

carnets écologiques

Du sel dans les jardins



L'évaporation

La salinisation

La lutte



L'évaporation	3
Les trois états de l'eau	4
Soleil, air et vent: facteurs d'évaporation	5
La saturation de l'air	7
Que devient l'eau évaporée ?	8
L'évaporation: invisible mais active	10
L'évaporation à la surface des lacs et des mares	10
L'évapo-transpiration dans les champs	13
L'évaporation rafraîchit	14
Du sel dans les jardins	18
Les plantes malades du sel	18
Le sel dans l'eau du sol et l'évaporation	19
Le lessivage du sol	22
Le brassage des sels minéraux	23
Pourquoi les cendres contiennent- elles des sels?	24
Pourquoi l'eau du sol est-elle salée?	25
L'eau, le sel, le feu: les trois auteurs de la salinisation du sol	27
Les méfaits de la salinité des sols	29
Les carences	31
Lutter contre les maladies dues au sel	32
Economiser l'eau de la couche arable	33
Créer des micro-climats	36
Organiser le lessivage des sols salins	39
Améliorer la fertilité et la structure du sol	43
Eviter d'ouvrir les terroirs à tous vents	44

Ce numéro des *Camets Écologiques* est consacré aux maladies du sel dans les jardins, celles que l'on constate lorsque les plantes se déforment, se décolorent, se dessèchent sans qu'on puisse voir de parasites ou de prédateurs. Ce sont des maladies de la malnutrition.

Lorsque le sol contient trop de sel, les plantes sont empoisonnées.

Mais pourquoi et comment la couche arable d'un sol peut-elle devenir salée?

Les causes sont diverses. L'une d'elles est l'évaporation de l'eau à la surface du sol. C'est un phénomène naturel. Quand elle est forte sur les terres arables, l'évaporation est gênante puisqu'elle emporte l'eau nécessaire aux cultures. Elle remonte le sel dans les couches de sol occupées par les racines et le concentre à la surface du sol.

Lorsque l'eau d'irrigation ou d'arrosage contient du sel, elle peut avoir des effets catastrophiques et coûter très cher au cultivateur.

Il est possible de lutter contre la salinisation des jardins par des pratiques adaptées. Nous verrons comment.

*camets
écologiques*

TERRES ET VIE
rue Laurent Delvaux, 13
1400 Nivelles
Belgique

tél. et fax : 32 - 67-21 71 49



L'évaporation

L'évaporation est un phénomène naturel. Elle est l'un des mouvements caractéristiques du *cycle de l'eau*. Celui-ci détermine les climats; sans lui, la vie n'existerait pas.

Il arrive que, dans son milieu, l'homme ait intérêt à contrôler l'évaporation pour des raisons économiques et écologiques, en particulier lorsque les ressources en eau dont il dispose pour ses cultures sont rares ou coûteuses. Ou encore, lorsque l'évaporation est à l'origine de phénomènes néfastes pour ses cultures.

Quelques heures de soleil suffisent parfois à sécher un sol. La terre qui était gorgée d'eau se dessèche et se fendille quand l'eau disparaît. De la même façon, un vêtement humide sèche en quelques minutes passées au soleil. Même un verre rempli d'eau se vide petit à petit sans que personne n'y touche.

Mais que devient l'eau qui quitte le sol, le linge ou le verre?



Que devient l'eau des vêtements humides?

Les trois états de l'eau

Dans la nature, les choses se transforment mais ne disparaissent jamais complètement. L'eau n'échappe pas à cette règle.

Sur la photo 2, on voit un gaz blanchâtre sortir de la casserole et s'élever vers le ciel. Ce gaz, c'est de la vapeur d'eau.



Pour avoir la preuve que ce gaz est de l'eau, deux expériences sont faciles à réaliser. Passons un tissu sec dans le gaz qui sort de la casserole: il devient humide. Et si un objet froid, comme un couvercle en métal, est laissé quelques secondes sur la casserole, il se couvre de fines gouttelettes d'eau. En se refroidissant, la vapeur chaude se condense en gouttes d'eau liquide.

Le gaz blanc qui sort de la casserole est de l'eau à l'état de vapeur.

L'eau peut prendre trois formes différentes selon sa température: on parle des **trois états de l'eau**.

- ❑ Les pluies, les rivières, les lacs sont formés par de l'eau **liquide**. Cette eau est aussi contenue en grande proportion dans les organes des plantes, dans le corps des animaux et des hommes.
- ❑ L'eau peut être **solide**: lorsque la température est inférieure à 0 degré, l'eau gèle: elle devient de la *glace*. En Afrique, la glace est rare dans la nature. On la trouve au sommet de très hautes montagnes, ou sous forme de grêlons dans certaines régions d'altitude. Par contre, la glace, eau solide, est bien connue dans nos congélateurs.
- ❑ Le troisième état de l'eau est **gazeux**. Quand la température de l'eau atteint 100 degrés, l'eau liquide se transforme en *vapeur*. Nous la voyons s'élever d'une bassine d'eau chauffée par le feu à la photo 2.

L'**évaporation** est le passage de l'eau de son état liquide à son état gazeux. La **condensation** est le passage inverse: la vapeur d'eau se transforme en eau liquide.

Quand la vapeur d'eau se forme, elle s'élève et se disperse dans l'air. Juste au-dessus de la casserole qui chauffe, la concentration en vapeur d'eau dans l'air est élevée car la chaleur du feu crée une évaporation très forte. Très vite cependant, la vapeur se mélange à l'air, se disperse et devient invisible.

En fait, la vapeur d'eau n'est visible que quand elle est très concentrée, comme par exemple dans les nuages ou les brumes.

Faisons une comparaison en déposant une poignée de sel sur le sol. Le tas blanc est bien visible par terre. Mais si nous dispersons le sel à tous vents, nous ne voyons plus ses grains alors que nous savons qu'ils sont toujours présents. C'est la même chose pour la vapeur d'eau. Si elle est très concentrée dans l'air, on la voit; si elle est dispersée dans l'air, on ne la voit pas.

Soleil, air et vent: facteurs d'évaporation

Qui est responsable de l'évaporation?

- Dans la nature, le premier responsable, c'est le **soleil**. Il chauffe l'eau jusqu'à la transformer en vapeur, comme le fait le feu sous la casserole. Plus la **chaleur** s'élève, plus l'évaporation est forte.

Deux heures après une forte pluie, posons la main sur le sol en dessous d'un arbre: il est frais et encore humide. Un peu plus loin, là où il n'y a pas d'ombre, le sol chauffé par le soleil est chaud et quasi sec. L'exposition d'un sol aux rayons directs du soleil est donc une cause importante de son assèchement.



L'insolation directe du sol: un important facteur d'évaporation.

- La chaleur n'agit cependant pas seule. Sa capacité à provoquer l'évaporation dépend de l'**humidité de l'air**.

Lorsque l'eau est chauffée, elle a tendance à s'évaporer. Mais il faut encore que la vapeur formée puisse être *absorbée par l'air* ambiant.

Il y a une limite à cette absorption. L'air peut en effet être *saturé* de vapeur d'eau. On voit alors se former de très fines gouttelettes d'eau liquide qui restent *suspendues* dans l'air. C'est ce qui explique la formation des nuages, du brouillard ou des brumes.

L'air sec, pour sa part, a soif de vapeur. La vapeur qui se forme par évaporation de l'eau se mélange facilement à l'air sans qu'on la voie. Plus l'air est sec, plus l'évaporation est forte.

La quantité de vapeur que peut contenir un volume d'air avant d'être saturé d'humidité augmente avec la température de ce volume d'air. De l'air froid ne peut contenir que peu de vapeur. Il est vite saturé. L'air chaud est capable d'emmagasiner plus de vapeur que l'air froid.

- ❑ Le troisième responsable de l'évaporation est le **vent**.

Quand il n'y a pas de vent, l'air qui est près du sol ne bouge presque pas. Petit à petit, cet air se charge de vapeur, car de l'eau s'évapore à partir du sol ou des plantes. À cet endroit, la couche d'air devient de plus en plus humide et, petit à petit, l'évaporation diminue à la surface du sol.

Par contre, si le vent se met à souffler, la vapeur d'eau est tout de suite dispersée dans l'air et emportée au loin ou en hauteur. Plus le vent souffle fort - et donc plus le **volume d'air** qui passe à proximité du sol est important - plus l'évaporation est forte.

- ❑ Enfin, la **couleur** des objets humides a aussi une certaine importance. Observons en effet que les objets de couleur foncée s'échauffent plus fortement sous les rayons solaires que les objets clairs. L'eau se trouvant dans un sol foncé soumis aux rayons du soleil s'évapore donc plus fortement que celle qui se trouve dans un sol clair.

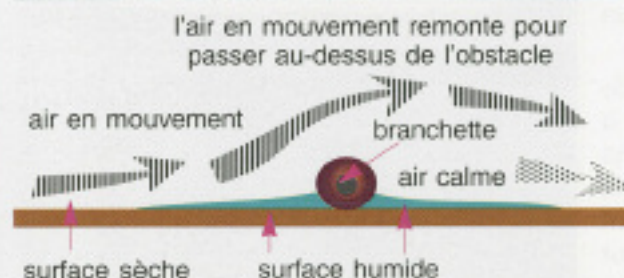
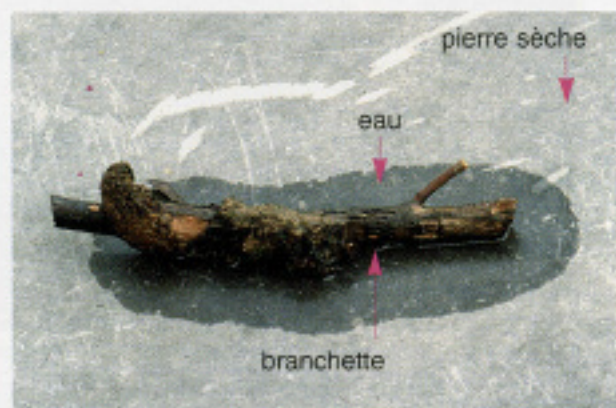


Les arbres du jardin font de l'ombre, ralentissent le vent et gardent donc l'humidité auprès d'eux. À cet endroit, le linge sèche plus lentement qu'en plein soleil.

