuve ou une rivière pour l'approvisionner en eau d'irrigation et cela sans prévoir le système de drainage. En aval de la zone irriguée, l'environnement peut être endommagé par l'eau excédentaire qui s'y déverse, si elle contient des concentrations nocives de sels, de déchets organiques, d'organismes pathogènes et de résidus agronomiques. Les risques potentiels sur le site sont ceux qui nous intéressent le plus directement. Les terres irriguées, en particulier dans les vallées fluviales où les nappes d'eau tendent à être élevées, doivent, d'une manière générale, être drainées faute de quoi elles sont exposées:

- Au fléau de l'engorgement et de la salinisation,
- à la baisse de la fertilité et
- à l'acidité etc....

Quant aux sites des vallées et cuvettes, ils sont surtout exposés au phénomène de la baisse de niveau de la nappe et de déclin de la fertilité des terres. Comme cela peut être aisément constaté, les irrigants nigériens ne tirent pas le maximum de profit de leurs pratiques actuelles d'irrigation. Une irrigation basée sur le gaspillage de l'eau (et des autres intrants agricoles) n'améliore pas la rentabilité économique de la production végétale. Dans ce contexte, l'option d'optimisation des conditions d'irrigation commande la prise en compte des mesures permettant d'améliorer l'efficacité de l'eau utilisée (voir Encadré 2).

3.4 Risques sociaux des pratiques actuelles

L'irrigation n'est pas simplement une opération mécanique visant à distribuer de l'eau aux cultures. C'est aussi une activité humaine et une entreprise sociale. On ne peut s'intéresser au développement de l'irrigation sans noter que, en fin de compte, le succès de tout projet est fonction de la qualité de l'effort humain qui a été investi. En outre, un projet d'irrigation n'est pas seulement un système destiné à accroître la production agricole, c'est aussi et peut être même avant tout, un lieu où une communauté d'individus et de famille peuvent vivre en bonne santé, tout en travaillant ensemble et en contribuant à la sécurité alimentaire de leur nation communauté.

Sur les sites du PIP₂, la plupart de systèmes d'irrigation, servent aussi d'autres objectifs que la production agricole : Besoins en eau des ménages, évacuation

des eaux usées, transport, pêche, élevage...Quelques-uns de ces besoins peuvent entrer en concurrence ou en conflit avec les objectifs de base pour lesquels le projet d'irrigation a été conçu particulièrement s'ils n'ont pas été identifiés dès le départ au stade de la planification.

Le contexte actuel des sites d'irrigation présente un risque grave pour la santé surtout quant on sait que l'eau transportée dans des canalisations à ciel ouvert est souvent utilisée pour boire, se baigner, faire la lessive et que des déchets d'origine animale et humaine y sont évacués. C'est pourquoi on a coutume de dire «Là où va l'eau, la maladie suit ».

Malheureusement, les pratiques actuelles d'irrigation sont des terrains favorables à la reproduction des vecteurs de maladies (tels que les moustiques et les escargots) et des pathogènes responsables de certaines des maladies les plus débilantes qui se propagent. Parmi celles-ci, on peut citer la schistosomiase (bilharziose), l'onchocercose (cécité des rivières), la malaria, le choléra, la dysenterie et d'autres maladies intestinales. Certaines précautions peuvent contribuer au contrôle de la propagation des maladies d'origine hydrique comme le souligne l'encadré 1 suivant.

Encadré 1

Précautions contribuant au contrôle de la propagation des maladies d'origine hydrique sur les sites.

- Prévoir des canaux d'adduction et de drainage revêtus de béton et d'une forme appropriée pour empêcher la stagnation de l'eau le long des bords (et accessoirement, pour réduire les pertes par infiltration).
- Prévoir la prolifération de végétaux aquatiques à l'intérieur des canaux, pour éviter leur encrassement, la stagnation de l'eau et la propagation des maladies.
- Protéger les canalisations contre les animaux errants qui pourraient casser les bords et polluer l'eau.
- Contrôler l'évacuation des déchets humains et donner des éducations sanitaires aux irrigants.
- Traiter l'eau utilisée directement pour les besoins humains (filtrage et le cas échéant utilisation des produits chimiques pour lutter contre les parasites).

4. BONNES PRATIQUES D'UTILISATION DE L'EAU

Le but d'une irrigation efficace n'est pas simplement d'optimiser les conditions de végétation sur une parcelle spécifique ou pendant une saison particulière, mais de protéger l'ensemble du milieu où est situé le site contre la dégradation à long terme. Ce n'est qu'ainsi que les ressources naturelles seront utilisées efficacement et durablement.

Comment expliquer qu'au Niger l'agriculture irriguée ne produit pas les avantages escomptés ? Ce n'est pas le principe de l'irrigation lui-même qui est en cause, mais sa mise en pratique souvent inappropriée. Le plus souvent, l'eau est apportée sans compter et la terre en reçoit une quantité excessive, sans que l'on se préoccupe du coût réel de l'extraction de l'eau de sa source et de sa distribution à la parcelle, ou de la reconstitution des ressources hydriques, une fois qu'elles seront épuisées ou polluées.

En irrigation (comme du reste dans de nombreuses autres activités), le mieux est de donner juste ce qu'il faut, c'est à dire une quantité calculée en quantité suffisante pour satisfaire les besoins des cultures et prévoir l'accumulation de sel dans le sol, ni plus ni moins.

4.1 Amélioration de l'efficacité de l'eau utilisée en irrigation

4.1.1 Bilan hydrique et gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle

Le bilan hydrique (figure 1) est un outil de raisonnement des situations de déficit et d'excès en eau. Lorsqu'une faible humidité du sol limite la transpiration d'une culture, sa productivité diminue. L'objectif prédominant de la gestion de l'eau, à l'échelle de la parcelle, est alors d'accroître cette transpiration en minimisant les pertes par évaporation, drainage ou ruissellement, et en augmentant les apports, par irrigation ou par augmentation de la zone de sol exploitée par les racines (figure 2). À l'inverse, lorsque de l'eau en excès gêne l'activité biologique dans le sol et réduit la disponibilité en éléments nutritifs, il faut s'efforcer de minimiser les périodes où le sol est saturé. La transpiration est dans ce cas peu variable dans le temps. L'objectif à atteindre en terme de gestion de l'eau est alors augmentation de drainage.

Évaporation

Évapotranspiration Pluie

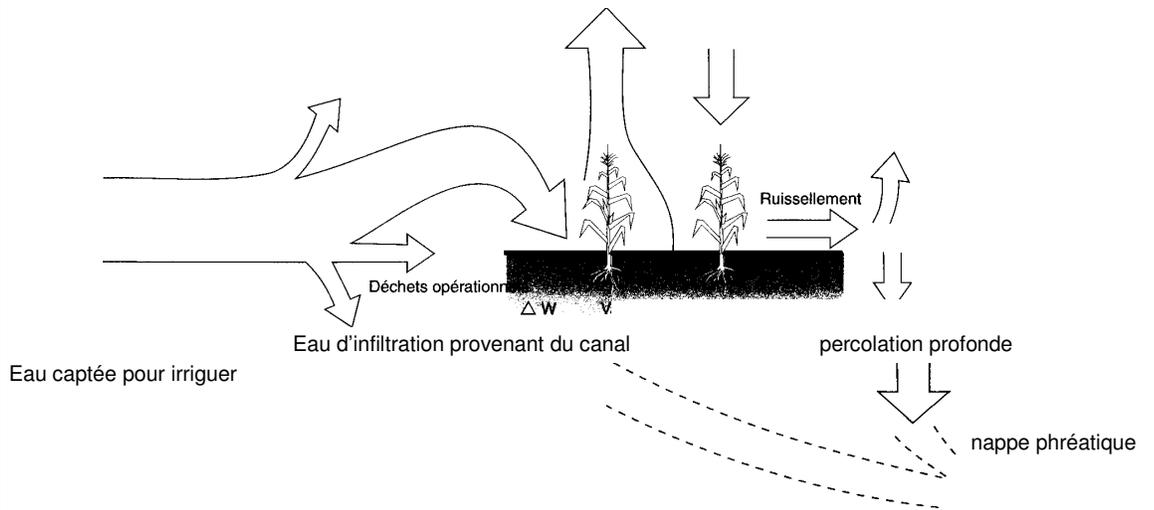


Figure 1 : Bilan hydrologique d'un site d'irrigation

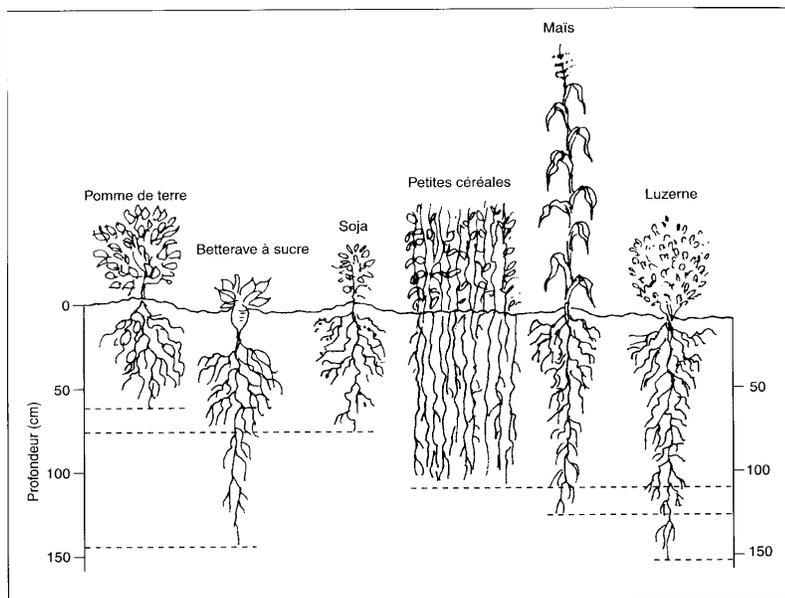


Figure 2: Schéma de la distribution des racines des plantes

4.1.2 Comment améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau ?

L'efficacité de l'eau utilisée par les cultures peut être mesurée par la production commercialisable obtenue par volume unitaire d'eau. Pour maximiser l'efficacité de l'eau utilisée par les cultures, il faut à la fois conserver l'eau et encourager une croissance maximale. La première de ces tâches impose de minimiser les pertes dues aux ruissellements, à l'infiltration, à l'évaporation et la transpiration des adventices. La deuxième commande de planter des cultures à haut rendement bien adaptées au sol et au climat local, mais aussi d'optimiser les conditions de végétation en effectuant, comme il convient et en temps opportun, les semis, la récolte, les travaux du sol, les opérations de fertilisation et de lutte contre les ravageurs. Bref, pour élever le rendement de l'eau consommée, il faut adapter des pratiques de culture rationnelles de début à la fin. Des mesures susceptibles d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau sont présentées dans l'encadré 2.

Encadré 2

Récapitulatif des mesures permettant d'améliorer l'efficacité de l'eau utilisée

Conservation de l'eau

- Réduire les pertes pendant le transport en revêtant les canaux ou de préférence en utilisant les conduits fermés.
- Réduire l'évaporation directe pendant l'irrigation en évitant l'arrosage par aspersion à midi.
- Réduire les pertes par ruissellement et par percolation dues à la sur irrigation.
- Réduire le volume d'eau qui s'évapore du sol nu en le recouvrant de paille (mulch) et en veillant à ce que les bandes entre les parcelles restent sèches.
- Réduire le volume d'eau transpiré par les adventices, en évitant de mouiller entre les parcelles et en désherbant quand il faut.

Renforcement de la croissance des cultures

Sélectionner les cultures les plus adaptées à la région.
Prévoir un calendrier optimal pour le semis et la récolte.
Adopter des façons culturales optimales (éviter les labours excessifs).
Adopter des méthodes appropriées pour lutter contre les insectes, les parasites et les ravageurs.
Adopter une bonne méthode de fertilisation organo- minérale.
Adopter des mesures de conservation des sols pour garantir une production durable à long terme.
Éviter la salinisation progressive du sol en surveillant la hauteur de la nappe d'eau et les premiers signes d'accumulation saline et en drainant comme il convient.
Irriguer très souvent et en administrant juste la quantité qu'il faut pour prévenir les déficits hydriques, en tenant compte des conditions météorologiques et du stade de croissance des cultures.

4.1.3 Calcul des indices de l'efficacité

Tous les indices de l'efficacité peuvent être réunis en un seul concept : *rendement agronomique global de l'eau utilisée*, f_{ag} :

$$f_{ag} = P/U$$

Où **P** = production végétale (matière sèche totale ou commercialisable selon le cas) et **U** = volume d'eau déversé?

$$\text{Or } U = R + D + E_P + E_S + T_W + T_C$$

Avec **R** = volume perdu par ruissellement

D = volume drainé en dessous de la rhizosphère

E_P = volume perdu par évaporation pendant le transport et l'application au champ

E_S = le volume évaporé de la surface du sol (principalement entre les rangs des plantes cultivées).

T_W = volume transpiré par les adventices

T_C = volume transpiré par les plantes cultivées

En conséquence,

$$f_{ag} = P / (R + D + E_P + E_S + T_W + T_C)$$

En prévenant le ruissellement et l'évaporation directe de l'eau libre, en minimisant l'évaporation de la surface du sol et en luttant efficacement contre les adventices et, enfin, en dosant les applications en fonction des besoins des cultures de façon à éviter une percolation excessive, les pertes totales peuvent être réduites à moins de 20 pour cent du volume déversé. L'efficacité de l'irrigation peut alors atteindre ou dépasser 80 pour cent.

Les méthodes d'irrigation qui seront décrites dans ce document sont susceptibles d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la plante et par conséquent augmenter le rendement agronomique global de l'eau utilisée.

4.2 Estimation des besoins en eau des plantes

L'expression *programmation de l'irrigation* décrit la procédure par laquelle un irrigant détermine la périodicité et le dosage des applications d'eau en répondant aux deux questions suivantes : *Quand faut-il irriguer ? Et quelle quantité d'eau faut-il appliquer ?*

Dépendamment des méthodes d'irrigation en place, deux réponses sont valables à la première question.

Pour le cas de l'irrigation traditionnelle par surverse (figure 3), la réponse est : Lorsque la réserve d'humidité disponible dans la rhizosphère est sur le point d'être épuisée.

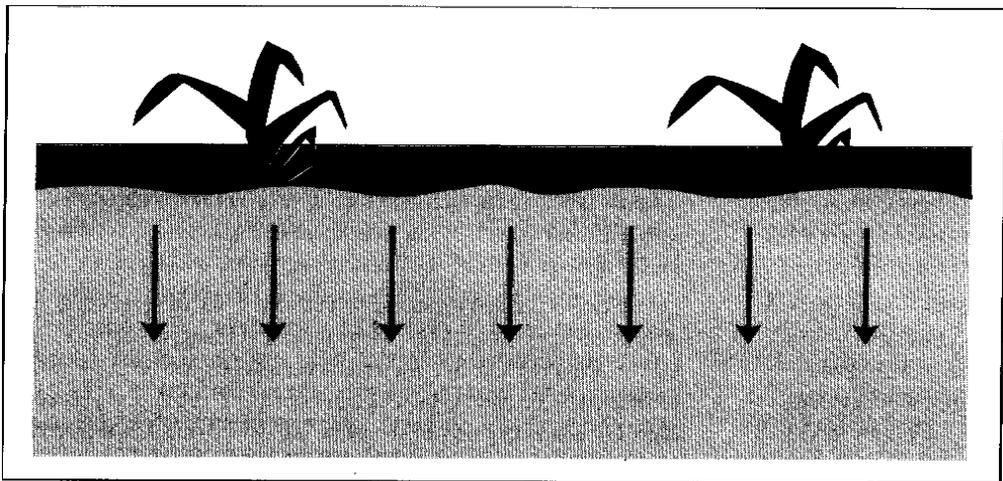


Figure 3 : Schéma illustratif de l'irrigation par surverse (humidification de la rhizosphère jusqu'à saturation)

- Pour les méthodes d'irrigation basées sur des applications fréquentes d'eau, la réponse est : *Aussi souvent que possible, même quotidiennement.*
- A la question relative à la quantité d'eau, la réponse est : Suffisamment pour compenser les pertes par évaporation et pour prévenir la salinisation de la rhizosphère.

4.2.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle ETP

C'est l'évapotranspiration maximale d'un gazon recouvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue. Les méthodes pour la détermination des besoins en eau des plantes sont généralement expérimentales à cause de plusieurs facteurs qui influent sur ceux-ci : le climat, le sol. La connaissance de la valeur de l'ETP est importante puisque c'est d'elle entre autre dépend le dimensionnement du réseau d'irrigation. L'estimation de l'ETP peut se faire par les calculs en utilisant les formules empiriques ou par observation des variables

météorologiques pertinentes (température, vent, humidité atmosphérique et ensoleillement). Cependant, il faut noter que l'ETP constitue un ensemble complexe dont il est difficile d'appréhender tous les aspects.

Aucune formule ne peut être considérée comme parfaite car toutes ont recours à des paramètres d'adaptation plus ou moins précis.

a) Mesures à l'aide d'un évapotranspiromètre

L'évapotranspiromètre (Figure 4) est un appareil assez simple en apparence destiné à mesurer l'ETP « in situ ». L'ensemble est constitué au minimum de trois (3) bacs métalliques enterrés, deux ou trois bacs de mesures de l'ETP d'environ 1 à 2 m² situés à 10 mètres les uns des autres. Ces bacs sont remplis de terre, la moins remaniée que possible, sur un lit de galets et graviers destinés à assurer un bon drainage du massif. Les bacs comme le terrain aux alentours sont enherbés d'un gazon court. Ils sont reliés par des canalisations à des appareils de mesures de drainage. Les bacs de mesures comme le terrain sont régulièrement arrosés de manière à maintenir un débit de drainage vers le bac de mesure. A partir d'une situation où le drainage est nul, la différence entre l'eau apportée par arrosage ou par les pluies et l'eau drainée indique la quantité d'eau évaporée et comme l'on se trouve dans les conditions de définition de l'ETP de PENMAN, c'est bien l'ETP qui est ainsi mesurée :

$$\text{ETP} = (\text{pluie} + \text{irrigation}) + \text{drainage}$$

L'on peut également mesurer l'ETP des cultures diverses et l'évaporation d'un sol nu. La précision dépend de la qualité et du soin apporté aux mesures. L'ensemble est lourd à manier et cher à faire fonctionner.

b) Mesures à l'aide d'un bac d'évaporation

L'idée directrice est de mesurer l'évaporation d'un plan d'eau. Mais comme il est très difficile d'étudier les variations du plan d'eau d'un lac ou d'une mare dont on ignore les apports et les fuites, aussi utilise-t-on des bacs de petite dimension d'observation sensés représenter en miniature l'ensemble des phénomènes liés à l'évaporation du plan d'eau. L'avantage des bacs est leur standardisation qui a pour objet de rendre les défauts similaires d'un bac à un autre ; il existe plusieurs types mais deux types sont plus couramment employés.

- **Bac de classe A**

Ce bac de plus en plus utilisé a été mis au point par le service de la météorologie des USA. Il s'agit d'un bac en acier inoxydable ou galvanisé de 121,9 cm de diamètre et de 25,4 cm de profondeur. Il est disposé sur un terrain découvert en principe enherbé et placé sur un platelage non jointif de madrier en bois. Il est

protégé des animaux et des oiseaux par un grillage. Le bac est régulièrement rempli d'eau. Et l'on mesure à intervalles réguliers les différences de niveau, la hauteur de pluie tombée, la température de l'eau et la vitesse du vent. L'on a ainsi à tout moment :

$$\text{EVAPORATION} = N0 - N1$$

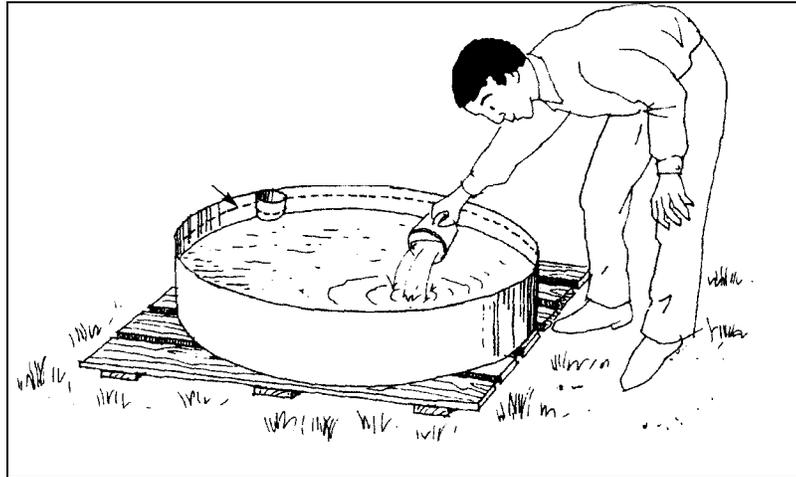


Figure 4: L'évaporimètre, ou bac évaporatoire, standard de classe A

- **Bac « Colorado »**

Assez semblable au précédent, ce bac est presque entièrement enterré. Ceci étant destiné à réduire les effets créés de bac lui – même, mais de fait les résultats obtenus sont comme les précédents sujets à erreurs. En fait le calage des bacs sur d'autres méthodes permet de dégager des coefficients de correction tenant compte du vent des brochures, des bacs etc. L'on a ainsi :

$$\text{ET0} = \text{EV bac} \times \text{C}$$

Pour leur part, les techniciens israéliens emploient tout simplement :

$$\text{ETP} = 0.75 \times \text{Ev bac}$$

$\text{ETP} = 0.8 \times \text{EV bac}$ « Colorado » pour les zones semi – arides estimant que la précision est suffisante à ce niveau tout en admettant l'arbitraire de ce type de simplification. L'encadré 3 résume les avantages et les inconvénients du bac.

Encadré 3

Avantages et inconvénients du bac

Avantages du bac :

- Il donne une indication de l'effet conjugué des rayonnements solaires, du vent, de la température et de l'humidité sur l'évapotranspiration dans un site.
- Il est facile à fabriquer et l'on peut obtenir pratiquement les mêmes résultats avec n'importe quel dispositif ayant une configuration plus ou moins similaire à celle du bac.
- Il est peu coûteux, facile à installer, à entretenir et à contrôler.

Inconvénients du bac :

- Le bac ne réagit pas nécessairement de la même manière que la surface du site qui est recouverte de végétation aux points de vue : pouvoir réfléchissant, propriétés thermiques, fluctuation des températures entre la nuit et le jour, rugosité aérodynamique du couvert végétal etc.
- Les facteurs comme la couleur du bac, la profondeur et la turbidité de l'eau et l'ombrage fourni par les plantes voisines, peuvent tous altérer jusqu'à un certain point la mesure.
- Des animaux et des oiseaux assoiffés errants peuvent venir s'y abreuver, mais pour éviter cela, on recouvre souvent les bacs de grilles mais Cela peut réduire de 10 à 20 % le taux d'évaporation et de ce fait d'où le recours à un coefficient de correction.

4.2.2 Calcul des besoins en eau des plantes

- **Coefficient cultural**

L'évapotranspiration potentielle est définie comme le taux d'évapotranspiration d'une surface étendue de gazon ayant une hauteur de 8 à 15 cm. Pour d'autres cultures, il faut donc adapter les résultats obtenus par les calculs aux conditions particulières. En effet, le besoin en eau des cultures varie avec l'espèce et de son stade de développement. Le coefficient cultural permet de rapprocher de l'ETP de gazon à chaque type de culture. La relation entre l'ETP (gazon) et celle de toute autre culture est donnée par:

$$\text{ETP (culture)} = k_c * \text{ETo.}$$

Le coefficient cultural « K_c » dépend essentiellement:

- du type de culture;
- de la phase de croissance de la culture;
- du climat.

K_c et type culture: le maïs complètement développé avec sa grande surface de feuilles, transpirera et consommera plus d'eau que le gazon de référence: K_c du maïs est supérieur à 1, le concombre, complètement développé, consommera moins d'eau que le gazon: le K_c est inférieur à 1.

K_c et la phase de croissance de la culture:

Une culture consommera plus d'eau quand elle est complètement développée.

K_c et le climat: le climat a une influence sur la durée de la saison végétative totale et sur les différentes phases de croissance. Par exemple sous un climat froid la plante peut croître moins rapidement que sous le climat chaud. La détermination des valeurs de K_c pour les différentes phases de croissance des cultures comporte plusieurs étapes:

- 1°) Détermination de la saison végétative totale de chaque culture.
- 2°) Détermination de différentes phases de croissance de chaque culture
- 3°) Détermination des valeurs de K_c pour chacune des phases de croissance de chaque culture.

- **Durée végétative totale**

La durée végétative totale (en jours) est la période comprise entre **le semis ou le repiquage et le dernier jour de la récolte**. Elle dépend essentiellement:
du type de culture et de la variété,
du climat,
de la date de la mise en terre.

Comme la saison végétative dépend fortement des conditions locales (variétés locales), il est toujours préférable d'obtenir les données localement c'est-à-dire par des recherches et des expérimentations locales.

- **Phases de croissance**

Lorsque la saison végétative totale est connue, il reste à déterminer la durée en jours des différentes phases de croissance. La saison végétative totale se divise en 4 phases de croissance :

Phase initiale : c'est la période qui s'étale depuis le semis ou le repiquage jusqu'à ce que la culture couvre environ 10% de la surface du sol.

Phase de développement : cette période commence à la fin de la phase initiale et se termine quand la couverture totale du sol est réalisée (couverture du sol de 70 à 80%) ; cela ne signifie pas nécessairement que la culture a atteint sa taille maximale.

Phase de mi-saison : cette période commence à la fin de la phase de développement et s'achève à la maturation ; elle comprend la floraison et la formation des grains.

Phase d'arrière saison : Cette période commence à la phase de mi-saison et se termine au dernier jour de la récolte ; elle comprend le mûrissement.

- **Détermination du coefficient cultural**

Pour déterminer le coefficient cultural K_c , il est donc nécessaire de connaître, pour chaque culture, la durée totale de végétation et les durées de chaque phase. Il faut déterminer 4 coefficients culturaux par culture : un coefficient cultural pour chacune des quatre phases de croissance.

- **Besoins en eau des cultures**

Les besoins nets des cultures sont estimées comme suit:

$$\mathbf{B_{net} = ETP \times K_c} \quad (\text{au pas de temps et à la fréquence choisie})$$

Les besoins bruts : c'est en fait la quantité d'eau qu'il faut réellement mobiliser pour satisfaire aux besoins nets et qui tient compte des pertes dans le transport de l'eau jusqu'à la plante. Ces pertes dépendent en fait du système d'irrigation. Chaque système est caractérisé par son efficacité. On aura alors :

$$\mathbf{BESOINS BRUTS = ETP * K_c / \text{efficacité}}$$

En pratique l'efficacité totale est égale à :

Efficacité à la parcelle entre le canal de distribution et la plante ; et

Efficacité du réseau : (Réseau tertiaire, Réseau secondaire, Réseau primaire).