- ❑ Lorsque la **surface** du sol est très chaude, sous l'influence du rayonnement solaire, l'air qui la surplombe accumule de la chaleur et de la vapeur d'eau. L'air chaud monte dans l'atmosphère en entraînant vers le haut son contenu de vapeur. Comme le vent, l'**ascension** de l'air est donc l'une des causes du dessèchement du sol.

Concluons en disant que tout ce qui a tendance à garder l'air humide à proximité du sol réduit l'évaporation de l'eau qu'il contient. Les arbres, les buissons, les herbes et les débris de plantes agissent comme des couvertures. Ils empêchent la vapeur de monter vers le ciel, ils ralentissent le vent et protègent le sol des rayons du soleil.

Fig. 5 *Le moindre obstacle est efficace pour retenir l'eau à la surface du sol*



avant l'obstacle, l'air racle le sol et entraîne l'eau qui se trouve à sa surface

devant et derrière l'obstacle, l'évaporation est moins rapide puisqu'il y a moins d'air raclant la surface du sol

Peu de chose suffit à protéger le sol contre les effets du vent. La photo ci-contre montre un morceau de bois déposé sur une pierre plate. Il a plu, puis le vent est passé par là et a évaporé l'eau qui se trouvait sur la pierre. Mais, à proximité du morceau de bois, il reste de l'eau. Quel que soit l'obstacle, l'air desséchant qui se déplace est freiné et doit passer au-dessus, comme le montre le schéma ci-contre. Aux alentours immédiats de l'obstacle, l'air est plus calme et absorbe moins d'eau.

La saturation de l'air

Nous avons dit que l'air pouvait être saturé par la vapeur d'eau. Pour comprendre ce que cela veut dire, nous allons faire une comparaison. Prenons une théière contenant un peu d'eau fraîche et ajoutons-y un morceau de sucre. Il suffit de mélanger pendant quelques secondes pour dissoudre complètement le sucre. Mais si nous ajoutons encore des morceaux de sucre, il devient de plus en plus difficile de les dissoudre. Il y a une limite à la quantité de sucre qu'un volume d'eau peut dissoudre. À un certain moment, elle ne peut pas en dissoudre davantage: elle est saturée. Si on ajoute encore des morceaux de sucre, ils restent entiers dans le fond de la théière.

De la même façon, l'air peut accepter une certaine quantité de vapeur d'eau, mais il finit lui aussi par être saturé. On le remarque par la présence de brume.

Chauffons maintenant le contenu de la théière dont l'eau est saturée de sucre. Les grains de sucre qui ne fondaient pas vont peu à peu se dissoudre. En fait, l'eau chaude peut contenir davantage de sucre dissous que l'eau fraîche.

L'air chaud aussi est capable d'emporter plus de vapeur d'eau que l'air froid. Et quand de l'air chaud et humide se refroidit, la vapeur d'eau se condense. Dans la nature, on appelle cela la formation de la **rosée**.

Pour dissoudre les grains de sucre qui n'arrivent pas à fondre dans le fond de la théière fraîche, on peut aussi ajouter de l'eau. En doublant le volume d'eau, on dissout deux fois plus de sucre. De même, le vent augmente le volume d'air qui passe à proximité de la surface du sol ou de l'eau. Il augmente donc la quantité d'eau évaporée et emportée par l'air.



6



7

L'eau qui s'évapore au-dessus du terroir ou au-dessus d'une surface d'eau forme les nuages qui, ensuite, se déplaceront avec les vents.

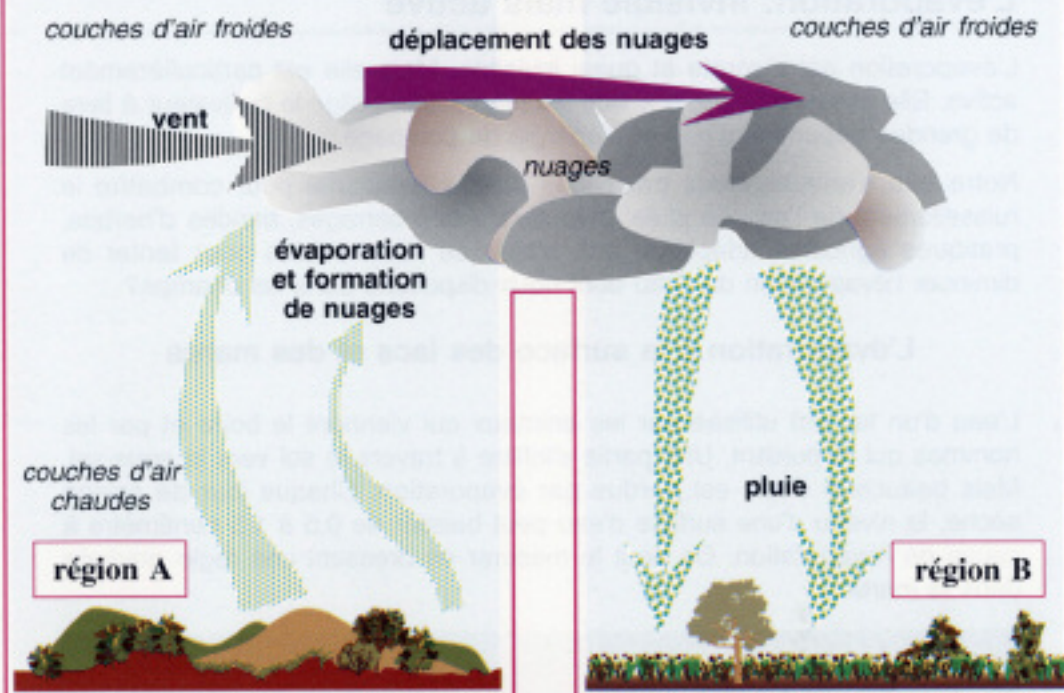
Que devient l'eau évaporée?

L'évaporation transforme l'eau liquide en vapeur d'eau. Mais elle met aussi l'eau en mouvement: la vapeur monte vers le ciel avec l'air qui la contient. Elle voyage au gré du vent qui la pousse d'un côté ou de l'autre. En s'élevant, la vapeur se refroidit, car plus on s'élève au-dessus de la terre, plus l'air est froid et moins il peut contenir de vapeur. Celle-ci se condense en millions de minuscules gouttes d'eau qui forment les nuages.

Quand le vent souffle, les nuages voyagent. Ils peuvent parcourir des milliers de kilomètres avant de devenir de la pluie. Que se passe-t-il alors? Les nuages rencontrent une masse d'air plus froide qu'eux. Les gouttes d'eau commencent à grossir jusqu'à ce qu'elles soient trop lourdes pour rester suspendues dans l'air et elles tombent. Dans leur chute, elles cognent d'autres gouttes qui s'unissent à elles et poursuivent la chute. C'est la **pluie**.

Fig. 8

Mouvements des nuages d'une région à l'autre sous l'impulsion des vents



Dans la région **A**, la vapeur d'eau évaporée à la surface de la terre, des lacs et des rivières, ou transpirée par les plantes, est dissoute dans l'air. Elle s'élève avec lui dans l'atmosphère. En s'élevant, la vapeur d'eau rencontre des masses d'air de plus en plus froides. En se refroidissant, elle se liquéfie sous forme de gouttelettes, puis de gouttes d'eau de plus en plus grosses. Les gouttelettes et les gouttes accumulées et "suspendues" dans les couches élevées de l'atmosphère forment les nuages.

Les nuages sont poussés par le vent vers d'autres régions, par exemple vers la région **B** qui peut se trouver à plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres. Lorsque les nuages se sont fortement alourdis, ils éclatent en pluie.

Les pluies d'une région dépendent donc entièrement de l'évaporation dans d'autres régions.

Résumons

- ⊗ Les masses d'eau liquide et les masses d'air s'échangent constamment de la vapeur d'eau en fonction des circonstances climatiques.
- ⊗ L'eau liquide et la vapeur d'eau sont perpétuellement en mouvement à la surface de la terre, qu'il s'agisse de mouvements descendants ou montants ou de mouvements latéraux.
- ⊗ S'il n'est pas possible d'agir sur la pluviométrie elle-même, il est par contre possible de développer des pratiques réduisant l'évaporation de l'eau du sol ou des nappes d'eau de surface.

Diminuer l'évaporation sur son champ ou dans son jardin, c'est profiter plus longtemps de l'eau apportée par les pluies. Ralentir l'évaporation, c'est retarder le moment où cette eau continuera sa route vers ailleurs.

L'évaporation: invisible mais active

L'évaporation est discrète et quasi invisible. Mais elle est particulièrement active. Elle assèche le sol, elle vide les mares. Elle oblige le cultivateur à faire de grandes dépenses d'eau et d'énergie de pompage.

Notre eau s'envole. Nous travaillons parfois beaucoup pour combattre le ruissellement de l'eau de pluie: diguettes, micro-barrages, bandes d'herbes, pratiques agricoles adaptées, etc. Mais que faisons-nous pour tenter de diminuer l'évaporation de l'eau dont nous disposons dans les champs?

L'évaporation à la surface des lacs et des mares

L'eau d'un lac est utilisée par les animaux qui viennent la boire et par les hommes qui la puisent. Une partie s'infiltre à travers le sol vers le sous-sol. Mais beaucoup d'eau est perdue par évaporation. Chaque jour de saison sèche, le niveau d'une surface d'eau peut baisser de 0,5 à 1,5 centimètre à cause de l'évaporation. On peut le mesurer en dressant une règle graduée dans la mare.



Une mare exposée au soleil et aux vents peut perdre une couche d'eau de 0,5 à 1,5 centimètre par jour, à cause de l'évaporation.