Il est évident que sur un grand réseau de grande longueur, les pertes seront plus importantes en queue du réseau qu'en tête (tête morte), et si au niveau du projet l'on est obligé de faire des hypothèses au niveau de l'exploitation, il y a lieu de bien connaître le volume des pertes dans chaque tronçon du réseau.

- **Exemple de calcul de besoins en eau de la tomate**

Dans cet exemple, on traitera le calcul de l'ETP à partir des valeurs de l'évaporation du bac de classe A : **ETP = 0,75 x Ev bac.**

Données agronomiques :

- ❖ Durée végétative totale de la tomate: 135 jours;
- ❖ Date de repiquage : 1^{er} septembre.

Coefficients cultureux par phase

Culture	Phase initiale	Phase de développement	Phase de Mi - saison	Phase arrière saison	Totale
Durée par phase (jour)	30	40	40	25	135
Kc	0,45	0,75	1,15	0,80	

Calcul de coefficients cultureux mensuels

	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Phase initiale	1 ^{er} au 30 septembre Kc = 0,45				
Phase de développement		1 ^{er} octobre au 10 novembre Kc = 0,75			
Phase de Mi-saison			11 novembre au 20 décembre Kc = 1,15		
Phase arrière saison				21 décembre au 15 janvier Kc = 0,80	
Kc mensuels	0,45	0,75	1,00	1,05	0,80

NB : Pour les calculs des coefficients cultureux mensuels, il faut prendre 30 jours pour tous les mois (même février). Ici les mois de novembre et décembre sont à cheval sur deux phases, donc pour calculer les coefficients mensuels, il faut faire la règle de trois :

$$Kc \text{ de novembre} = (10 \text{ jours} \times 0,75) / 30 + (20 \text{ jours} \times 1,15) / 30 = 1,00$$

$$Kc \text{ de décembre} = (1,15 \times 20 \text{ jours}) / 30 + (0,80 \times 10 \text{ jours}) / 30 = 1,03 \text{ arrondi } 1,05$$

Tableau 2: Calcul de besoins en eau de culture et d'irrigation

Paramètres	Septem bre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Total
EV bac	153	209	245	265	272	
ETP = 0,75x Ev bac	115	157	184	199	204	
Kc / mensuel	0,45	0,75	1,00	1,05	0,8	
ET _{tomate} = ETP x Kc	52	118	184	209	82	
Pluies moyennes	50	0	0	0	0	
Pluie efficace = 0,6 x 50-10	20	0	0	0	0	
Besoin en eau d'irrigation (mm) = ET _{tomate} – Peff	32	118	184	209	82	626
Besoins en eau d'irrigation en m3/ha	320	1 180	1 840	2 090	820	6 258
Efficienc globale E	70% = 0,70					
Besoin d'irrigation pratique = Besoin en eau d'irrigation / E	46	169	263	299	117	894
Besoins pratiques en m3/ ha	460	1 690	2 630	2 990	1 170	8 940
Besoins pratiques / jour	15	22	88	96	78	

NB : Pour le mois de janvier, il faut prendre la moitié puisque la récolte commence le 15 janvier, c'est – à – dire l'irrigation s'arrête le 15 janvier.

5 TECHNIQUES PROPRES POUR LA PETITE IRRIGATION

Le développement des techniques d'irrigation modernes dans les zones du PIP₂, doit avoir pour objectif d'utiliser au mieux l'eau, en même temps que les terres, les ressources humaines et les intrants essentiels(énergie, machines, engrais et lutte phytosanitaire) de façon à renforcer durablement la production agricole. La recherche de cette méthode appropriée doit être nécessairement guidée et limitée par les connaissances disponibles ainsi que par des expériences empiriques sur le terrain.

La sélection d'une technologie d'irrigation appropriée aux zones du PIP₂ à une combinaison des conditions physiques et socioéconomiques données, quelle qu'elle soit, dépend de facteurs complexes et parfois opposés. Là où le manque d'eau est aigu, l'impératif dominant est à l'évidence d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Là où les capitaux sont insuffisants, la principale exigence pourrait être une méthode d'irrigation nécessitant un minimum d'apports en capital ou d'équipements coûteux. Étant donné que les considérations économiques, ainsi que les conditions physiques et les modes de culture, sont spécifiques à chaque région du PIP₂, un système d'irrigation qui paraît très approprié dans une région ou à l'intérieur d'un même site, peut ne pas l'être ailleurs.

Les facteurs physiques qui entrent généralement dans la sélection des systèmes sont les sols, les cultures, le climat, la topographie, la qualité et la disponibilité de l'eau, le drainage, les dimensions du site et le rendement général du système. Les facteurs humains sont la main d'œuvre et la gestion, la formation et les compétences. Les facteurs économiques sont les coûts de main d'œuvre, du capital et de l'énergie par rapport à la rentabilité escomptée. Comme il est impossible de définir ou de pondérer quantitativement tous les facteurs pertinents dans chaque cas, le choix du système se fonde souvent sur des préférences subjectives plutôt que sur une analyse explicite.

Dans les pays en voie de développement à l'image du Niger, caractérisés par une insuffisance des capitaux, de fréquentes sécheresses, de baisse de niveau des nappes phréatiques et tarissement précoce des mares et des puits etc. il n'y a pas de « système idéal » pour les différents types de cultures, de sols et de taille d'exploitation. L'objectif ne doit être de trouver le système idéal, mais un éventail d'options pouvant être approprié aux circonstances locales (FAO, 1997). Pour choisir une ou plusieurs méthodes d'irrigations modernes et les adapter aux besoins et aux situations spécifiques du PIP₂, le premier critère est de réduire les apports en capital associés à l'installation et à l'entretien de tels systèmes. Il va

de soit car les irrigants nigériens n'ont généralement pas les moyens d'investir des sommes importantes dans l'achat des machines, surtout si ces machines doivent être importées de pays lointains. Les systèmes d'irrigation pouvant convenir à ces irrigants devraient, dans la mesure du possible, garantir leur autonomie c'est-à-dire être basés sur l'utilisation de matériaux et de main-d'œuvre locaux.

De nombreux types de systèmes peuvent être utilisés pour introduire des méthodes d'irrigation compatibles avec les principes décrits. La gamme de possibilités comprend :

À un extrême, des systèmes de transport, de distribution et de déversement de l'eau qui peuvent être fabriqués entièrement sur place et adoptés et entretenus même par des petits irrigants pratiquant l'irrigation de subsistance.

Au niveau intermédiaire, des systèmes reposant en partie sur des éléments manufacturés, pouvant de préférence être fabriqués dans des ateliers ou des usines situées dans la région.

Les systèmes reposant entièrement sur du matériel importé ne sont justifiés que s'ils permettent de produire des cultures commerciales de haute valeur dans une économie de marché bien développée.

En effet, Les méthodes d'irrigation **HELPFUL** (**H**igh-frequency, **E**fficient, **L**ow-volume, **P**artial-area, **F**arm-**U**nit, **L**ow-cost [Méthodes d'irrigation efficaces et peu coûteuses, basées sur le déversement fréquent d'un faible volume d'eau sur une partie du champ]) peuvent bien répondre à la préoccupation actuelles des sites du PIP₂. L'encadré 3 et 4, présente respectivement la définition de l'irrigation HELPFUL et ses conséquences humaines.

Encadré 3

Définition de l'irrigation « HELPFUL »

H : Haute fréquence

E : Efficace

L : Faible volume

P : Surface partielle

F : Exploitation

U : Unitaire

L : Faible coût

Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories : la première est celle des méthodes d'irrigation souterraine et la deuxième est celle des méthodes d'irrigation superficielle.

5.1 Modes d'irrigation souterraines

5.1.1 Description

Les méthodes rentrant dans cette catégorie consistent à déverser l'eau directement dans la rhizosphère par l'intermédiaire de réceptacles poreux ou parfois qui sont enfouis dans le sol à une certaine profondeur (15 à 50 cm), et dont les ouvertures affleurent à la surface. Ces réceptacles, que l'on remplit périodiquement d'eau ou qui restent pleins en permanence, rejettent de l'eau à travers leurs parois perméables dans le sol environnant. L'humidité qui s'en dégage nourrit les racines de la plante. Lorsqu'ils sont disposés en grille, ces applicateurs enterrés permettent d'optimiser la distribution de l'eau par rapport à l'espacement et aux habitudes d'enracinement de la plante. La vitesse d'infiltration et de la distribution à l'intérieur de la rhizosphère dépendent aussi des propriétés du sol.

5.1.2 Irrigation par vases de céramique poreux

L'une des plus anciennes méthodes d'irrigation basées sur le déversement fréquent (ou continu) d'eau sur une partie du volume du sol consiste à enfouir des vases poreux dans le sol (figures 5 et 6)

La méthode consiste à placer des bases (ou des pots) d'argile poreuses dans des fosses peu profondes creusées à cet effet. Le sol est ensuite damé autour des cols des bases de façon à ce que leurs bords dépassent de quelques centimètres la surface du sol. L'eau est versée dans les vases à la main ou au moyen d'un tuyau souple relié à une source d'eau ou un tuyau étroit perforé au-dessus de chaque jarre de façon à remplir simultanément toutes les jarres qui se trouvent sur la rangée. Les vases sont généralement fabriquées avec de l'argile trouvée sur place, et bien que leur forme, leur taille, l'épaisseur de leurs parois ou leur porosité sont variables.

L'irrigation au moyen de vases d'argile est particulièrement appropriée pour les arbres fruitiers, mais elle peut aussi être employée pour arroser les cultures en ligne. Dans les plantations des jeunes arbres, un seul vase à côté de chaque plant devrait suffire au début. Par exemple si une jarre de 5 litres mouille un volume de sol ayant une section transversale effective de 1 m², et si le taux d'exsudation est tel que le vase se vide en un jour, la dose à fournir est équivalente à 5 litres par mètre carré et par jour. Cette méthode d'irrigation est suffisamment souple pour que l'on puisse ajouter peu à peu des jarres, à mesure que les arbres poussent et ont besoin d'une quantité journalière d'eau et d'un volume de sol mouillé plus grand. La quantité et le rythme effectifs des applications d'eau doivent être déterminés cas par cas sur la base de

l'expérience locale. Des observations et des essais minutieux sont nécessaires pour optimiser les variables du système sur lesquelles il est possible de jouer.

Le système d'irrigation par des vases poreux est très simple, mais il doit être surveillé et protégé en permanence (contre les animaux, les oiseaux assoiffés et les piétinements des hommes ...) si l'on veut qu'il continue à fonctionner de façon satisfaisante.

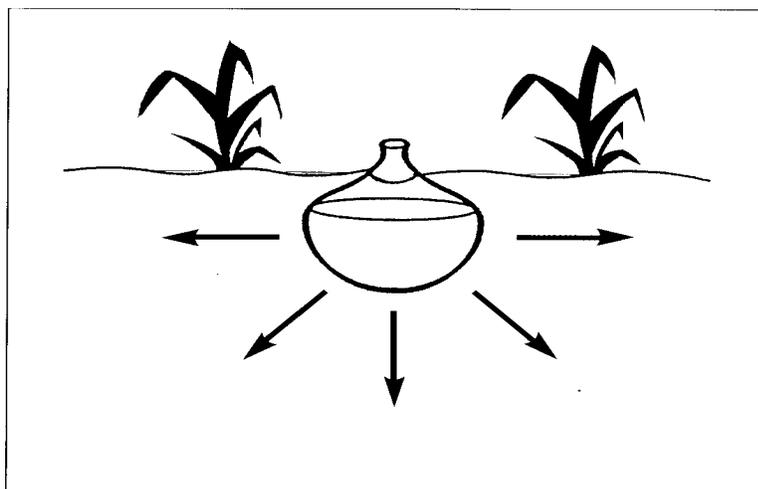


Figure 5 : Forme du mouillage du sol autour d'un vase d'argile poreux enfoui entre deux rangées de cultures

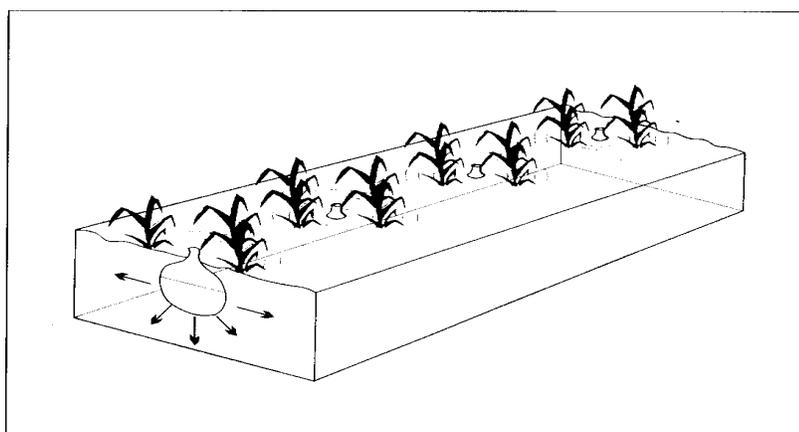


Figure 6 : Forme du mouillage du sol irrigué par une série de vases d'argile poreux enfouis entre deux rangées de cultures

5.1.3 Irrigation à l'aide de tuyaux poreux sectionnés

Cette variante de la méthode d'irrigation par jarres poreuses a pour but de répandre de l'eau dans le sol le long d'une bande horizontale continue, plutôt qu'en des emplacements éloignés les uns des autres. De ce fait, la méthode des tuyaux poreux est plus adaptée pour les cultures en ligne peu espacées, disposées en planches comme les cultures maraîchères. Pour permettre le remplissage, le tuyau est recourbé à une extrémité et l'orifice dépasse du sol.