Il est possible de calculer la quantité d'eau qui s'évapore d'une mare ou d'un lac. Prenons la mare que nous voyons sur la photo 9: sa longueur est d'environ 200 mètres et sa largeur de 50 mètres; sa profondeur est d'environ 1,2 mètre. La superficie de cette mare est d'environ 10.000 m² (mètres carrés). La quantité totale d'eau contenue dans la mare est de 12.000 m³ (mètres cubes). En multipliant la superficie par 1 centimètre de hauteur (à supposer

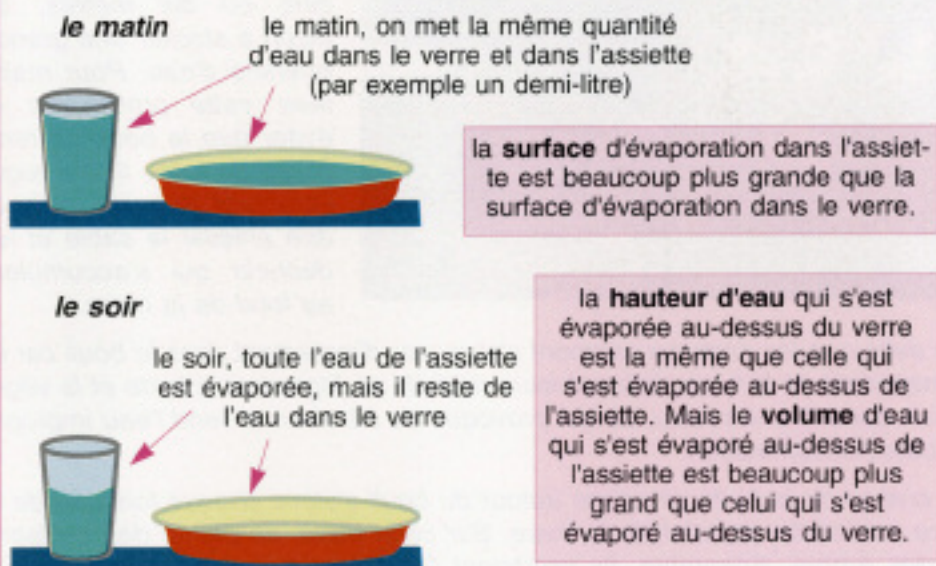
que l'évaporation soit de 1 cm par jour), on obtient un volume de 100 m^3 *. Cette mare évapore donc chaque jour 100 m^3 d'eau, soit 100.000 litres. C'est l'équivalent de 500 barriques par jour. Cinq cent barriques! Voilà une quantité d'eau impressionnante! Comme la profondeur de la mare est de 1,2 mètre, ou 120 centimètres, on peut dire que 120 jours (4 mois) suffiront pour l'assécher complètement, à raison d'une couche d'eau d'1 centimètre par jour.

Imaginons que la même quantité d'eau (12.000 m^3) soit accumulée dans une marre dont la surface est de 2.500 m^2 ($50 \times 50 \text{ m}$) et la profondeur de 4,8 mètres. La quantité d'eau évaporée serait de 25 m^3 par jour seulement, au lieu de 100 m^3 comme dans le cas précédent. Il n'y aurait que 125 barriques évaporées plutôt que 500. Mais aussi, on peut calculer qu'il faudrait 480 jours d'évaporation pour vider la marre, soit plus de 16 mois au lieu de 4 mois dans le cas précédent.

La quantité d'eau qui s'évapore dépend directement de la superficie d'eau exposée au soleil et au vent. Plus cette superficie est vaste, plus la quantité d'eau évaporée sera grande. C'est bien normal puisque le soleil et le vent atteignent l'eau en chaque point de sa surface. Et c'est uniquement l'eau de la surface qui s'évapore. Nous pouvons retenir qu'un stock d'eau bien profond gardera de l'eau plus longtemps qu'un stock peu profond (figure 10).

Fig. 10

La quantité d'eau qui s'évapore dépend de la surface de l'eau



* $1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$

$10.000 \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ m} = 100 \text{ m}^3$

Une technique traditionnelle pour stocker l'eau: le bouli

Au Sahel, les anciens avaient mis au point la technique du bouli. Le bouli est une mare approfondie, qui permet de garder des réserves d'eau pendant toute la durée de la saison sèche. La terre extraite de la mare est accumulée sur une butte autour du bouli. Le fond de la mare était autrefois recouvert de pierres plates et d'argile pour empêcher l'infiltration de l'eau dans le sol et pour le stabiliser.



11

Un bouli bien profond, protégé contre les vents et le soleil, peut garder de l'eau durant toute la saison sèche.

Pour limiter l'évaporation, la surface d'eau exposée au soleil et au vent doit être la plus petite possible, selon le principe expliqué à la figure 10. Les longueurs et largeurs des boulis varient généralement entre dix et cinquante mètres.



12

La profondeur du bouli, par contre, doit être la plus grande possible, jusqu'à cinq ou dix mètres, de façon à stocker une grande quantité d'eau. Pour maintenir cette profondeur et éviter que le bouli se remplisse de terre, il faut régulièrement le curer, c'est-à-dire enlever le sable et les déchets qui s'accumulent au fond de la mare.

On évite que les animaux viennent s'abreuver directement dans le bouli car ils transportent de la boue, laissent leurs déchets et dégradent la butte et la végétation qui entourent l'eau, ce qui provoque de l'érosion et rend l'eau impropre à toute consommation.

Le niveau de la butte circulaire autour du bouli s'élève chaque fois que de la terre est retirée du fond de la mare. Sur cette butte, on plante des buissons et des arbres. Ensemble, ils protègent l'eau contre le vent desséchant et retiennent la terre de la butte. Les arbres font aussi de l'ombre à la surface de l'eau, ce qui réduit encore l'évaporation.

Cette intéressante technique de conservation des stocks d'eau aux abords des villages semble aujourd'hui être oubliée.

L'évapo-transpiration dans les champs

Une partie de l'eau qui tombe sur le champ ruisselle vers les marigots. Une autre partie descend en profondeur dans le sous-sol, hors d'atteinte des racines. Ne parlons pas de ces eaux-là mais de celle qui, dans les champs, reste accessible pour les plantes. Que devient-elle?

- ❑ Les plantes, les animaux et les hommes contiennent beaucoup d'eau dans leur organisme. C'est de l'eau de **constitution**. Une certaine quantité d'eau est donc stockée à l'intérieur des feuilles, des tiges ou des fruits des plantes, mais cela ne représente pas une grande proportion de l'eau du champ.
- ❑ Une quantité beaucoup plus grande d'eau est puisée par les racines de la plante avant d'être rejetée dans l'air par les feuilles. C'est l'eau de **transpiration**. Cette eau qui traverse la plante transporte les substances nutritives. La plante a besoin de transpirer pour se développer. Une partie de l'eau transpirée est d'ailleurs fabriquée dans le corps de la plante.

Les feuilles des plantes sont percées de nombreux petits trous qui peuvent s'ouvrir et se fermer. Ce sont les **stomates**. Si la plante parvient à puiser toute l'eau dont elle a besoin, les stomates sont grand ouverts et la transpiration est forte. La plante échange alors beaucoup de gaz avec l'air et se développe correctement. Le rejet de vapeur d'eau par les feuilles est proportionnel à la croissance de la plante, pour autant que celle-ci ne manque pas d'eau.

Si le vent commence à souffler, si la température augmente ou si l'eau vient à manquer dans le sol, les stomates des feuilles se ferment. La transpiration diminue ainsi que les échanges gazeux à travers les stomates.

- ❑ Une certaine quantité d'eau est également évaporée directement par la surface du sol. Cette évaporation peut même faire remonter de l'eau des profondeurs vers la surface par ce qu'on appelle l'élévation par **capillarité**. La capillarité est le phénomène qui fait que l'eau est attirée dans les espaces très fins et les pores du sol.

L'eau transpirée par la plante et l'eau évaporée à la surface même du sol forment ensemble l'**évapo-transpiration** du champ. L'**évapo-transpiration potentielle** du champ est la quantité maximale d'eau que le vent et le soleil sont capables d'emporter s'il y a de l'eau à volonté dans le sol. Mais souvent, l'**évapo-transpiration réelle** est plus réduite, car il n'y a pas assez de réserve d'eau dans le sol. A un moment donné, l'eau souterraine cesse de remonter dans les pores du sol, par capillarité, et l'évaporation est interrompue.

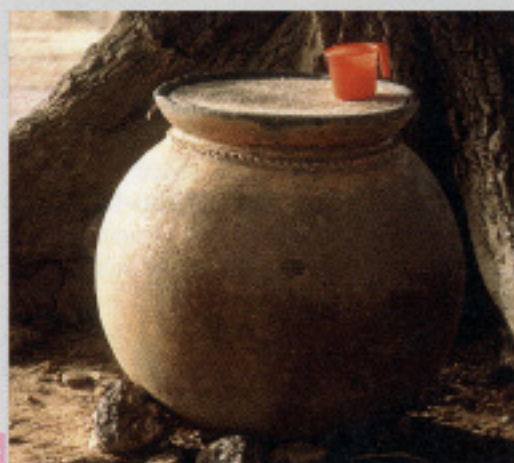
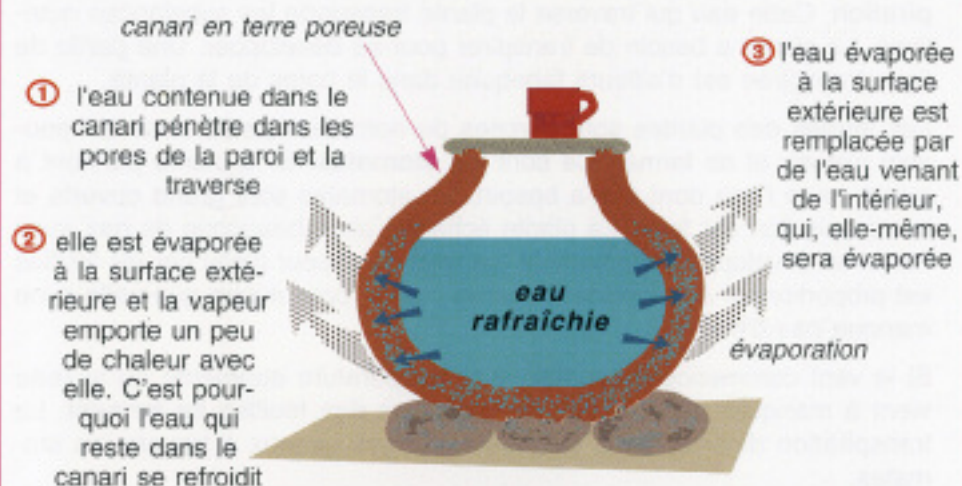
L'évaporation rafraîchit

L'évaporation assèche le sol et assoiffe les plantes. Mais l'évaporation joue aussi un rôle important: elle rafraîchit le milieu. N'y a-t-il pas une contradiction? Alors qu'il nous semble que les objets et le sol s'échauffent quand il y a de l'évaporation, voilà que nous disons le contraire! Il est pourtant facile de le constater. Prenons trois exemples.