Dans tous les pays où cette méthode a été démontrée avec succès, les irrigants utilisent des tuyaux d'argile fabriqués sur place, d'environ 24cm de long et 7,5 cm de diamètre interne dont les parois ont une épaisseur de 2 cm (ces dimensions sont bien entendues arbitraires).

Les tuyaux sont placés au fond d'une tranchée peu profonde (environ 25cm de profondeur), creusée au centre d'une planche d'un mètre de large, et disposés de façon à former un tuyau horizontal continu de 3 m de long. La tranchée est ensuite à nouveau comblée de terre. Pour permettre le remplissage, une prise d'eau est fabriquée à une extrémité du tuyau, en recourbant la première section (dont l'extrémité inférieure avait été inclinée lors de la fabrication de façon à ce qu'elle s'enclenche dans la deuxième section horizontale). Comme les sections sont simplement mises bout à bout sans être soudées, l'eau s'infiltre dans le sol au niveau de jointures ainsi qu'à travers les parois poreuses de chaque section (figures 7 à 9).

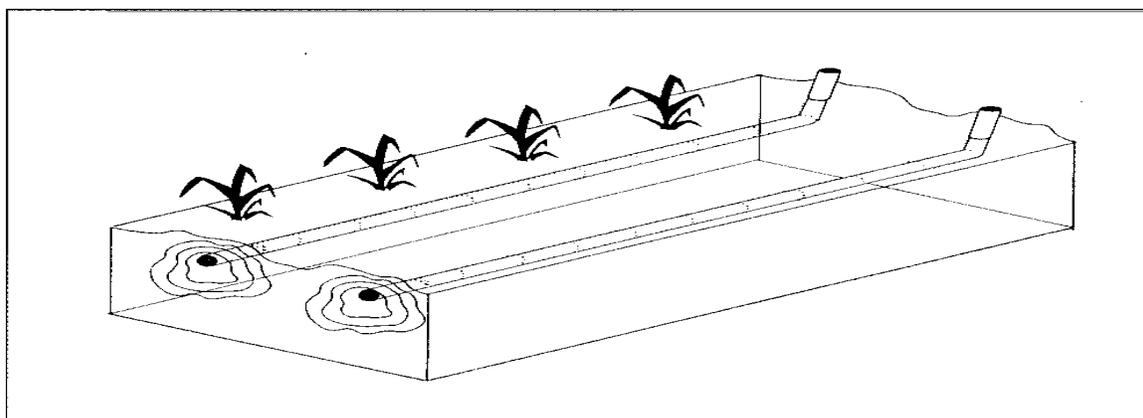


Figure 7 : Forme du mouillage d'un sol irrigué par des tuyaux souterrains d'argile poreux : les sections de tuyaux sont assemblées pour former des sources linéaires horizontales parallèles destinées à irriguer des cultures en lignes

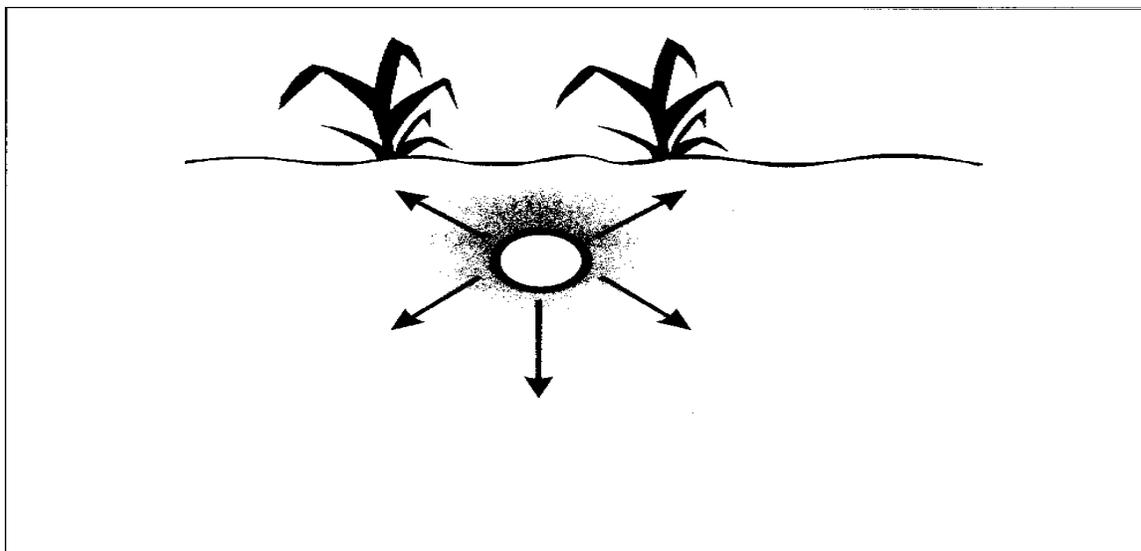


Figure 8 : Forme du mouillage d'un sol irrigué par un tuyaux poreux enfoui à l'horizontale entre deux rangs parallèles de cultures

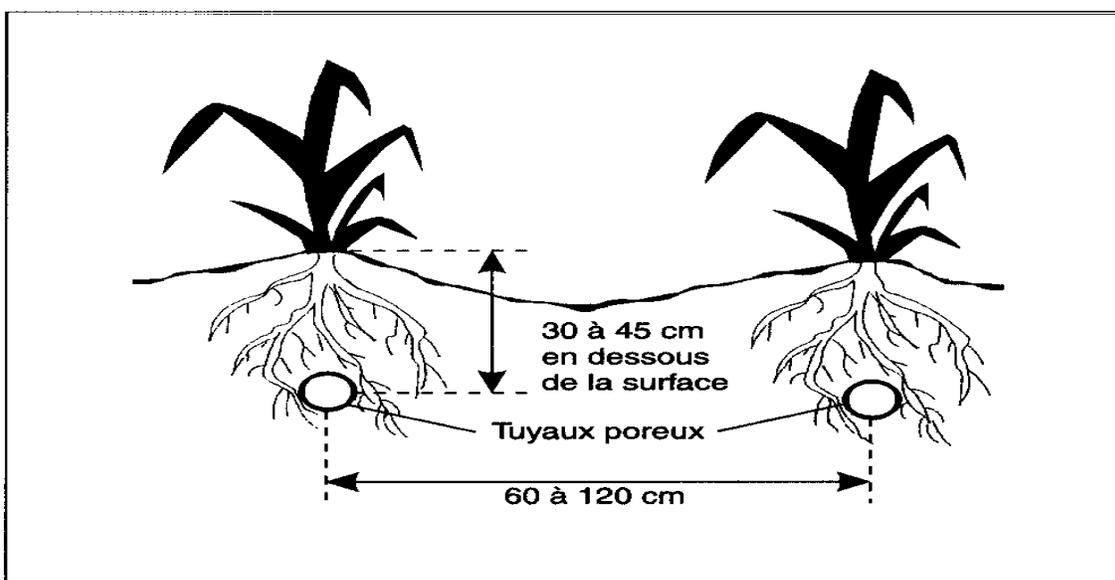


Figure 9 : Culture en ligne plantée juste au-dessus de tuyaux poreux horizontaux

L'expérience montre qu'une seule conduite, aménagée de cette façon, permet d'irriguer les deux rangées d'une culture maraîchère plantées de part et d'autre du tuyau. La quantité déversée est de 6 à 8 mm d'eau. Les cultures de gombo, poivron, tomate se sont bien développées avec cette méthode d'irrigation (Murata et al. , 1995).

5.1.4 Irrigation à l'aide d'un Goutte –à- Goutte souterrain

C'est une méthode d'irrigation sophistiquée mais coûteuse par rapport aux deux précédentes. Elle est basée sur l'utilisation de tubes de plastique étroits(environ 2cm de diamètre) qui enterrés dans le sol à une profondeur entre 20 et 50 cm, et ce afin de ne pas gêner les façons culturales normales ou la circulation des engins. Les tubes sont entièrement poreux ou munis de goûteurs ou des perforations régulièrement espacées. S'ils sont poreux, ils exsudent de l'eau sur toute leur longueur. S'ils sont pourvus de goûteurs, ils ne libèrent de l'eau qu'à des points déterminés, à partir desquels elle se répand ou se diffuse régulièrement dans le sol. La distribution du volume humecté dépend des propriétés du sol environnant, ainsi que de la longueur de l'intervalle entre deux goûteurs et de leurs débits (figure 10).

L'obstruction par les racines, les particules, les algues ou les sels en précipitation est l'un des problèmes rencontrés avec cette méthode. Les goûteurs peuvent être recouverts avec des fines sections de tubes de plastique de façon à empêcher leur obstruction par les racines, sans réduire de façon significative leur débit de sortie. La solution acide ou herbicide aide aussi à déboucher les trous mais le problème risque de se reproduire périodiquement.

Dans le goutte –à –goutte souterrain, la distribution d'eau dans les canalisations peut être continue ou intermittente. Pour garantir un écoulement uniforme, les tuyaux doivent être munis d'un dispositif quelconque pour contrôler la pression. L'expérience dans plusieurs pays, a montré que cette méthode peut être utilisée efficacement pour les cultures annuelles disposées en planches régulières ou pour arroser des verges d'arbres fruitiers et d'autres cultures pérennes en ligne.

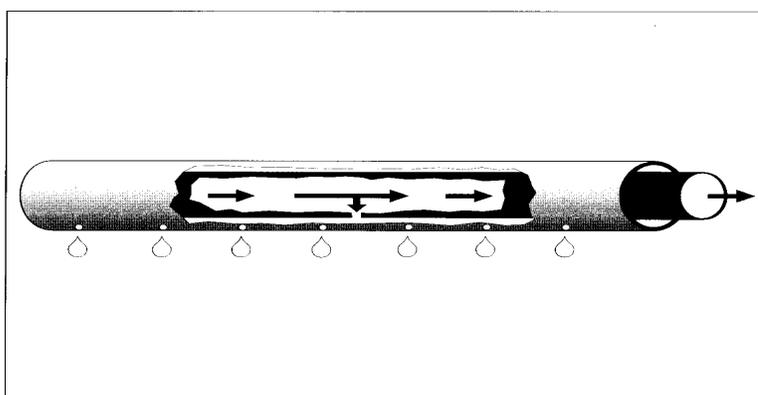


Figure 10 : Source linéaire d'irrigation au goutte à -goutte munie de perforations peu espacées:

5.1.5 Avantages et inconvénients associés aux méthodes souterraines

- ✚ Elles sont suffisamment souples et peu coûteuses,
- ✚ Elles sont faciles à installées et leurs équipements peuvent être fabriqués sur place ou dans les ateliers locaux,

En injectant des nutriments solubles (engrais) dans les conduites d'eau, ces méthodes renforceront à la fois l'efficacité de l'utilisation des engrais et de l'eau par une culture en ligne.

Si l'eau déversée contient des matières en particules (sédiments en suspension, de nature minérale ou organique) ou des produits chimiques précipitables (tels que des sels de calcium), ils peuvent finir par boucher les pores des réceptacles. Ceux-ci peuvent aussi être obstrués par des algues ou des bactéries. Pour remédier à ces problèmes, les réceptacles doivent être régulièrement nettoyés avec une solution acide ou fongicides et remplacés au bout d'un certain temps (quelques années).

Dans les zones arides, où la couche superficielle du sol n'est pas suffisamment lessivée par les pluies, l'irrigation souterraine peut provoquer une accumulation de sels à la surface, surtout si l'eau d'irrigation à une teneur élevée en sels. Lorsque cela se produit, il convient d'inonder le sol chaque saison avant la période des semis, pour lessiver la couche superficielle.

5.2 Méthodes d'irrigation superficielles

5.2.1 Description

Les méthodes décrites dans cette section sont basées sur l'arrosage continu ou régulier d'une fraction de la surface du sol. Pour ce faire, on distribue habituellement l'eau dans des conduites fermées (par exemple des tubes de plastique) en des points spécifiques, dont l'emplacement et l'espacement dépendent de la configuration de la plante cultivée. Au niveau de ces points, on laisse l'eau sortir à la surface, en veillant à ce que le débit ne soit pas supérieur à la capacité d'infiltration du sol, pour que toute l'eau pénètre dans la rhizosphère sans stagner ou s'écouler à la surface (Figure 11).