Premier exemple: l'eau fraîche du canari

Fig. 13

Le rafraîchissement de l'eau dans un canari en terre



14

Cette figure explique comment l'évaporation refroidit l'eau qui se trouve dans un canari en terre. Les flèches bleues en trait continu représentent les mouvements de l'eau à l'intérieur de la paroi du canari. Les flèches bleues en traits pointillés représentent les mouvements de la vapeur.

L'eau gardée dans un bidon en plastique prend vite la température de l'air ambiant. Même si le bidon est placé à l'ombre, l'eau qu'il contient nous paraît chaude ou tiède. Dans un canari en terre, par contre, l'eau se rafraîchit petit à petit. C'est l'évaporation qui explique cette différence.

Le bidon en plastique est tout à fait imperméable: rien ne peut en sortir; il n'y a pas d'évaporation de l'eau qui s'y trouve. L'air environnant communique sa chaleur à l'eau, par contact direct avec la paroi du bidon.

Par contre, la paroi du canari est poreuse. L'eau contenue dans le canari pénètre dans la paroi mais ne s'écoule pas à l'extérieur.

Regardons de près la paroi du canari en terre. Il y a des milliers de pores trop petits pour que l'eau liquide puisse s'écouler. Mais la vapeur d'eau, elle, peut passer. Donc, même si le canari est fermé, un peu d'eau va s'évaporer.

Le mètre est une unité qui permet de mesurer les longueurs. Le kilo est une unité de poids. De même, la **calorie** permet de mesurer l'énergie calorifique (l'énergie qui donne de la chaleur). Lorsque l'eau s'échauffe, elle accumule en elle des calories; lorsqu'elle se refroidit, elle en perd. Les calories accumulées par l'eau proviennent d'une source de chaleur extérieure: les rayons du soleil, le feu, l'air chaud environnant.

Au contraire, lorsque l'eau se refroidit, c'est qu'elle perd des calories. En fait, elle les cède au milieu ambiant, par exemple à l'air.

L'échauffement et le refroidissement d'une quantité d'eau se font donc par des échanges des calories entre cette eau et le milieu.

Pour se former, la vapeur a besoin d'accumuler des calories. Chaque gouttelette d'eau liquide doit trouver dans son environnement immédiat les calories dont elle a besoin pour devenir vapeur.

Ces explications nous permettent de comprendre pourquoi l'eau du canari se rafraîchit. Chaque gouttelette d'eau qui franchit la paroi poreuse et qui se transforme en vapeur prélève des calories dans l'eau du canari. Celle-ci se rafraîchit donc.

L'eau du bidon, elle, n'a pas de raison de se rafraîchir puisqu'aucune eau ne peut traverser sa paroi et s'évaporer à l'extérieur.

Deuxième exemple: la transpiration des hommes

Le corps des hommes doit garder une température presque constante d'environ 36,5 degrés. Si la température s'élève sous l'effet de la chaleur environnante, l'organisme cesse de fonctionner normalement. La transpiration permet d'éviter la surchauffe du corps. Chauffée par le soleil ou par l'effort physique, l'eau du corps s'évapore par les pores de la peau, comme dans le cas du canari. Ces pores peuvent s'ouvrir et se fermer pour laisser passer plus ou moins de vapeur d'eau.

La transpiration refroidit le corps car elle emporte de la chaleur avec elle. Si la peau ne pouvait pas laisser passer la vapeur d'eau, l'organisme chaufferait comme l'eau dans la bouteille en plastique.

Quand l'évaporation est facile, parce que l'air est sec ou parce qu'il y a beaucoup de vent, nous ne sommes pas gênés par la transpiration. La sueur se disperse vite. Nous transpirons beaucoup sans être étouffés par la chaleur. Par contre, si l'air est humide et s'il n'y a pas beaucoup de vent, la sueur coule sur notre peau car elle se disperse difficilement dans l'air ambiant. Dans ces conditions, la chaleur est difficile à supporter car la peau ne se refroidit pas correctement.



15

*L'effort physique chauffe le corps.
Pour nous refroidir, nous transpirons une partie
de l'eau qui se trouve dans notre corps.*

L'effort physique d'un homme chauffe son corps. Il transpire abondamment. Après cet effort, le corps se refroidit lentement et la transpiration s'arrête. Un corps qui n'évapore pas son eau par transpiration s'échauffe. Il faut donc boire régulièrement pour approvisionner le corps en eau et lui permettre de se refroidir. Mais constatons aussi qu'en s'évaporant sur la peau, l'eau transpirée laisse un peu de sel. Notre langue appliquée sur la peau le confirme.

Troisième exemple: la transpiration des plantes

Regardons ce mil (photo 16). Certains plants sont verts et en plein développement mais ceux qui se trouvent à l'avant de la photo sont petits et desséchés. En prenant en main leurs feuilles, nous constatons que celles des pieds de mil en pleine forme sont fraîches; par contre, celles du mil rabougri sont chaudes, presque autant que le sol.



16

*Si les plantes ne peuvent s'abreuver dans le sol,
elles ne transpirent pas et leurs feuilles s'échauffent.*

Comme le corps des hommes, celui des plantes transpire: lorsque l'eau des feuilles s'évapore, elle refroidit celles-ci. Les feuilles sont percées de minuscules ouvertures qu'on appelle **stomates**. Les stomates peuvent s'ouvrir ou se fermer en fonction des besoins de la plante. Si elle n'a pas assez d'eau à sa disposition, la plante ferme tous les stomates de ses feuilles pour ne pas perdre ce qui lui reste d'eau. Mais alors, les feuilles s'échauffent et la plante arrête de travailler et de se développer. Il faut donc que le mil ait de l'eau à la disposition de ses racines pour qu'il puisse croître normalement mais aussi transpirer et refroidir ses feuilles.

L'évaporation de l'eau transpirée est bien utile, surtout par temps chaud et sous le soleil ardent. Mais, si elle est trop forte et rapide, il se peut que la plante ne parvienne pas à remplacer l'eau évaporée par de l'eau nouvellement puisée dans le sol. Elle s'assèche et dépérit.

C'est aux heures fraîches de la journée, le matin et le soir, que les plantes aiment s'abreuver et accumuler de l'eau. Bien abreuvées, elles sont prêtes à affronter la grosse chaleur de midi. Mieux vaut arroser les jardins quand le soleil ne chauffe pas trop pour ne pas obliger la plante à travailler en pleine chaleur.

L'évaporation emporte l'eau du sol, mais elle laisse sur place les sels minéraux contenus dans cette eau. Il y a un lien étroit entre les mouvements de l'eau et l'abondance ou l'absence de sels dans les couches superficielles du sol qui sont exploitées par les racines des plantes cultivées.

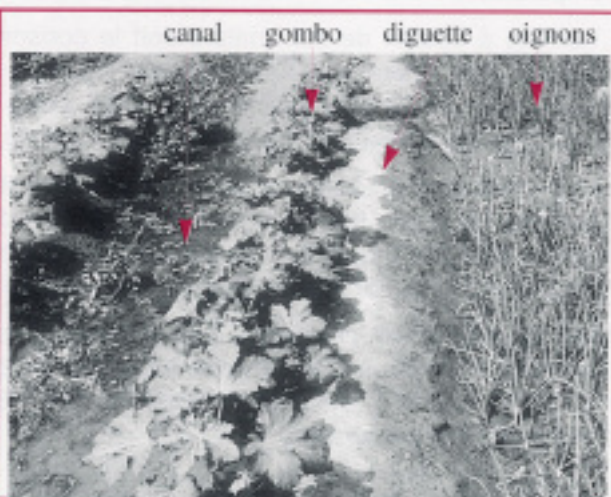
Nous venons de parler de l'évaporation, dans la première partie de ce Carnet. Dans la seconde partie, intéressons nous plus particulièrement aux mouvements des sels. La salinisation des terres de cultures, surtout dans les jardins maraîchers, les rizières ou les parcelles irriguées inquiète fréquemment les cultivateurs et les cultivatrices et cela d'autant plus que l'eau des puits et des forages servant à l'irrigation est légèrement salée.

Économiser l'eau et lutter contre l'évaporation sont des objectifs essentiels de toute lutte contre la salinisation des terres et les maladies du sel dans les cultures.



Des gombos ont été plantés sur la diguette séparant le canal d'amenée d'eau et la planche d'oignons. Ils s'abreuvent grâce à l'eau de ce canal et leur premier développement semble bon.

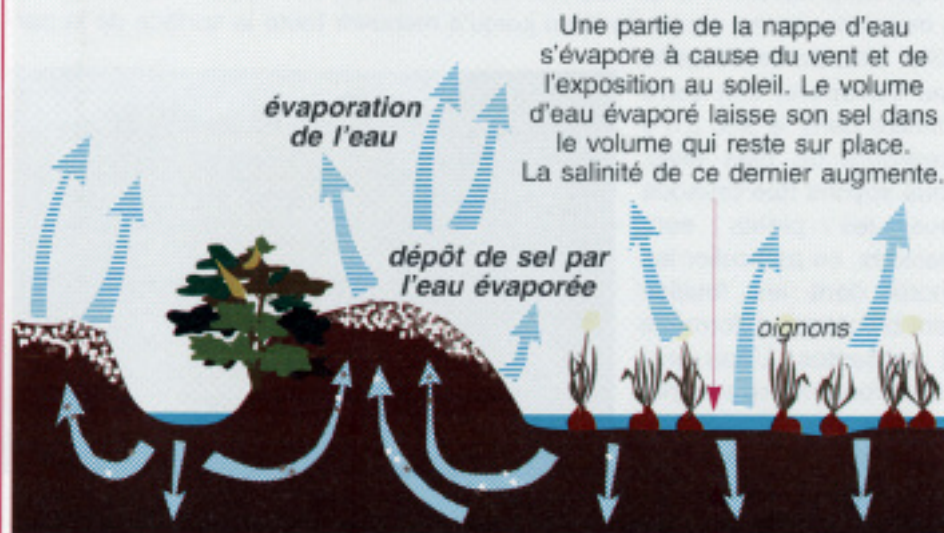
La diguette elle-même présente un aspect particulier. L'eau qui irrigue les oignons est aspirée dans la terre formant la diguette. Au sommet de celle-ci, l'eau s'évapore en laissant sur place le peu de sel qu'elle contient. Une traînée blanche est visible par endroits. Elle s'étendra avec le temps, au fur et à mesure de l'évaporation (figure 22).