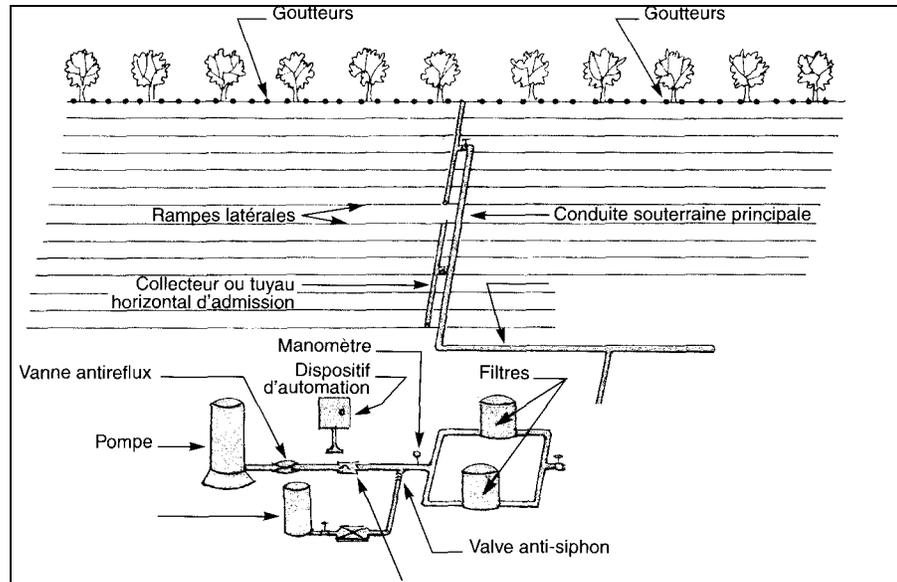


Figure 11 : Schéma d'un système classique d'irrigation au goutte-à-goutte

Ces systèmes d'irrigation dans lesquels l'eau est distribuée par des conduites fermées (tuyaux) permettent généralement d'économiser de l'eau car ils accroissent l'uniformité des applications et évitent les pertes en quantité (dus à la percolation et à l'évaporation) et en qualité (dus à la contamination de l'eau dans les canalisations à ciel ouvert). Mais comme ils nécessitent un dispositif de pressurisation et des installations coûteuses, cette économie génère souvent une augmentation de la consommation d'énergie et des investissements en capital. C'est pourquoi des méthodes minimisant ces dépenses de capital et d'énergie sont nécessaires. Parmi celles –ci on peut retenir les techniques décrites ci-dessous.

5.2.2 Le goutte - à- goutte simplifié

Étant donné que l'importance relative des coûts des facteurs de production est souvent inversée par rapport aux pays industrialisés, il est indispensable de simplifier le système complet de goutte –à –goutte pour l'adapter aux contextes socio-économiques du pays. La conception de ce système doit être revue de façon à faciliter leur installation et leur entretien, tout en conservant les principes de base, à savoir l'application fréquente d'un faible volume d'eau, et la maximisation de l'efficacité de l'irrigation (figures 12 et 13). Pour cela il faut retenir que :

Les goûteurs ne doivent pas nécessairement être des dispositifs de précision. Ils peuvent être improvisés en perçant soigneusement des trous à la main dans les canalisations latérales. On peut aussi couper des petits bouts de tuyaux (micro tubes) et les insérer dans les trous pratiqués dans les parois des

canalisations latérales. On ajustera ensuite la longueur des micro tubes pour obtenir le débit souhaité.

La pression hydraulique dans les conduites d'amenée ne doit pas nécessairement être créée par des pompes mécaniques. Il suffit d'installer le réservoir quelques mètres plus haut que la terre à arroser pour créer une pression de gravité suffisante pour irriguer au goutte -à- goutte une petite surface. On évitera ainsi de devoir placer des régulateurs de pression, surtout si le terrain est relativement plat et si les canalisations latérales ne sont pas trop longues ou trop étroites.

Le filtrage peut être assuré en interposant un simple récipient rempli de sable entre la source d'eau et les conduites d'irrigation. L'eau trouble qui arrive entrera au fond du récipient et se répandra vers le haut à travers les couches de sable, dont elle sortira filtrée, pour se déverser dans les conduites d'irrigation. Un filtre de ce type peut être fabriqué sur place, avec un récipient de métal ou de plastique de la taille que l'on jugera appropriée, compte tenu de la vitesse d'écoulement et de la turbidité de l'eau. Le sable utilisé à cette fin sera lavé au préalable pour retirer les particules plus fines et devra être nettoyé ou remplacé régulièrement à mesure qu'il s'encrassera.

La mesure du débit est fondamentale pour garantir une utilisation efficace de l'eau. Le débit doit être contrôlé en enregistrant la durée de chaque irrigation. Le volume de l'écoulement par unité de temps devrait être contrôlé et recontrôlé périodiquement de même que l'uniformité du débit des goûteurs dans chaque canalisation latérale et dans les conduites qui se trouvent dans le champ. Pour ce faire, on peut enregistrer le temps qu'il faut pour que l'eau qui s'écoule remplisse une cuve d'un volume donné. Le volume d'eau déversé au cours de chaque période d'irrigation doit correspondre aux besoins estimés de la culture, compte tenu de son stade de croissance et des conditions météorologiques (pluviométrie et évapotranspiration depuis l'irrigation précédente)

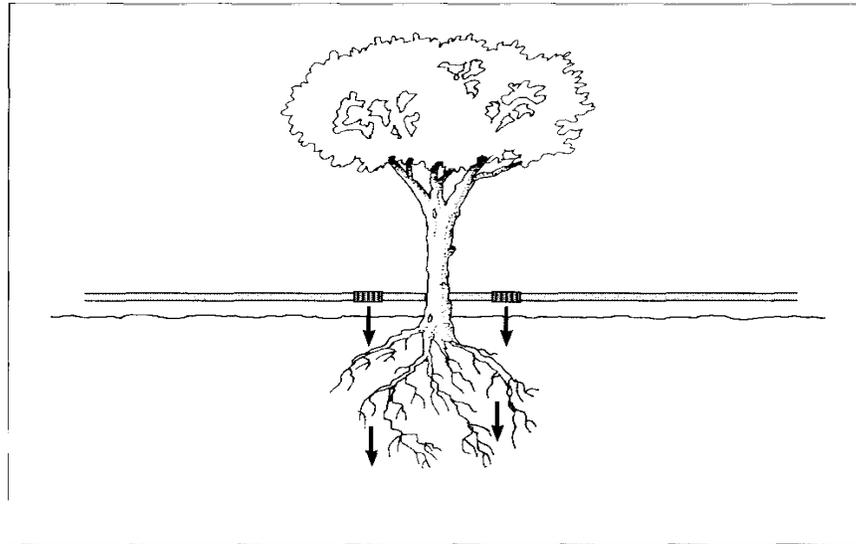


Figure 12 : Forme du mouillage du sol sous des gôteurs placés de part et d'autre d'un arbre

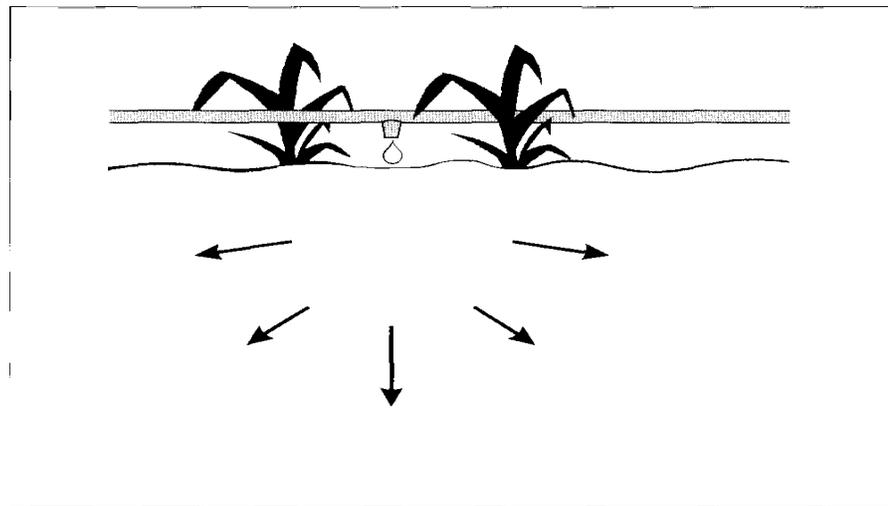


Figure 13 : Forme du mouillage du sol sous un gôteur placé entre deux rangs peu espacés

5.2.3 Barboteur de basse chute

C'est une méthode d'application fréquente d'un faible volume d'eau sur une surface partielle, dans laquelle l'eau est distribuée dans des conduites fermées. Elle est conçue spécifiquement pour réduire les besoins en investissement et la consommation d'énergie, grâce à l'utilisation de tuyaux à parois fines et peu coûteux, en plastique cannelé et d'un diamètre assez large pour que la pression limitée fournie par un réservoir de surface de basse chute soit suffisante. Cette méthode est une variante de l'irrigation au goutte –à –goutte visant à réduire la dépendance du système à l'égard d'éléments manufacturés (Figure 14).

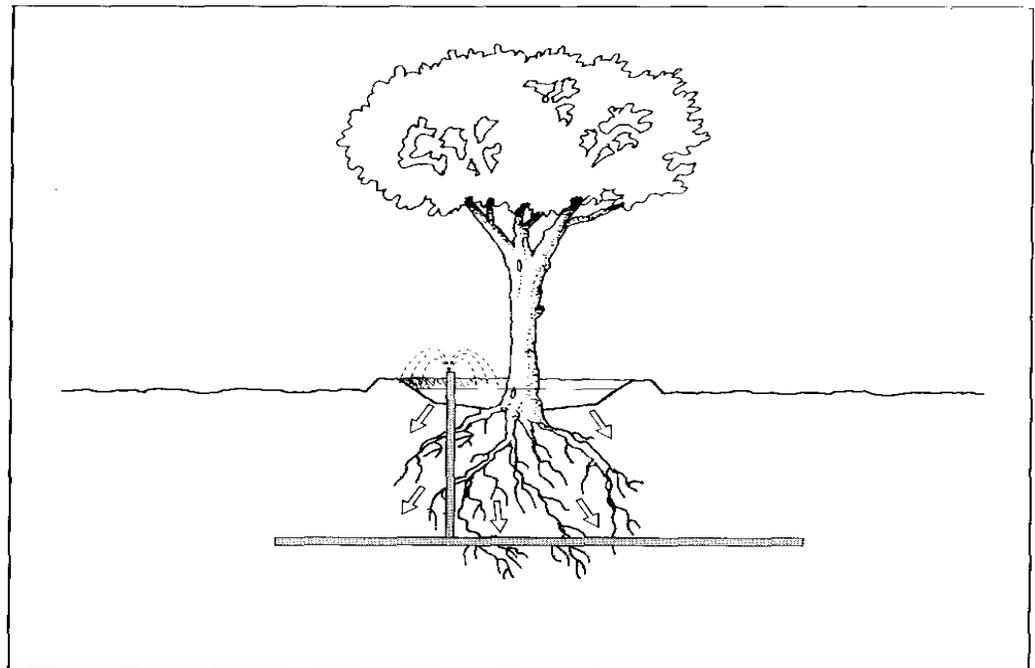


Figure 14 : Forme du mouillage du sol irrigué par barboteur, avec coude souterrain

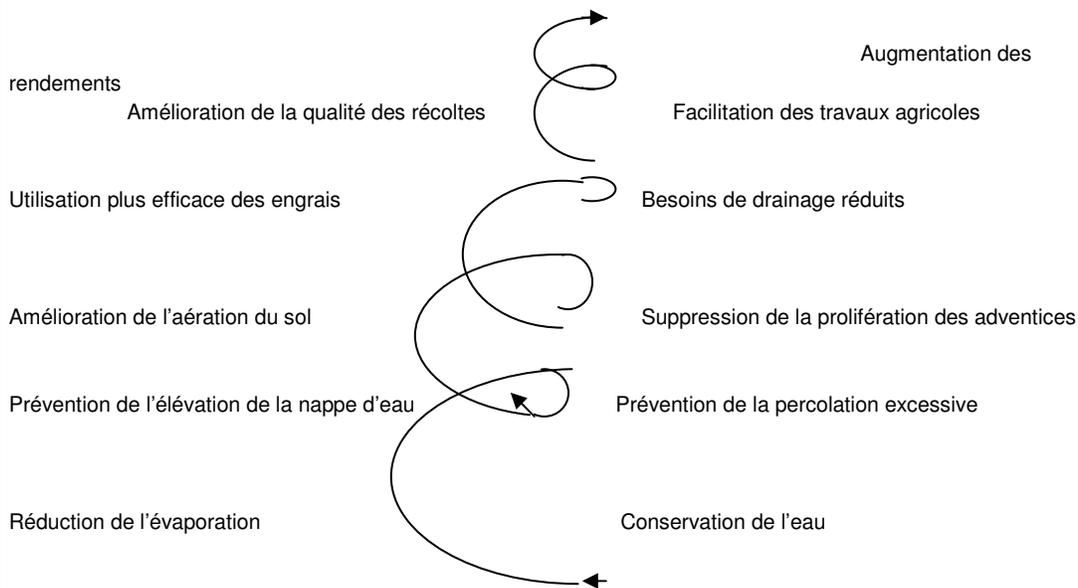
Dans l'irrigation par barboteur, les gouteurs manufacturés ne sont pas utilisés et l'eau sort librement « en gargouillant » de tuyaux verticaux ouverts. Cela permet d'éviter le filtrage qui est un gros problème dans l'irrigation de goutte –à goutte.