21

Fig. 22

L'irrigation est souvent à l'origine de la salinisation



Une partie de la nappe d'eau s'évapore à cause du vent et de l'exposition au soleil. Le volume d'eau évaporé laisse son sel dans le volume qui reste sur place. La salinité de ce dernier augmente.

Dans le billon, l'eau remonte par capillarité et s'évapore à la surface du billon en y déposant le sel qu'elle contient.

Sous la parcelle inondée, l'eau s'écoule en profondeur (percolation) et lessive le sol.

Le dépôt de sel est moindre sous la plante qu'à la surface nue du billon puisqu'il y a moins d'évaporation au sol et plus de transpiration par la plante.

Les signes qui se manifestent sur les plantes lorsque leur alimentation contient trop de sel sont ceux de la soif et de l'empoisonnement. Faisons une comparaison.

L'homme a besoin de sel, mais il doit le consommer par petites quantités. Essayez d'en avaler une cuillère pleine, vous en aurez le feu à la bouche et à l'estomac. Votre réaction, si vous avez avalé trop de sel, sera de boire beaucoup d'eau. Mais il faut que vous en trouviez à portée de la bouche.

Les plantes sont un peu pareilles. Lorsque leur alimentation est trop riche en sel, elles souffrent. Elles ont soif et les signes de cette soif se manifestent d'autant plus fort que le sol est sec. Si l'eau avec laquelle on arrose est elle-même salée, cela ne fait qu'aggraver les causes de maladies.

Mais le sel ne se concentre pas que dans le corps des plantes. Il se concentre aussi dans le sol. Plus la proportion de sel est forte dans le sol, plus les racines ont des difficultés à puiser de l'eau. En effet, le sel appelle l'eau et concurrence les racines.

Le sel dans l'eau du sol et l'évaporation

La parcelle maraîchère de la photo 20 est irriguée en nappe. Chaque matin, le maraîcher laisse couler de l'eau jusqu'à recouvrir toute la surface de la parcelle. Une partie de cette eau s'évapore, une autre s'infiltre dans le sol. En y regardant de plus près, nous voyons que presque tous les plants sont malades, en particulier les choux dont les feuilles sont bleuâtres, déformées et cassantes. L'eau provient d'une rivière voisine. Au goût, rien n'indique la présence de sel dans cette eau. Pourtant, les plantes poussant sur cette parcelle souffrent manifestement de la salinité.



L'irrigation est souvent une cause de salinisation des sols lorsqu'elle n'est pas assortie d'un drainage.

Approchons-nous. Progressant sur l'une des diguettes du jardin (photo 21), nous voyons du côté droit une planche d'oignons qui vient de bénéficier d'un arrosage abondant. Les plants sont déjà en fleurs, mais ils ne sont pas costauds.

Le lessivage du sol

Lorsque l'eau douce de la pluie tombe sur le sol et s'y infiltre ou y *percole*, elle dissout des sels et les entraîne vers le sous-sol: c'est le **lessivage**. Cette femme nous fait une démonstration du lessivage dans un bas-fond localisé près de la mer (photo 25).

Dans un grand filtre, elle place de la terre salée prélevée à côté d'elle dans une fosse. Puis elle verse de l'eau sur cette terre. Cette eau entraîne avec elle le sel contenu dans la terre du filtre, et se retrouve dans les récipients placés en dessous. C'est le lessivage. Ensuite, elle chauffe fortement l'eau salée jusqu'à sa complète évaporation (photo 26). Quand toute l'eau est évaporée, il ne reste plus, dans la bassine, que des cristaux de sel.



25



26

*Lessivage du sol salin par une femme de Guinée Bissau, pour la production de sel.
L'eau déversée entraîne le sel; le feu se charge de séparer l'eau et le sel.*

Lorsqu'elle termine sa journée, la femme dispose de deux types de sels. Il y a les cristaux restés dans les bassins après évaporation de l'eau. Mais il y a aussi les cendres des branches ayant servi à chauffer les récipients. Ce sont des sels laissés par le feu. Ces sels ont été puisés dans le sol par les arbres dont les branches ont été brûlées.

Dans les régions éloignées de la mer, d'autres femmes filtrent d'ailleurs les cendres de certaines plantes pour en obtenir du sel de cuisine ou de la potasse.

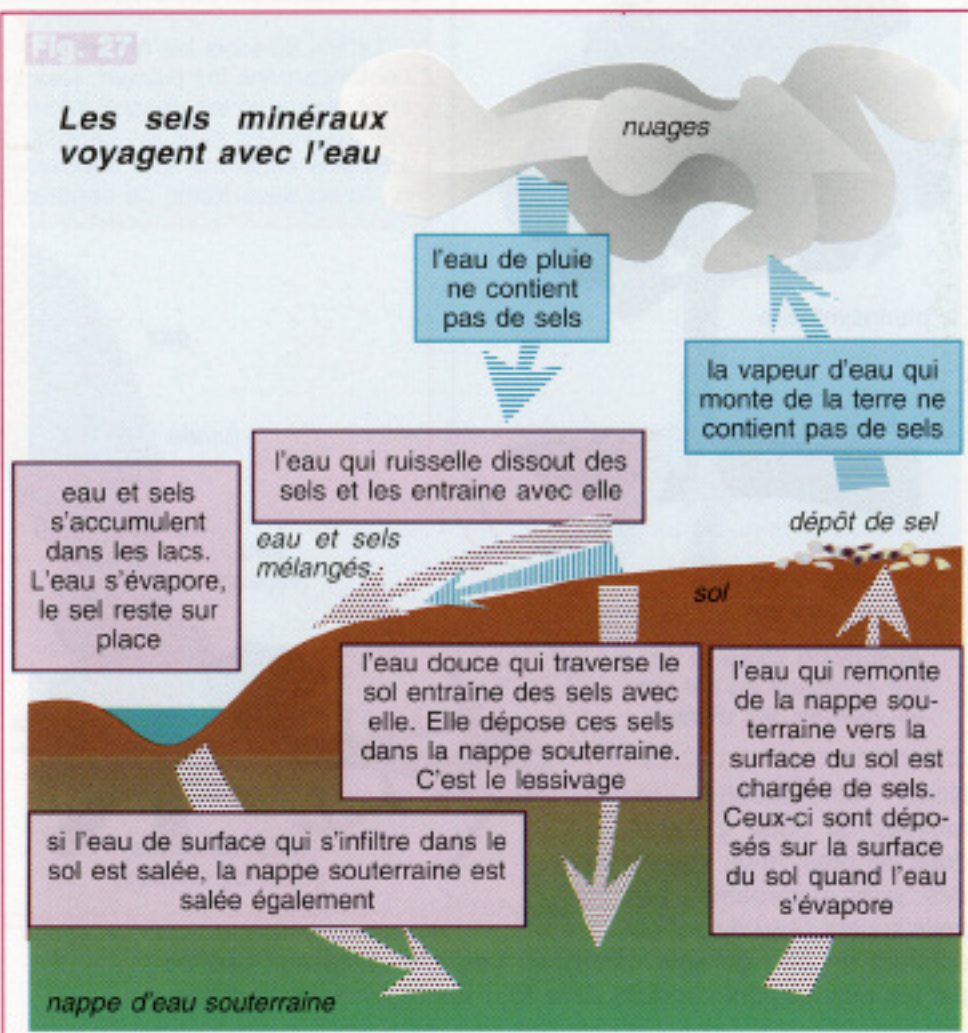
Le lessivage existe en grand dans la nature, chaque fois que l'eau d'infiltration traverse une couche de terre.

Le brassage des sels minéraux

L'eau est perpétuellement en mouvement dans la nature. Elle tombe sous forme de pluie, elle ruisselle, elle s'infiltre dans le sol verticalement ou latéralement, elle s'évapore. Dans ses mouvements, l'eau dissout et transporte des sels minéraux, parfois très profondément dans le sous-sol, ou sur de grandes distances. Parfois aussi, elle abandonne les sels sur place, en particulier lorsqu'elle s'évapore.

Les mouvements des sels se font donc en relation étroite avec le cycle de l'eau dans la nature. La figure 27 rappelle ce fait.

Mais on ne peut généraliser. La variété des sels se trouvant dans les sols et les sous-sols est très grande, et chacun d'entre eux a ses comportements propres.

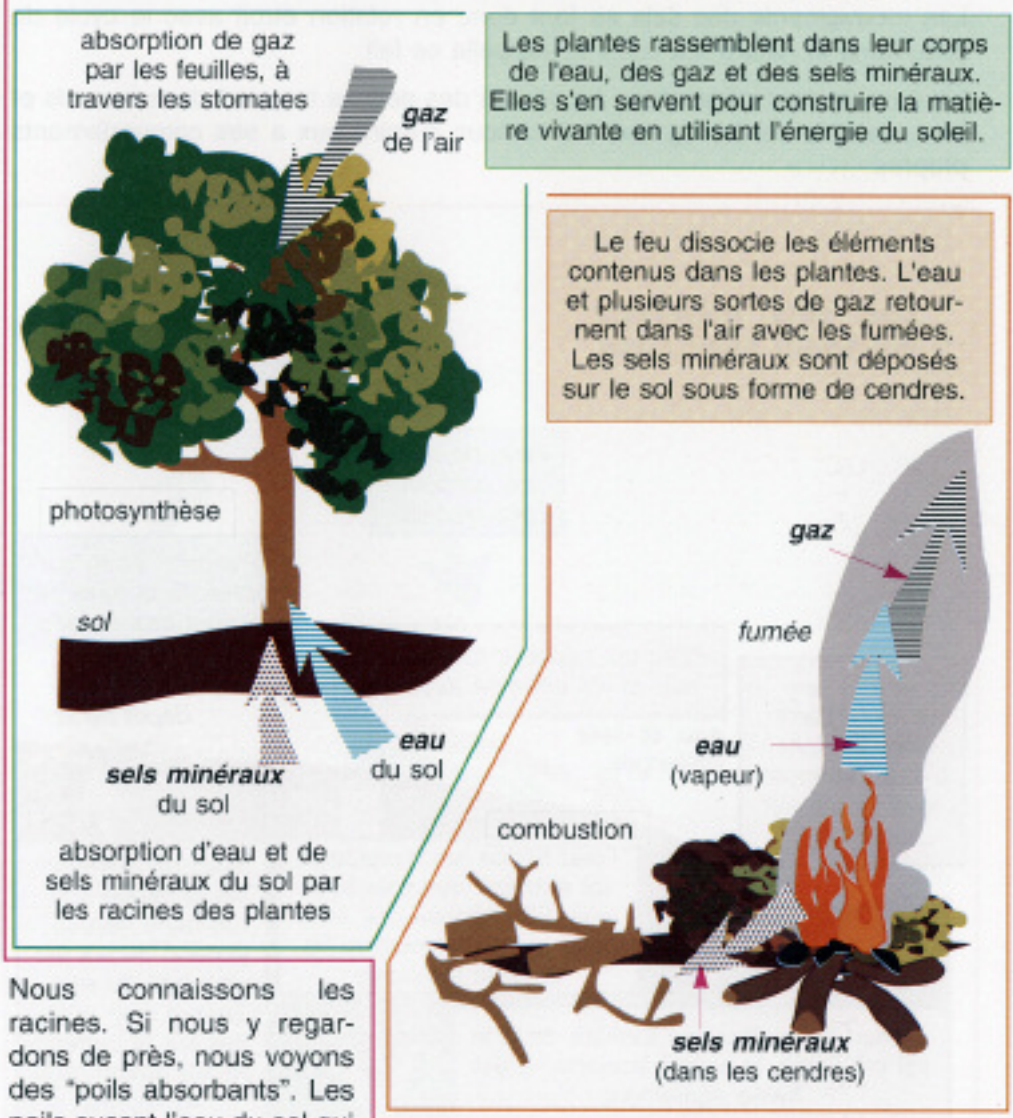


Pourquoi les cendres contiennent-elles des sels?

Les plantes ont deux sortes de "bouches": les racines dans le sol et les *stomates* que l'on trouve principalement à la surface des feuilles.

Fig. 28

Les plantes associent les éléments de l'air et du sol au cours de la photosynthèse, le feu les dissocie lors de la combustion



Nous connaissons les racines. Si nous y regardons de près, nous voyons des "poils absorbants". Les poils sucent l'eau du sol qui contient un peu de sels minéraux. Les sels minéraux aspirés par les racines sont conduits dans tous les organes de la plante.

On connaît beaucoup moins les stomates. Ce sont de très petites ouvertures, en forme de bouche, qui se trouvent à la surface des feuilles. Elles s'ouvrent et se ferment en fonction des circonstances climatiques. C'est à travers les stomates que les plantes aspirent l'air. Une partie du gaz contenu dans l'air est utilisée par les feuilles pour constituer les substances vivantes des plantes et en particulier les sucres.

Les substances fabriquées à partir du gaz aspiré à travers les stomates se combinent avec les sels minéraux puisés par les racines en vue de fabriquer les matières vivantes de la plante. Cette "cuisine" très complexe se fait avec l'aide de la lumière qui fournit l'énergie nécessaire.

Lorsqu'on brûle la matière vivante, on sépare les éléments. Ceux qui avaient été aspirés dans l'air y retournent sous forme de fumée. Ceux qui ont été puisés dans le sol, les sels minéraux, restent sur place sous forme de cendres. L'eau qui était dans les organes de la plante est, pour sa part, évaporée en même temps que la fumée.

C'est ce qui explique que les cendres soient salées.

L'usage modéré des cendres peut être utile pour la fertilisation. Mais elles peuvent saler le sol lorsqu'on les emploie de façon immodérée.

Pourquoi l'eau du sol est-elle salée?

L'eau de pluie qui tombe du ciel ne contient quasi pas de sel. Elle est douce. Par contre, l'eau des ruisseaux, des rivières, des lacs, des océans est plus ou moins salée. Celle des nappes d'eau souterraines dans lesquelles on creuse les puits l'est aussi. C'est donc au contact du sol que l'eau devient salée.

- ❑ Lorsqu'elle ruisselle, elle dissout une partie du sel contenu dans le sable, l'argile, les cendres ou les matières organiques en cours de putréfaction.
- ❑ Lorsque l'eau de ruissellement, légèrement salée, s'accumule dans un lac, elle s'évapore sous l'effet de la chaleur et des vents secs. La vapeur d'eau n'emporte jamais de sel avec elle. Elle le laisse donc sur place dans le lac. Cela se passe comme dans l'assiette déposée sur le brasero (photo 29). L'eau versée dans l'assiette était légèrement salée. Lorsqu'elle aura disparu en vapeur, il restera quelques cristaux de sel au fond de l'assiette.



Après évaporation complète de l'eau, on trouve les cristaux de sel au fond de l'assiette.

29

- L'eau qui s'infiltre à travers le sol dissout aussi un peu de sel et l'emporte avec elle. C'est un lessivage comparable à celui de notre productrice de sel de la photo 25. Le sel s'accumule donc avec l'eau dans les nappes d'eau souterraines. On comprend alors que si on fore un puits, l'eau qu'on y trouvera contiendra du sel.
- Une autre explication de la salinité de l'eau du sol ou du sous-sol peut être comprise sur la photo 30. Le puits qu'on y voit est alimenté directement par l'eau de la mer se trouvant à quelques centaines de mètres de là. Cette explication vaut principalement en bordure des océans et de certains grands lacs actuels ou anciens.



30

L'eau de ce puits provient de la lagune salée qu'on voit à l'arrière de la photo.

Que conclure de ces observations?

Tirons quelques conclusions de ce que nous venons de voir.

- D'abord, que l'eau peut emporter les sels contenus dans le sol. C'est pour cela que la femme laisse couler l'eau dans son filtre. On dit que l'eau qui traverse la masse de terre filtrée "lessive" le sol. Cela se passe aussi dans la nature elle-même. Dans certains cas, l'eau traverse des roches salées. Des sels dissous se retrouvent alors dans les sources.
- Ensuite, on peut dire que l'eau qui s'évapore ne peut pas entraîner avec elle les sels qu'elle contient. Elle les laisse dans les bassines chauffées au moment où elle s'évapore.

Dans la nature, l'eau qui s'évapore à la surface du sol laisse aussi sur place les sels qu'elle contient. C'est ce qui explique les dépôts de sel que nous avons vus sur le haut de la diguette (photo 21) ou des billons (photo 23).

- Plus le feu est puissant sous la marmite, plus vite l'eau sera évaporée. De même, lorsque le soleil frappe directement le sol, comme c'est le cas du côté droit de la diguette, il l'échauffe. Cela accélère l'évaporation et, en conséquence, le dépôt de sel augmente.

Par contre, l'échauffement est moindre à gauche de la diguette, sous les feuilles de gombos. L'évaporation est donc moindre elle aussi, ainsi que le dépôt de sel à la surface du sol.

L'eau, le sel, le feu: les trois auteurs de la salinisation du sol

Voici un champ de pommes de terre irrigué par aspersion (photo 31). L'aspersoir fonctionne en plein midi. L'eau qu'il disperse est légèrement salée. Dès qu'elles sont envoyées en l'air, les gouttelettes commencent à s'évaporer. L'eau qui reste dans les gouttelettes et qui tombe sur les feuilles est donc déjà plus salée que l'eau sortant de l'aspersoir. Ce phénomène de concentration du sel dans les gouttelettes est accentué s'il fait chaud et sec.



31

*L'irrigation par aspersion avec de l'eau salée conduit à brûler la culture arrosée.
On voit les plants de pomme de terre brûlés au milieu de la parcelle.*

Quand elle est déposée sur les feuilles de pomme de terre, l'eau continue de s'évaporer. Elle laisse donc le sel qu'elle contient à la surface des feuilles et sur le sol. Regardez la photo 31. Les plants sont brunis dans un cercle tout autour de l'aspersoir. C'est comme si le cultivateur du champ avait empoisonné ses propres cultures!

Les cendres et les engrais minéraux contiennent des sels comparables à ceux que la femme extrait avec son filtre.

Pensant que les cendres et les engrais pouvaient fertiliser ses oignons, un cultivateur en a appliqué une bonne dose sur la parcelle irriguée, avant de semer les oignons. Puis, il a régulièrement irrigué avec l'eau de la rivière (photo 32).

Les résultats le déçoivent sans qu'il ne s'explique pourquoi. "J'ai tout fait pour fertiliser et arroser, mais je n'ai pas de bons résultats", dit-il.



32

Cendres, engrais et sels minéraux naturels additionnent leurs effets toxiques.

Pourtant, il y a une première explication. Cet homme a salé son champ. Il a combiné quatre sources de sel:

- les sels qui se trouvent naturellement dans le sol;
- les sels contenus dans les engrais chimiques;
- les sels inclus dans les cendres;
- les sels dilués dans l'eau d'arrosage.

Avec tout cela, comment les oignons ne seraient-ils pas malades du sel?

De nombreux maraîchers se plaignent de la salinisation de leurs terres. Mais en fait, ils en sont eux-mêmes partiellement responsables.

Voici une terre qu'on prépare pour en faire du maraîchage (photo 33). Le premier acte du maraîcher est de brûler la végétation qui y pousse et les déchets végétaux accumulés sur le sol. Ces déchets sont donc transformés en cendres. Or, celles-ci ne sont rien d'autre que des sels. Les moindres traces de débris végétaux ont été ratissés et brûlés.



33

Le feu participe à la salinisation des terres.

Ensuite, il a complètement nettoyé les parcelles et y a creusé des poquets dans lesquels il a repiqué des plants d'aubergines (photo 34). Chaque jour, les poquets sont arrosés avec un peu d'eau provenant d'un puits voisin légèrement salé.

Voilà encore un homme qui a tout fait pour empoisonner ses aubergines à coup de sel. Exposés en plein soleil, les poquets sont rapidement asséchés par évaporation et, au fil des jours, la proportion de sel augmente dans le sol autour des racines. Le résultat est lamentable (photo 35). Après quelques semaines, les feuilles sont jaunâtres, épaissies et cassantes. Un bon nombre d'entre elles sont tombées sur le sol. Le plant est resté nain au lieu de se dresser. La production de fruits est nulle.