Ces systèmes sont particulièrement adaptés pour arroser des cultures très espacées comme les plantations d'arbres fruitiers ou d'arbustes, dans lesquelles un asperseur monté sur une hampe peut être installé le long de chaque arbre ou groupe d'arbustes. Ce système, dont la conception est simple et ne nécessite aucun élément manufacturé normalisé (tels que gicleurs, raccords, régulateurs

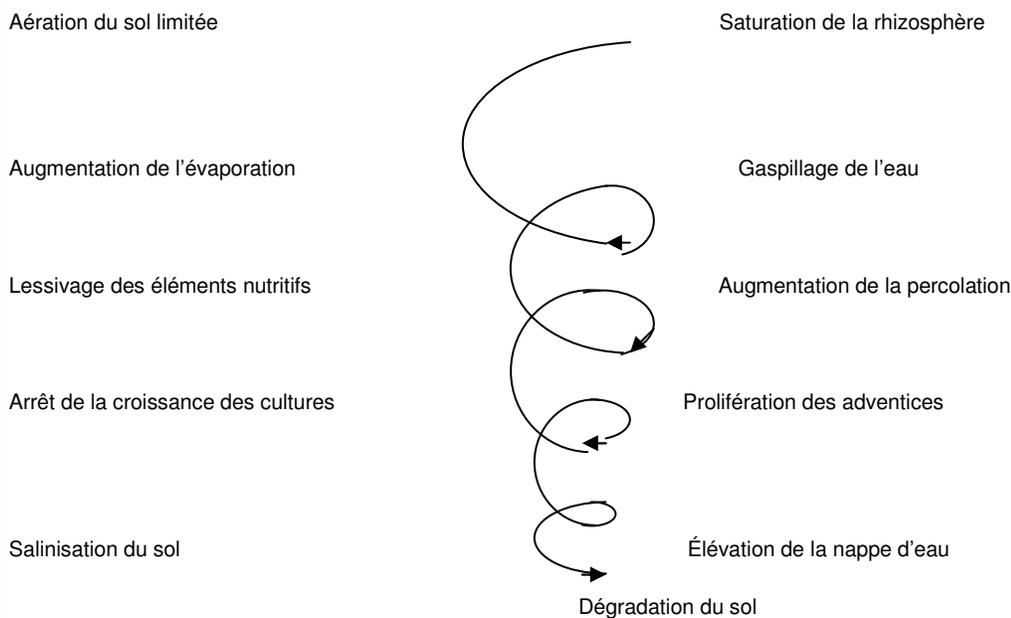
de pression et filtres), a l'avantage d'avoir un faible coût et une facilité d'installation et de fonctionnement.

Il peut être intéressant pour les cultures arborées, en particulier sur des terrains relativement plats où l'on pratiquait antérieurement l'agriculture pluviale ou des méthodes d'irrigation de surface traditionnelles.

6 SCHEMA DE COMPARAISON DE L'IRRIGATION HELPFUL ET EXCESSIVE



Conséquences humaines : Amélioration de la sécurité alimentaire, élévation des revenus, progrès économique et social (Spirale ascendante des effets de l'irrigation HELPFUL ; durable)



Conséquences humaines : insécurité alimentaire, pauvreté, famine et émigration (Spirale descendante des effets de l'irrigation excessive ; non durable)

7 GESTION DES PROBLÈMES ÉDAPHIQUES ASSOCIÉS AUX PRATIQUES D'IRRIGATION

Le développement de l'irrigation peut avoir des effets positifs et négatifs sur l'environnement. Le diagnostic environnemental des sites du PIP2 a montré que la salinité et l'alcalinité constituent, des problèmes écologiques majeurs associés aux pratiques actuelles d'irrigation.

Le problème de la salinité résulte de l'accumulation de sels solubles au niveau de la zone racinaire des plantes. Les effets de la salinité du sol sur la croissance végétale varient selon les cultures. La salinité de la solution du sol, qu'elle soit due au sel naturellement présent dans le sol ou au sel apporté par l'eau d'irrigation, retarde la croissance (i) en réduisant la quantité d'eau disponible pour la culture (osmose) et (ii) en augmentant la concentration de certains ions qui ont un effet de déséquilibre ou toxique sur le métabolisme végétal (effet ionique spécifique). La salinité d'un sol s'explique par la nature du sel existant. On appelle ainsi :

Sol salin - sol à teneur élevé en sel.

Sol sodique - sol à teneur élevé en ion sodium

Sol salin / sodique - sol à teneur élevé en sel et en ions sodium

Sol basique - pH élevé dont les problèmes commencent à partir de la valeur supérieure ou égale à 7,8 (alcalinité).

Les sols salins sont présents sur presque tous les sites du PIP2 mais à des degrés différents. Ces sels sont d'origines diverses parmi lesquelles on peut noter :

Sels provenant de la dégradation de la roche mère

Sels provenant de l'eau d'irrigation (remonté capillaire)

Sels fossilisés etc.

L'acidité d'un sol, déterminée par le pH et probablement de façon intrinsèque la caractéristique chimique la plus significative. En effet l'acidité du sol a un rôle très déterminant dans la disponibilité des nutriments. Dans un sol fortement acide, les éléments comme Ca, Mg, P, B et Mo deviennent déficients alors que Mn, Fe et Al atteignent des niveaux critiques et donc toxiques pour les plantes.

7.1 Diagnostics de la salinité et de l'alcalinité

Les symptômes et les causes de la salinité, de l'alcalinité, de la toxicité des ions spécifiques et de la sodicité sont ambigus. Chacune de ces conditions a un effet négatif propre à elle pour la croissance des plantes. Un diagnostic approprié constitue la clé d'une gestion effective de ces problèmes généralement liés à des pratiques d'irrigation inappropriées. Les diagnostics peuvent se faire directement sur le terrain (observation visuelle) ou au laboratoire (analyse).

- **Identification sur le terrain**

Un sol salin ou basique n'est pas trop différent d'un sol neutre. Autrement dit tous les deux, présentent une structure poudreuse à la surface et les réponses des plantes sur ces sols sont difficiles à différencier. D'une manière générale les symptômes de la basicité se résument à ceux de l'insuffisance en cuivre et en fer c'est à dire la couleur noir- verdâtre des tiges et des anciennes feuilles de la plante.

La richesse du sol en sel soluble ou en ions alcalisants tel que le sodium se répercute dans sa morphologie en surface et plus ou moins en profondeur. Il est fréquent que la surface de ces sols et celle de leurs agrégats dans les horizons superficiels soit plus ou moins couverte d'efflorescences salines, cristaux d'espèces minéralogiques solubles telles que bishofite, epsomite, Mirabilite, tachihydrite, natrite, thénardite, pypse. Elles sont dues au dépôt, après évaporation, des sels contenus dans la solution des sols et déposés à la surface à la suite d'une remontée capillaire. Si le sol est nu, l'accumulation se produit tout à fait en surface ou dans les quelques centimètres supérieurs. Si une végétation, par exemple de pelouse, s'est maintenue, elle est moins concentrée et se répartit dans les décimètres les plus superficiels, en fonction de l'effet du système racinaire de cette végétation. Ces efflorescences peuvent être de différents types :

Elles peuvent être d'un gris, plus ou moins clair ou foncé, ou blanches : Salant blanc. Ce sont alors essentiellement des chlorures et sulfates de sodium et magnésium, plus ou moins mêlés de sels de calcium.

Elles peuvent être noires ou brunes : Salant noir. Les bicarbonates et carbonates de sodium dominant, formant une croûte saline superficielle, le plus souvent lorsque la teneur du milieu en matière organique est suffisante – recouverte d'une pellicule brune ou noire de produits humiques.

En d'autres points, en sols riches en éléments calciques et magnésiens, l'accumulation porte en particulier sur des sels hygroscopiques, chlorures de calcium et de magnésium ou sel mixtes, tels que tachyhydrite ou bischofite. Des

efflorescences ne s'y forment pas, mais des taches sombres apparaissent dues à la forte rétention d'eau que ces espèces provoquent à la surface du sol.

Quelques caractères d'identification d'un sol alcalin, salin ou sodique sont résumés au le tableau 3.

Tableau 3: Caractères d'identification d'un sol alcalin, salin ou sodique

Problèmes	Symptômes potentiels
Alcalinité	Manifestation des déficiences en nutriments : Plantes rabougries, feuillage à couleur orangée, noir – verdâtre..
Sol salin	Croûtes blanchâtres à la surface, Plantes montrant le stress en eau et quelque brûlure au sommet des feuilles. Une mauvaise germination des jeunes plantes.
L'eau d'irrigation saline	Feuilles brûlées, croissance ralenties, stress en humidité
Sol sodique	Mauvais drainage, résidus noir en poudre à la surface.
Sol salin - sodique	Généralement ils ont les mêmes symptômes que les sols salins

Source: BMP; Colorado Agriculture Bulletin 1994

- **Identification au laboratoire**

Après avoir tester le pH et le EC, il convient de calculer le SAR afin de déduire la nature saline ou alcaline des échantillons de sols collectés. Le tableau 4 évalue les caractéristiques des différents types de sols au laboratoire.

Tableau 4: Classification des sols salins

Classification	Conductivité électrique EC (dS/m)	pH	Sodium absorption ratio (SAR)	Condition physique du sol
Sol salin	> 4.0	< 8,5	<13	normal
Sol sodique	< 4.0	> 8,5	≥13	pauvre
Sol salin - sodique	> 4.0	< 8,5	≥13	normal
Sol alcalin	< 4.0	> 7,8	<13	variés

Source: BMP; Colorado Agriculture Bulletin 1994

$$SAR = Na / ((Ca+Mg)/2)^{1/2}$$

Na, Ca, Mg en meq / l

7.2 Gestion de la salinité

Lorsque les problèmes de la salinité et de l'alcalinité sont déterminés avec précision, Il existe plusieurs options pour leurs gestions. Par ses interventions et, principalement, par l'irrigation l'homme peut modifier profondément les évolutions saisonnières du phénomène de la salinité par La surveillance de la salure de sol et le traitement des sols salins.

7.2.1 La surveillance de la salure de sol

L'apparition et l'extension des caractères morphologiques (efflorescences salines) signalés précédemment comme caractéristiques des sols salés, et en particulier de ceux de surface, tels qu'efflorescences et types de structure, peuvent permettre de juger du développement des processus de salure des sols en un secteur déterminé. Cependant ces caractères sont eux – même très variables et peuvent disparaître ou apparaître ou se modifier au cours de l'année ou d'année en année. Certaines de ces transformations sont d'ailleurs significatives. C'est ainsi que la surveillance s'articule autour des :

❖ variations saisonnières de la salinité

L'une des expressions directes et caractéristiques de la salure est l'apparition des efflorescences à la surface du sol. Elles ne sont visibles que si le type de profil salin du sol correspond à cette accumulation superficielle et en période suffisamment sèche. On distingue généralement deux types de profils salins (répartition des taux de salure dans les divers horizons du sol en fonction de la profondeur) : le profil ascendant dans lequel le maximum de salinité est en surface, normalement couverte d'efflorescences, et le profil descendant, où il se trouve en profondeur, l'horizon de surface n'étant habituellement pas assez salé dans ce cas pour qu'y apparaissent les efflorescences salines. Si dans certains cas le profil salin n'est pas sensiblement modifié entre les deux périodes sèches et humides de l'année, il n'empêche que très souvent il en est autrement. Par exemple, le profil ascendant peut perdre en saison de pluies son maximum superficiel, qui peut s'établir, alors, à une moyenne profondeur. Le même sol peut ainsi présenter une succession de plusieurs types de profils salins au cours de l'année. Sur ce plan, l'observation des efflorescences et de la salure du sol est à faire principalement en pleine saison sèche et en second à la fin de la saison de pluies. Cette surveillance concerne :

- i. **Structure** - La structure des sols salés varie également de saison en saison. Dans le cas de sols salés peu alcalisés, elle est bien développée en saison sèche, mais instable, elle disparaît en saison de pluies, la surface paraissant massive. En sol alcalisé dès la surface elle est massive et diffuse en saison sèche ; elle le reste en saison de pluies et la percolation de l'eau est lente. En sols très salés à alcalin, l'horizon superficiel perd toute structure en période humide, puis, lorsque se développe la saison sèche, une structure lamellaire très massive apparaît qui présente, peu à peu, un système de fentes en polygonaux hexagonales, puis se résout en une multitude de petits éclats qui constituent le pseudo sable. C'est donc au moins deux ou trois fois dans l'année que la structure doit être observée.
- ii. **Couverture végétale** - Dans certains sols salés, la couverture végétale, est abondante et variée (sols peu salés ou à profil descendant) ou très réduite et très spécifique (sols très salés) et reste assez constante au cours de l'année. Dans les cas intermédiaires elle varie, au contraire, en fonction des variations même de salure et de structure, tout un cortège de plantes annuelles peu spécialisées pouvant apparaître. L'observation doit alors être faite deux fois dans l'année : en pleine saison sèche et dans la seconde moitié ou avant la fin de la saison de pluies.

❖ L'extension de la salinité

Au cours du temps la salinité peut être suivie à condition de réaliser les observations sur les secteurs concernés à la même période écologique - ou climatique - chaque année ou tous les deux ou trois ans. Cette extension peut être due aux remontées de la nappe phréatique, soit à la suite d'irrigations, soit lors d'une année très humide. Aussi doit-on réaliser les observations de façon plus régulière, et même deux fois par an, lors du développement d'un système d'irrigation ou à la fin et après les années très humides. L'accroissement de la salure du sol dans un secteur déterminé peut être due à l'irrigation si l'eau que l'on utilise est salée. Il n'est que limité si le drainage est assuré, si l'irrigation est rationnellement menée et si le SAR de l'eau employée est assez bas (CRUESI).