34



35

Si l'eau d'arrosage est salée, il faut être particulièrement économe et éviter l'exposition des cultures au soleil et aux vents.

Les méfaits de la salinité des sols

Les plantes se nourrissent de sels minéraux. Chaque espèce les puise dans le sol à sa façon. Elle choisit la proportion exacte de chacun des sels dont elle a besoin.

Parmi les sels dont les plantes se nourrissent, on distingue ceux dont elles ont besoin en grandes quantités, ce sont les *macro-éléments*, de ceux dont elles ont besoin en petites quantités, ce sont les *micro-éléments* ou *oligo-éléments*. Pour qu'une espèce se développe correctement, il faut que ses racines trouvent ces éléments minéraux dans une proportion plus ou moins équilibrée.

Il se peut que certains de ces éléments soient trop abondants dans le sol, ou qu'au contraire, ils soient insuffisants pour satisfaire aux besoins des plantes. Dans le premier cas, il y aura empoisonnement ou *intoxication* des plantes, dans le second, il y aura *carence*.

Macro- et micro-éléments les plus caractéristiques pour la nutrition des plantes

- ❑ Certains éléments sont nécessaires en grandes quantités: *azote, phosphore, potasse*.
- ❑ D'autres éléments sont nécessaires en quantités minimales: *fer, magnésium, molybdène, bore, calcium, soufre, manganèse, zinc, cuivre*.

Les méfaits de la salinité trop élevée des terres se manifestent sur la vie du sol et sur la vie des plantes.

- ◆ Les **effets sur le sol** se manifestent par la *disparition de la vie microbienne* qui a comme conséquence la *dégradation de sa structure*. Les organismes qui vivent dans le sol sont en effet empoisonnés par la trop grande proportion de sel. Or, ce sont ces organismes qui sont responsables de la structuration du sol et de sa fertilité organique.

Lorsque la vie du sol disparaît, le sol devient *plus compact*. Les racines des plantes y pénètrent moins facilement, l'eau a plus tendance à ruisseler qu'à s'infiltrer, la remontée capillaire de l'eau peut augmenter, avec comme conséquence une plus forte évaporation de surface.

La dégradation de la structure du sol peut être suivie de transformations chimiques ou physiques. Des cailloux ou des cristaux peuvent se former. La salinisation peut s'accompagner d'une acidification, elle aussi défavorable à la vie microbienne et aux plantes.

- ◆ Les **effets sur les plantes** sont principalement ce qu'on appelle la *sécheresse physiologique*. Les plantes dont les organes sont envahis par le sel ont besoin de beaucoup d'eau. Mais elles ne la trouvent pas nécessairement à proximité des racines. Elles souffrent donc de la soif comme nous en souffrons si nous avalons une cuiller de sel.

Parfois, il y a assez d'eau dans l'environnement des racines, mais cette eau est retenue par les sels accumulés dans le sol et les racines rencontrent des difficultés pour puiser cette eau.

La sécheresse physiologique explique en grande partie les manifestations que l'on observe sur les plantes: flétrissements prématurés des organes, croissance ralentie, nanisme, brûlure des feuilles, déformations et décoloration, chute prématurée des fruits (coulture), affaiblissement de la résistance aux parasites.

Les signes d'intoxication

- ❖ flétrissement anormal ou prématuré des organes,
- ❖ croissance ralentie ou nanisme de la plante,
- ❖ brûlures au feuillage, nécroses périphériques des feuilles, déformations diverses,
- ❖ colorations anormales des feuilles: bleutées, rougeâtres, ou grisâtres,
- ❖ floraison ou fructification anormale, chute prématurée des fruits (coulture),
- ❖ diminution de la qualité des fruits, fruits insipides,...

Les carences

Nous avons parlé des maladies dues aux excès de sels qui empoisonnent les plantes. Mais il y a aussi des maladies qui sont dues au manque de certains sels indispensables à la croissance. On les appelle maladies de carences.

Pour se nourrir, les plantes ont besoin de plusieurs sels, certains en abondance, d'autres en quantités minimales. Nous aussi, nous devons consommer certains éléments en grandes quantités, comme les féculents ou les graisses, et d'autres en quantités très faibles, comme le sel de cuisine ou les vitamines.

Il est fréquent que les plantes cultivées manquent de l'un ou l'autre sel très spécifique et que cela se manifeste par divers symptômes: décoloration des feuilles, chlorose ou mort prématurée, raccourcissement des entre-nœuds sur les tiges, rabougrissement des tiges, chute prématurée des fruits, faiblesse de la floraison, etc. Le plus souvent, les carences apparaissent dans les parcelles dont le sol est appauvri.

La photo 36 nous montre des symptômes de carence assez fréquents. Le limbe des feuilles est décoloré et se dessèche alors que les nervures restent bien vertes. De tels signes sont souvent la manifestation d'un manque de potassium.

La détermination des carences est toujours quelque chose de très difficile, même lorsqu'on dispose de laboratoires spécialisés. Les luttes possibles en milieu paysan sont principalement l'application

Les signes de carences

- ❖ décoloration des feuilles, enroulements, mort prématurée,
- ❖ marbrures des limbes foliaires,
- ❖ croissance ralentie de la plante ou arrêt de croissance,
- ❖ entre-nœuds raccourcis, plantes rabougries,
- ❖ floraison peu abondante,
- ❖ chute prématurée des fleurs ou des fruits,
- ❖ diminution de la qualité des fruits, fruits insipides,...

Les signes de carences se confondent souvent avec les symptômes de maladies virales.



36

Les signes de carences se manifestent sur les plantes lorsqu'elles manquent de certains sels minéraux.

des méthodes de fertilisation des sols: utilisation du fumier animal et végétal, plantes fertilisantes, mise en jachères, épandage de cendres, etc. Si la priorité va en général à la fertilisation organique, certains engrais chimiques peuvent aussi compenser les carences, à supposer qu'on dispose des moyens d'analyse chimique du sol pour bien déterminer l'engrais nécessaire.

Lutter contre les maladies dues aux sels

L'empoisonnement par les sels minéraux, ou au contraire les carences, sont à l'origine de nombreuses maladies chez les plantes. Elles se manifestent le plus souvent sur des sols infertiles. Elles sont parfois le signe de la dégradation de la fertilité suite à de mauvaises pratiques culturales.

Là où il existe des laboratoires d'analyse pédologique, on peut obtenir des indications précises sur les excès ou les manques de minéraux qui déterminent les maladies de la malnutrition. Il est possible alors de corriger la composition en apportant des engrais spécifiques.

Mais les combinaisons optimales d'engrais chimiques sont très difficiles à découvrir, surtout dans les exploitations familiales où la polyculture est de règle. En effet, ces combinaisons dépendent aussi bien de la qualité des sols que des plantes qui y sont cultivées. Il se peut par exemple qu'une variété de riz s'adapte dans un sol salé, alors qu'une autre ne résiste pas à la salinité du sol. Une carence en bore ou en potasse peut apparaître sur une espèce cultivée et en réduire la production, alors que rien n'apparaît sur les pieds d'une autre espèce.

Cela veut donc dire que pour lutter contre les maladies dues au sels, il n'y a pas de recettes toutes faites établies en laboratoires de recherche et qui seraient applicables en toutes circonstances.

C'est donc à la recherche d'équilibres globaux entre les facteurs écologiques et agricoles que nous allons nous intéresser. Les climats et la végétation tropicale sont très actifs. Essayons de voir comment faire pour que leur activité soit mise au service de la lutte contre la salinité des terres et en particulier de la couche arable dans laquelle se développent les racines. Le tableau ci-contre relève les différents points d'une stratégie d'ensemble.

Quelle stratégie pour la lutte contre la salinité des sols et les maladies des plantes dues au sel?

- ❖ économiser l'eau,
- ❖ créer des microclimats,
- ❖ adapter les pratiques agricoles,
- ❖ promouvoir la fertilisation organique,
- ❖ assurer un bon drainage du sol,
- ❖ éviter les apports excessifs d'engrais minéraux.

Economiser l'eau de la couche arable

Nous avons vu les rapports complexes qui lient l'eau et les sels minéraux. Nous en connaissons les différents mouvements. Ce qui nous intéresse, lorsqu'il y a des problèmes de salinité, c'est surtout de contrôler ce qui se passe dans la couche arable, là où se nourrissent les plantes. Comment faire?

A proximité de la terre brûlée par le feu et le sel que nous a présentée la photo 33, une cultivatrice a établi ses **poquets** (photo 37). Ils sont profonds et la terre a été disposée en cercle tout autour pour former des petites buttes. Elle a déposé du fumier au fond des poquets. Le résultat est meilleur que sur un labour à plat pour plusieurs raisons:



37

Des poquets profonds et enrichis de fumier organique pour favoriser l'économie d'eau.

- * les jeunes plants sont un peu mieux protégés contre les effets du vent dont l'intensité est moindre au fond des poquets;
- * mais surtout, le **fumier** rend plus difficile l'évaporation de l'eau d'arrosage. Il faut donc arroser moins souvent et, de cette façon, on apporte moins de sel;
- * l'eau déversée dans les poquets s'infiltre à travers le fumier sur une assez grande profondeur et les rayons solaires l'atteignent peu.



38

Le planage des planches de culture peut, dans certains cas, favoriser la salinisation du sol.

Dans cette pratique, le lessivage des sels prédomine sur la remontée capillaire.

Cela peut être le contraire sur la parcelle planée qu'on voit sur la photo 38. Là, l'eau s'étale et s'infiltre. En surface, le sol est trié et compacté. Les pores du sol sont rendus plus fins par l'eau d'arrosage.

Dès que les rayons du soleil frappent, l'eau se trouvant dans la pellicule

superficielle s'évapore et cette dernière a tendance à sécher. L'eau qui se trouve juste en dessous a, elle, tendance à remonter par capillarité et à s'évaporer en déposant le sel qu'elle a pu dissoudre un peu plus en profondeur. Ce phénomène importe surtout lorsque l'eau d'arrosage contient du sel, puisque ce sel est constamment ramené en surface.

La présence des matières organiques végétales ou animales est évidemment de première importance du point de vue de l'évaporation. Voici une planche de culture dont le planage a été déficient puisqu'il accuse une pente vers la droite (photo 39). L'eau d'arrosage y a ruisselé et a entraîné vers la droite le peu de matières organiques se trouvant en surface.