Si l'irrigation provoque la remontée de la nappe là où elle est réalisée, elle produira aussi un accroissement de la salure du sol et une extension des terres affectées par ce processus. Aussi la surveillance des nappes phréatiques est-elle l'un des moyens les plus sûrs pour réaliser celle du développement de la salure du sol.

Dans le cas des sols peu salés à alcali, ainsi que des solonetz, sols solodisés, etc..., l'extension du phénomène paraît peu probable, ou au moins, très difficile à suivre. L'observation paraît très délicate et peu efficace. Par contre, il peut être indispensable de surveiller le développement d'une des conséquences des caractères morphologiques de ces sols, l'érosion par les pluies. Cette érosion est de deux types:

- En sols peu salés à alcali en surface, elle est en nappe et surtout en nappe ravinante.
- En solonetz et sols solodisés, elle prend un aspect beaucoup plus catastrophique, avec enlèvement très étendu - souvent aussi sous l'effet de l'érosion éolienne - des horizons A puis érosion ravinante très rapide en B.

Sur le plan de l'érosion des sols salés, il serait utile de surveiller l'érosion éolienne des sols à pseudo sable. Cela paraît difficile à réaliser du fait que ce dernier, s'il est enlevé, tendra à se reformer.

Il est à remarquer que d'une manière générale, pour une bonne surveillance de la salure des sols, il semble que l'on puisse d'abord séparer le cas des zones non irriguées de celui des secteurs d'irrigation ou des zones en aval de ces secteurs.

□ Zone non irriguée

En zone non irriguée - sans nappe phréatique ou à nappe très profonde - l'extension du phénomène de salure des sols est difficile à prévoir et à surveiller. Aucune mesure pratique particulière ne paraît envisageable. Si dans cette zone, il existe une nappe phréatique, même faiblement salée, il est indispensable de suivre ses mouvements, si c'est réalisable, par l'installation de quelques piézomètres pour la petite irrigation.

□ Secteur irrigué

En secteur irrigué et dans les zones situées à leur aval, la surveillance des mouvements de la nappe phréatique, si elle existe, ou de sa non formation, si elle n'existe pas encore, doit se faire par utilisation de moyens de détection aérienne, le cas échéant, ou par installation de piézomètres. La mise en place de ces instruments d'observation doit être réalisée en fonction du mode d'alimentation de la nappe (irrigations, inondations, et cours d'eau souterrains, etc.). Leur nombre dépend de chaque cas et il faut souvent atteindre 1 par 1 000 hectares. Leur mesure ou lecture doit être faite au moins deux à quatre fois par an.

□ Zone avec des dangers de salure

Enfin en toute zone présentant des dangers de salure ou déjà atteinte par les sels, l'observation, par détection aérienne, de l'aspect de la surface du sol (couverture végétale, structure, efflorescences, érosion) doit être réalisée au moins une fois par an - si possible - en fin de saison sèche et, mieux, deux fois dans une même année en fin de saison sèche et en pleine période humide. Cette surveillance est particulièrement nécessaire en bordure des zones déjà salées, principalement à leur aval, ou dans les secteurs qui en sont sous le vent.

7.2.2 Mesures et traitements des sols salins

La salinité de sol est l'expression d'une large quantité de sels solubles qui gêne la bonne germination et la croissance des plantes. Les sels sont des substances blanches, chimiquement neutres parmi lesquels on a : les chlorides, les sulfates, les carbonates et quelques fois les nitrates de calcium, de magnésium, de sodium et potassium. La salinité est mesurée en passant un courant électrique dans un extrait d'échantillon saturé. L'habilité de cet extrait de faire passer l'électricité est appelée Conductivité électrique (EC). EC a comme unité le deciSiemens par mètre (dS/m) qui est l'équivalent numérique de l'ancienne unité (millimhos par centimètre).

En règle générale on retient que «moins la concentration de sels solubles dans le sol, moins est l'EC et moins son effet sur la croissance des plantes». C'est ainsi que :

Quand l'EC est entre 0 et 2, l'effet de la salinité n'est pas significatif sur presque toutes les plantes. Généralement l'effet de la salinité commence pour certaines plantes lorsque l'EC est entre 2 et 4. Et la plupart des plantes sont affectées par une EC entre 4 et 5 dS/m. Quand l'EC est supérieure à 8, toutes les plantes sont affectées.

L'édification d'un drainage adéquat est généralement la réponse préventive et curative au problème de la salinité mais vu la complexité de ce problème, une gestion propre doit être toujours accompagnée d'une surveillance et d'une analyse du sol affecté. Le problème de la salinité ne peut pas être amendé par conditionnement ou par fertilisation. La réclamation du site peut se faire soit par le retrait des sels de la zone racinaire, soit par la culture sélective des plantes tolérantes à la salinité. La réclamation ou le traitement de la salinité sur les sites d'exploitation du PIP2 peut se faire à travers les méthodes décrites ci-dessous.

- **Le lessivage** : Technique qui permet le retrait des sels en dessous des zones racinaires par l'application d'une quantité d'eau dépassant celle du besoin de culture.

D'une manière générale, l'inefficacité des infrastructures d'irrigation, caractéristiques des sites du PIP2, est généralement adéquate pour satisfaire les exigences en eau du lessivage. L'apparition de certaines poches de salinité sur les sites du PIP2 est le résultat non seulement de la non uniformité de l'eau irriguée mais aussi de la non maîtrise des techniques de nivellement.

Un lessivage adéquat doit se faire :

- ✓ en apportant une quantité d'eau nettement supérieure à celle exigée par les plantes cultivées,
- ✓ sur un site bien nivelé,
- ✓ Juste avant de semer ou de repiquer les plantes ou juste après la récolte, car la plupart des plantes sont plus sensibles pendant la phase de la germination ou de l'établissement des jeunes plantes,
- ✓ Étant donné que la salinité de l'eau utilisée en irrigation au Niger varie selon les saisons, le lessivage doit se faire pendant la période de la basse salinité de l'eau.

Bref, avant toute intervention du lessivage, la spécificité de chaque site du PIP2, recommande un bon examen des conditions édaphiques du site, de la hauteur de la nappe phréatique, du drainage et le système d'irrigation en place

- **Le drainage** : Technique permettant l'évacuation de l'eau en excès. Le drainage combiné au lessivage donne un résultat satisfaisant sur les sites où les conditions d'humidité le permettent.

Plus adapté dans des endroits à nappe phréatique superficielle et où le lessivage est limité. Entre autres techniques du drainage adaptées aux sites du PIP2, nous pouvons retenir celle du drainage des terres par fossés qui consiste à ouvrir sur les parcelles à assainir des fossés collecteurs qui acheminent l'eau et les sels dissous vers un émissaire.

Deux sortes de réseaux composent le drainage des terres par fossés:

- ⇒ Réseau régulier : la zone à drainer est couverte d'un canevas de fossés, régulièrement écartés et orientés,
- ⇒ Réseau irrégulier : les fossés ne sont placés que dans des endroits où l'eau a naturellement tendance à venir se rassembler. Leur tracé est d'allure irrégulière.

Généralement, il apparaît que dans des endroits où le drainage est adéquat, le fonctionnement du lessivage est aussi adéquat. Le tableau 5 donne une estimation de l'eau nécessaire pour un lessivage dépendamment de la qualité de l'eau, de la texture du sol et du drainage en place.

Tableau 5: Estimation de l'eau nécessaire en lessivage

Réduction de la concentration du sel (%)	Quantité d'eau nécessaire en cm / mm
50%	15,24cm = 152,4 mm
80%	30,48cm = 304,8 mm
90%	60,96cm = 609,6 mm

Source: BMP; Colorado Agriculture Bulletin 1994

Exemple : Si la EC est de 8 dS/m et on veut la réduire à 4 dS/m. Cela représente 50% de réduction de la concentration du sel, alors 15,24 cm ou 152,4 mm d'eau est nécessaire.

- **La gestion d'accumulation :** Elle consiste à évacuer le sel hors de la zone racinaire, où il est supposé être non nocif.

L'objectif visé est d'assurer que les zones de forte accumulation de sels demeurent hors des zones de germination et racinaires des plantes. D'une manière générale, l'uniformité en irrigation s'avère capitale pour l'efficacité de cette méthode qui sollicite au fur et à mesure un lessivage.

- **La sélection des plantes tolérantes à la salinité**

Une salinité excessive conduit toujours à la baisse de la production. Cette baisse est proportionnelle aux types des plantes et à la sévérité de la salinité. En effet, la réduction de la salinité n'est pas toujours aisée d'où le recours à une catégorie des plantes reconnue comme tolérantes à la salinité à l'image de la tabac, patate douce, concombre etc. Néanmoins cette tolérance dépend largement des conditions climatiques du milieu et de la variété des plantes. Elle augmente lorsque la plante s'accroît.

- **Autres techniques de la gestion de la salinité**

- ❑ *Gestion des résidus*

Le mulching ou les résidus de la récolte bien gérés à la surface des sols est un moyen efficace pour la réduction de l'évaporation et par conséquent de la

réduction de la remontée capillaire de la salure vers la zone racinaire. Une couverture de 30 à 50% de sol s'avère efficace à cet effet.

□ *La pré – irrigation*

Comme mentionner tantôt, les plantes sont plus sensibles au phénomène de la salinité au stade de la germination et de l'émergence, par conséquent, tout apport de l'eau avant la semence ou le repiquage (pré- irrigation ou lessivage) offre un moyen de lutte contre les effets nocifs de la salinité. Pour que la pré- irrigation soit efficace le sel doit être lessivé au-delà de 15 à 30 cm de la zone racinaire.

□ *La gestion de la fréquence d'irrigation*

Les sels sont efficacement lessivés du profil de sol sous une fréquence élevée d'irrigation (intervalle réduit d'irrigation). La gestion de l'humidité significative entre les intervalles d'irrigation permet aussi la dissolution effective de sels et son lessivage de la zone racinaire.

□ *les systèmes d'irrigation HELPFUL(micro irrigations)*

Les différents systèmes d'irrigation décrits dans ce manuel, offrent les meilleurs moyens de prévenir et de lutter contre l'apparition significative et l'extension de la salinité.

En résumé l'apparition et l'extension de la salinité sur les sites des zones arides et semi- arides (à l'image des sites du PIP2) est un phénomène inévitable. La sévérité et la rapidité avec lesquelles la salinité, va se développer, dépend largement de la quantité de sels dissous dans l'eau d'irrigation et le climat local. En effet, une gestion adéquate de l'humidité des sols, de l'uniformité et l'efficience du système d'irrigation et du drainage en place accompagnée d'une bonne sélection des plantes offrent une meilleure gestion de la salinité et la pérennisation des zones d'exploitation des sites du PIP2. En outre lorsqu'on a à faire à une salinité sodique, les solutions suivantes peuvent être envisagées. Il s'agit de la sélection d'espèces ou des variétés plus tolérantes à la salinité ou le changement de sol.

7.3 Gestion de l'acidité des sols

L'acidité du sol est grandement due à la présence d'acides humiques qui libèrent dans la solution du sol des ions H^+ . Mais pour les sols tropicaux fortement lessivés tel que les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols ferralitiques, ce sont les ions Al^{3+} qui déterminent l'acidité des sols. Dans ces conditions, le pH qui est une transformation logarithmique de la concentration des ions H^+ n'est pas une mesure pratique de l'acidité. La mesure des niveaux d'aluminium échangeable dans le sol ou le taux de saturation de l'aluminium qui est le rapport entre la teneur de l'aluminium échangeable y compris les ions H^+ sur la somme des bases serait un meilleur indicateur.

7.3.1 Facteurs affectant le pH

Plusieurs facteurs naturels ou anthropiques déterminent le niveau du pH dans les sols. On peut citer entre autres (1) la nature des engrais apportés au sol, (2) la qualité et la quantité de matière organique dans le sol d'une part et la décomposition de cette matière organique d'autre part, (3) la consommation par les cultures des bases échangeables du sol et le lessivage de celles-ci, et (4) dans certains cas des pluies acides peuvent être responsables de l'acidité.

7.3.2 Influence de l'acidité des sols sur les plantes

Les plantes diffèrent pour leur tolérance de l'acidité. En général le pH optimum pour la production des plantes est de l'ordre de 6.5 à 7. Il faut cependant noter que le pH n'a aucun effet direct sur les performances des plantes excepté les cas des valeurs de pH en dessous de 4,2 où la concentration des ions H^+ peut contre-carrer la consommation des cations par les plantes. La toxicité de l'aluminium est le facteur le plus limitant de la croissance des plantes sur les sols acides. En effet, il y a une forte corrélation entre la croissance des plantes sur sols acides avec le taux de saturation de l'aluminium ou avec la concentration des ions d'aluminium. Il faut cependant souligner que la nature des ions aluminiques joue un rôle important dans la toxicité de l'aluminium. En effet il est admis que c'est l'activité des Al^{3+} et encore plus celle des hydroxydes monomériques d'aluminium $Al(OH)^{2+}$ $Al(OH)^{2+}$ qui sont responsables de la baisse de croissance des plantes. Le système racinaire des plantes est fortement et de façon négative affectée par la toxicité de l'aluminium. Leur croissance est fortement inhibée et les racines elles-mêmes écorchées sont typiquement rabougries, marquées par une réduction de la taille de l'axe central et une inhibition de la formation des racines latérales et donc de racines fines (Foy, 1988). Les conséquences d'un système racinaire défectueux

sont que les plantes ne peuvent que souffrir de stress hydrique et de déficience en nutriments en particulier les bases. En sus de l'altération physique des racines par les ions Al qui limite les performances des cultures, il faut indiquer que ceux-ci dépriment aussi la productivité des plantes en régulant les équilibres ioniques. En effet les ions d'aluminium s'accumulant autour des racines existantes empêchent le prélèvement des bases (ions calciques ou phosphoriques) ainsi que leur translocation de celles-ci dans les autres parties supérieures de la plante. Les sols souffrants de toxicité d'aluminium sont très souvent marqués par des déficiences en phosphore. Selon Haynes and Mokolobate, 2001, le mécanisme d'interaction entre Al/P semble être des réactions de précipitations et d'adsorption entre les ions Al et P. Le phosphore (P) peut-être adsorbé par des hydroxydes déjà précipités ou précipités sous forme de phosphates d'aluminium insolubles et le résultat net et pratique sera l'occurrence de problèmes de nutrition phosphatée.

7.3.3 Contrôle de l'acidité des sols

Il existe plusieurs techniques de contrôle de l'acidité des sols. Il s'agit entre autres : des mesures agronomiques, du chaulage et de la gestion de la matière organique. Pour permettre de comprendre comment les amendements calcaires et organiques peuvent contribuer à la hausse du pH du sol et à la réduction de la toxicité des ions Al, il est essentiel de se rappeler les principes de la solubilité de l'aluminium. L'aluminium existe dans le sol sous diverses formes minérales (sulphate ou phosphate d'aluminium, des silicates d'alumines...). Dans les sols acides, le taux de saturation en Al est élevé i.e qu'une grande partie de la capacité d'échange cationique est due aux ions Al qui comprennent des Al^{3+} , $Al(OH)z^{+}$, $Al(OH)_2^{+}$. Comme la solubilité de l'aluminium est dépendante du pH, lorsqu'on fait des amendements calcaires ou organiques, l'aluminium échangeable et soluble précipite sous forme d'hydroxydes d'aluminium. Les ions monomériques $Al(OH)_2^{+}$, $Al(OH)_2^{2+}$ se polymérisent pour former des complexes positivement chargés qui se fixent à l'argile ou à la matière organique du sol.

- **Le chaulage /Amendements calcaires**

- a. Taux d'application des calcaires**

Pour les sols tropicaux, le but essentiel du chaulage est de neutraliser la toxicité de l'aluminium ou du manganèse. Ces objectifs peuvent être atteints en relevant le pH du sol à 5.5 pour toxicité de l'aluminium et à 6.0 pour la toxicité liée au manganèse. Sanchez (1976) a montré que le taux de chaulage pour atteindre les objectifs ci-dessus peut être calculé sur la base

de 1.65 tons/ha de l'équivalent CaCO_3 par milliéquivalent d'aluminium échangeable. Cette quantité est obtenue de la formule ci-dessous :

$$\text{BC} : 1.5 \text{ Ech. Al}$$

Où BC est le besoin en chaux du sol, Ech Al est la teneur en Al échangeable. De tels taux d'application permettent d'éliminer complètement la présence d'aluminium échangeable du sol.

Il faut cependant indiquer qu'il y a une diversité des plantes quant à leur tolérance à la toxicité de l'aluminium. Par exemple les niveaux de tolérance des cultures comme le coton ou le sorgho se situent entre 10 et 20% de taux de saturation alors que celui du maïs se situe entre 40% à 60%. Ce qui veut dire que pour les plantes comme le coton ou le sorgho, il faut faire le chaulage jusqu'à des niveaux nuls du taux de saturation d'Al alors que pour des cultures comme le maïs, un chaulage jusqu'à des niveaux à 20% de taux de saturation est adéquat. Des cultures comme le riz, ont rarement besoin de chaulage. Kamprath, 1970 propose que pour tenir compte de la tolérance de cultures à la toxicité en Al, que les besoins en chaux soit calculés en multipliant le taux d'aluminium échangeable par 1 pour les plantes tolérant moyennement la toxicité par 2 pour les cultures très sensibles. Lorsque des données sont disponibles Cochrane et al. (1980) propose la formule suivante pour le calcul des besoins en chaux :

$$\text{BC (tonne de CaCO}_3 \text{ t/ha)} = 1.8 \{ \text{Ech. Al} - \text{RAS} [\text{Ech. (Al+Ca+Mg)}] \} / 100$$

RAS est le niveau critique en % de saturation en Al requis pour la plante.

On peut également appliquer la chaux avec les engrais pour prévenir l'acidification des sols dus à ceux-ci. Les services de vulgarisation américains en utilisant les principes d'écrits par Pierre (1933) ont calculé pour chaque type d'engrais la quantité de chaux à appliquer pour éviter l'acidification (voir Tableau 6).

Tableau 6: Quantité de calcium requis pour neutraliser l'acidité des engrais

Type d'engrais	Quantité de calcium requise		
	Teneur en N (%)	Par kg N	Par 100 kg d'engrais
Engrais Azoté Sulfate d'ammonium	20,5	5,35	110
Urée	46,6	1,87	84
Nitrite ammonium de calcium	20,5	0	0
Anhydrous ammonia	82,2	1,8	148
Phosphate d'ammonium A	11	5,00	55
Di-ammonium phosphate	18	-	-

Il faut cependant noter que:

- Appliquer de la chaux sur des sols lessivés à des taux au-delà des besoins de neutralisation des ions Al i.e jusqu'à des niveaux de pH autour de 5.5 à 6 n'est non seulement pas économique mais peut dans certains cas être dommageable à la production agricole. Les conséquences peuvent être la destruction du sol provoquée par l'excès de calcium, et l'augmentation de la non disponibilité des nutriments comme P, Zn, Bn, Mn.
- Application du calcium en vu d'augmenter le pH et de réduire la toxicité en aluminium et manganèse permet d'augmenter la disponibilité en phosphore et du Mo. Le chaulage aussi augmente les processus biologiques tels que la nitrification et la fixation symbiotique de l'azote. Parce que l'application de la chaux augmente l'activité biologique et la croissance des plantes, elle influe indirectement sur les propriétés physiques des sols.

b. Sources d'amendements calcaires et méthodes d'applications

La source d'amendements calcaire la plus communément utilisée est du carbonate de calcium si bien que l'efficacité des autres sources de calcium

est déterminée en fonction de celui-ci. (l'équivalent en carbonate de calcium de 100g de la source est utilisé[ECC]). Les autres sources sont :

- Les oxydes de calcium (CaO) sont aussi utilisés comme source de calcium quand un besoin rapide de relever le niveau du pH est requis. Cette source est obtenue en calcinant les carbonates de calcium et a un ECC de 179%.
- Les hydroxydes de calcium ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$) sont plus faciles à utiliser que les oxydes de calcium et a un ECC de 135%.
- La dolomite qui est du carbonate de magnésium et de calcium [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. Son ECC est de 109% et son avantage réside dans la présence du Mg qui est un élément très important dans la nutrition des plantes.

La chaux est généralement incorporée à 15 cm de profondeur quelques jours avant les semis. Lorsque la structure du sol et les équipements le permettent, il est plus intéressant de placer les amendements calcaires en profondeurs (20 à 30 cm).

- **Apports de matières organiques**

L'application de la fumure organique, des résidus de récoltes ou de l'engrais vert peut permettre de réduire la concentration des ions Al ou la concentration des ions monomériques dans la solution et donc réduire la toxicité de l'aluminium. Dans beaucoup de cas l'augmentation du pH suivant l'application des ressources organiques est le facteur qui contribue le plus à la réduction des ions monomériques d'aluminium (Haynes et Mokolobate, 2001). Il faut indiquer que l'augmentation du pH suite à l'apport de la matière organique n'est que temporaire et de courte durée (quelques semaines ou mois) mais à une grande importance pour permettre un bon établissement des cultures en début de campagne. De plus pendant la décomposition des débris organiques divers composés organiques sont libérés et/ou synthétisés. L'aluminium peut se lier à ces différents composés par des mécanismes de chélation, de complexion, d'adsorption et de co-précipitation et perdre leur pouvoir de toxicité. Bien que les différents composés organiques puissent se lier à l'aluminium, il faut souligner que les composés humiques sont reconnus comme étant les plus efficaces dans la détoxification de l'aluminium du sol. De ce fait, l'apport répétitif et à long-terme de matières organiques conduit à la formation et à l'accumulation de composés humiques et donc est une méthode éprouvée de contrôle de toxicité aluminique. Il existe aussi dans le commerce des acides humiques dont l'utilisation permet de lutter contre la toxicité aluminique.

- **Méthodes agronomiques**

Elles consistent essentiellement à sélectionner les plantes à produire en tenant compte de leur tolérance à l'acidité. Il faut cependant indiquer que la tolérance des plantes à l'acidité varie grandement au sein d'une espèce en fonction de la variété. Le tableau 7 donne une idée de la tolérance des principales cultures sélectionnées.

Tableau 7: Valeurs indicatives des niveaux critiques de Al pour quelques cultures

Cultures	NIVEAU CRITIQUE DE TOLÉRANCE EN AL (TAUX DE SATURATION)
Maïs	30
Sorgho	15
Coton	0
Riz	40
Arachide	40
Niébé	60
Manioc	75

8 CONCLUSION

Il n'y a pas de recette universelle pour garantir la sécurité alimentaire, ni pour y développer l'irrigation. Le polymorphisme du pays ne permet pas l'application d'une seule approche. De multiples options sont possibles et les plus appropriées dépendent des conditions agronomiques, économiques et sociales spécifiques locales. Globalement, les systèmes qui transportent l'eau dans les conduites fermées pour arroser des cultures à rendement potentiel élevé, sont ceux qui offrent les meilleures chances d'améliorer l'efficacité de l'irrigation dans les petites exploitations agricoles. Logiquement, ces systèmes devraient fournir l'eau à la demande, selon un dosage calculé pour satisfaire en permanence les besoins des plantes tout en prévenant le gaspillage, la salinisation, l'alcalinisation et l'élévation de la nappe d'eau.

Les méthodes peu coûteuses décrites dans cet ouvrage, basées sur l'application fréquente d'un faible volume d'eau sur une partie du site, ne sont que quelques exemples pertinents qui sont aujourd'hui en adoption à grande échelle dans plusieurs pays du monde.

9 RÉFÉRENCES

- Bander, J.** 1984. Scheduling irrigation with evaporation pans. Montana State University Agric. Bull. 1262. Missoula, Montana, États-Unis.
- Barghouti, S. et Le Moigne, G.** (éds). 1990. Irrigation in sub-Saharan Africa: development of public and private systems. Document technique n° 123. Banque mondiale, Washington.
- Bar-Yosef, B. et Sagiv, B.** 1985. Potassium supply to field crops grown under drip irrigation and fertigation. In Potassium Symposium, p. 185-188. International Potash Institute, Pretoria, Afrique du Sud.
- Best management Practices For Colorado Agriculture** : An Overview,k August 1994 Bulletin #XCM- 171
- Bos, M.G. et Nugteren, J.**1978. On irrigation efficiencies. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, Pays-Bas.
- Bucks, D.A. et Nakayama, F.S.** 1986. Trickle irrigation for crop production. Elsevier, Amsterdam.
- Bucks, D.A., Nakayama, F.S. et Warrick, A.W.** 1982. Principles, practices and potentialities of trickle (drip) irrigation. In D. Hillel (éd), Advances in irrigation, Vol. I. Academic Press, New York.
- Burman, R.D., Cuenca, R.H. et Weiss, A.** 1983. Techniques for estimating irrigation and water requirements. In D. Hillel (éd), Advances in irrigation, Vol. II. Academic Press, Orlando, Floride, EtatsUnis.
- Campbell, G.S.** 1977. An introduction to environmental biophysics. Springer-Verlag, New York.
- Chossat, J.C.**1992. Évaluation du procédé d'irrigation «Irrigasc». Ministère de la coopération et du développement, Paris. Copeland, M.C. (éd). 1993. A manual for irrigation planning in developing areas. SECOSAF, Pretoria, Afrique du Sud.
- Dasberg, S. et Bresler, E.** 1985. Drip irrigation manual. International Irrigation Information Centre, Bet Dagan, Israël.
- Delgado, C.L.** 1995. Africa's changing agricultural development strategies. Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), Washington.
- FAO.** 1976. Prognosis of Salinity and alkalinity, report of an expert consultation
- FAO.**1977. Les besoins en eau des cultures, par J. Doorenbos et W.O. Pruitt. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 24. Rome.
- FAO.**1979. Réponse des rendements à l'eau, par J. Doorenbos et A.H. Kassam. Bulletin d'irrigation et de drainage n°33. Rome.
- FAO.** 1995. L'irrigation en Afrique en chiffres. Rapport sur l'eau n° 7. Rome.
- FAO.** 1997. La petite irrigation dans les zones arides. Principes et options

Francis A. TAMELOKPO,(IFDC) 2004 Évaluation participative de la fertilité des sols

Gilley, J.R. 1983. Energy utilization and management in irrigation. In D. Hillel (éd), Advances in irrigation, Vol. II. Academic Press, Orlando, Floride, EtatsUnis.

Hanks, R.J. 1980. Yield and water use relationships. Inefficient water use in crop production. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, États-Unis.

Hillel, D. (éd).1972.Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields. Academic Press, New York.

Hillel, D. 1987. The efficient use of water in irrigation: principles and practices for improving irrigation in arid and semi-arid regions. Document technique n° 64. Banque mondiale, Washington.