39

Lorsque la planche n'est pas parfaitement plane et horizontale, l'eau de pluie ou d'arrosage s'accumule par endroits.



40

Sous la paille, ce maraîcher enregistre 15 degrés de moins sur son thermomètre que sous la surface nue exposée au soleil.

Après exposition en plein soleil, il est facile de constater la différence de température et d'évaporation entre la partie haute et la partie basse de la planche. Si on applique la main, on constate qu'en haut, la terre est franchement chaude et craquelée, et qu'en bas, elle est moins chaude et plus humide. Les phénomènes d'évaporation et de remontée éventuelle du sel sont manifestement plus accentués dans la partie haute que dans la partie basse.

On peut facilement mesurer ces différences au moyen de thermomètres, comme le fait ce maraîcher à l'heure de midi (photo 40). L'un est planté à 5 centimètres de profondeur, là où le sol est nu; l'autre est planté de la même façon sous un couvert de paille. La différence de température est de 15° C. C'est dire que l'évaporation est beaucoup plus active dans la partie nue, et que par conséquent la salinité le sera aussi (s'il y a un risque dans ce sens).

Couvrir le sol en vue de diminuer son échauffement: voilà un moyen efficace de lutte contre la salinité. Peu de chose suffit: un peu de paille, quelques coques d'arachides, des balles de mil ou n'importe quelle autre matière organique (photo 41). Même un lit de cailloux peut servir.

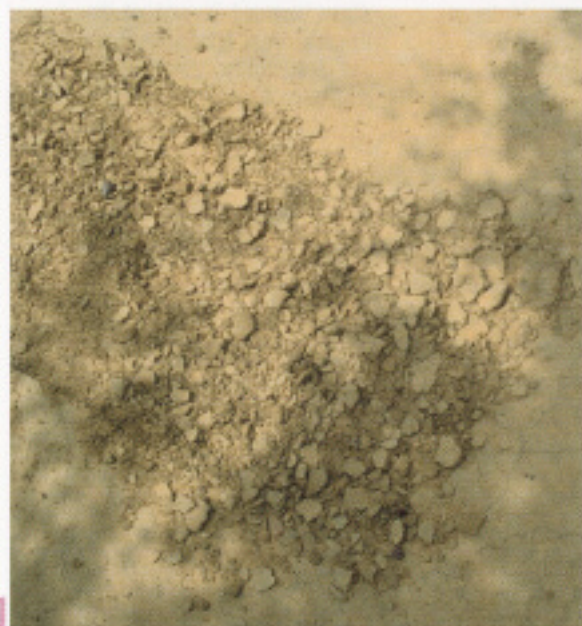
Ces matières ont les pouvoirs suivants.

- ❑ Elles *brisent les rayons* du soleil; ceux-ci n'ont pas directement accès au sol lui-même. Elles empêchent donc la montée de température de la couche superficielle dans laquelle se développe la racine des jeunes plants.
- ❑ Elles *brisent les vents* qui frôlent le sol et réduisent donc la quantité de vapeur d'eau emportée par eux.
- ❑ Elles *brisent la continuité des pores* du sol. Or, c'est cette continuité qui fait que l'eau du sol remonte des couches plus profondes vers la surface, et s'y évapore (figure 43).



41

Toutes sortes de déchets végétaux servent à recouvrir les planches des cultures. La terre est généralement plus humide sous la matière organique que là où elle est nue. La salinité y est moindre.



42

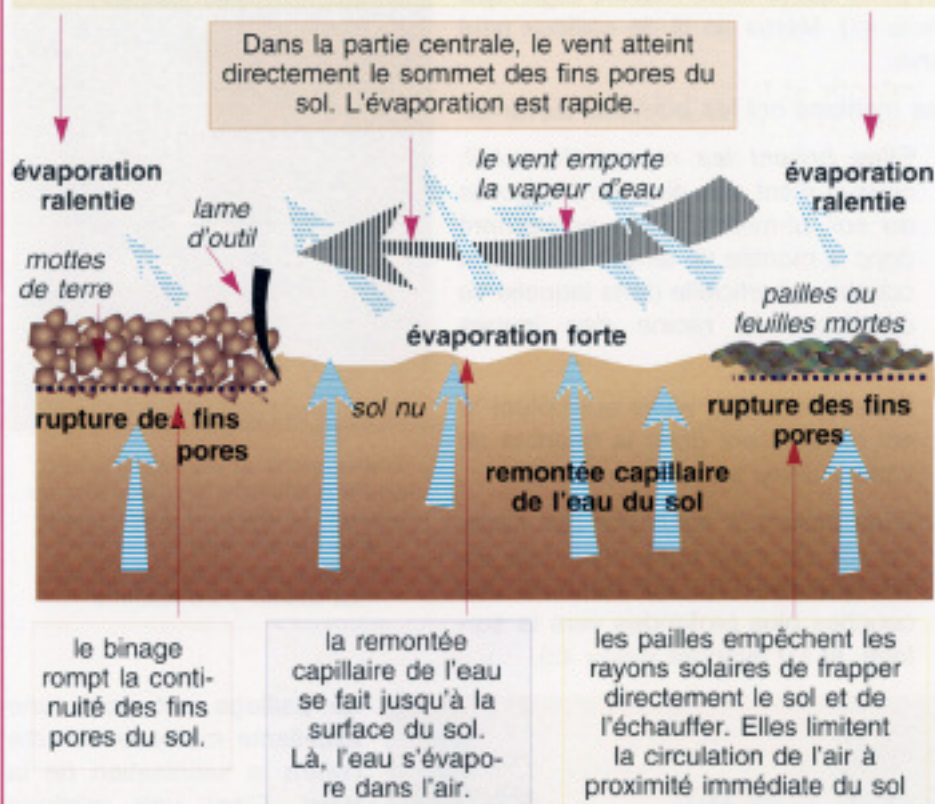
Le paillage est donc une excellente méthode de lutte contre la salinisation de la terre. C'est une pratique agricole qui agit sur le microclimat et la vie du sol.

Le **binage** est lui aussi efficace pour diminuer l'évaporation à la surface du sol. C'est ce que montrent la photo 42 et la figure 43.

Le binage brise la continuité des fins pores du sol et permet de diminuer l'évaporation à la surface de celui-ci.

Fig. 43 Rompre les pores du sol pour limiter l'évaporation

Dans les deux parties latérales, à gauche et à droite, la remontée capillaire de l'eau du sol est interrompue. De plus, le vent n'atteint pas directement le sommet des pores fins du sol. L'évaporation est donc limitée.



Créer des microclimats

Des femmes malignes utilisent de vieilles bassines percées pour protéger leurs jeunes plants (photo 44). Là, elles n'ont à arroser qu'un jour sur trois ou quatre, surtout si elles prennent soin de disposer assez de fumier ou de paille dans les poquets, sous les bassines percées. La même protection pourrait se faire avec des paniers tressés, ou des levées de terre comme sur la photo 37: pourquoi ne pas fabriquer de tels moyens de protection plutôt que d'attendre l'usure des bassines de grand-mère?

Ces femmes nous présentent, en petit, tous les éléments d'une lutte efficace contre la salinité. Ce qu'elles font avec leurs vieilles bassines, on peut, en effet, l'imaginer à l'échelle des champs, avec des arbres et des haies, comme le montre la figure 47. Les principes sont les suivants:

- ❑ **fumer le sol** avec des pailles, des débris végétaux, du compost ou du fumier animal,
- ❑ **ombrager les champs** afin de diminuer la température des sols,
- ❑ **ralentir et faire s'élever les vents** au moyen d'arbres disséminés et de brise-vent,
- ❑ si le sol et l'eau d'arrosage sont salés, éviter d'utiliser des cendres ou des engrais minéraux comme fertilisants. On leur préfère des engrais organiques, végétaux ou animaux.

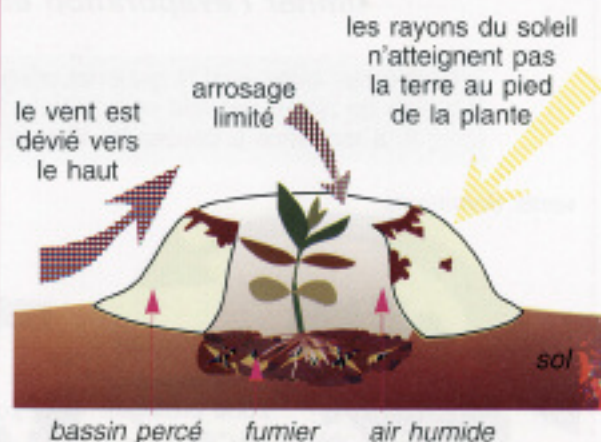
Voici un jardin multiétagé cultivé par des femmes (photo 48). Dès qu'on y pénètre, on sent la fraîcheur. Aucune portion de sol n'est exposée en permanence au soleil. L'ombrage est changeant selon les heures de la journée. Dans cette parcelle, la quantité d'eau d'arrosage nécessaire chaque jour pour les légumes est à peu près la moitié de celle qu'il faut dans les planches voisines, non protégées par les arbres. Là où un arrosage par jour suffit dans le jardin multiétagé, il en faut parfois deux dans les parcelles voisines. C'est donc moins de sel qui est amené puisqu'il y a moins d'arrosages.



44

Avec un peu d'imagination, on peut utiliser ce qu'on a sous la main pour protéger les légumes. Ainsi, ces vieilles bassines trouées gardent-elles l'humidité autour des jeunes pousses.

Fig. 45 Une gestion économe de l'eau



Sous le bassin, au pied de la plante, il y a un microclimat frais et humide profitable à la plante. Les êtres vivants dans le sol sont actifs. Le vent est dévié et l'évaporation est faible. C'est pourquoi les arrosages sont limités.

Un tel microclimat peut être obtenu par d'autres moyens: feuille plastique, paillage, mulch ou tout autre matériau recouvrant le sol.

L'humidité de l'air est d'ailleurs plus grande sous les arbres. Ceux-ci vont chercher de l'eau dans les couches profondes du sol et l'évaporent dans le jardin, par transpiration. Comme l'air est plus humide, il capte moins de vapeur à la surface des planches et des feuilles de légumes (figure 47).



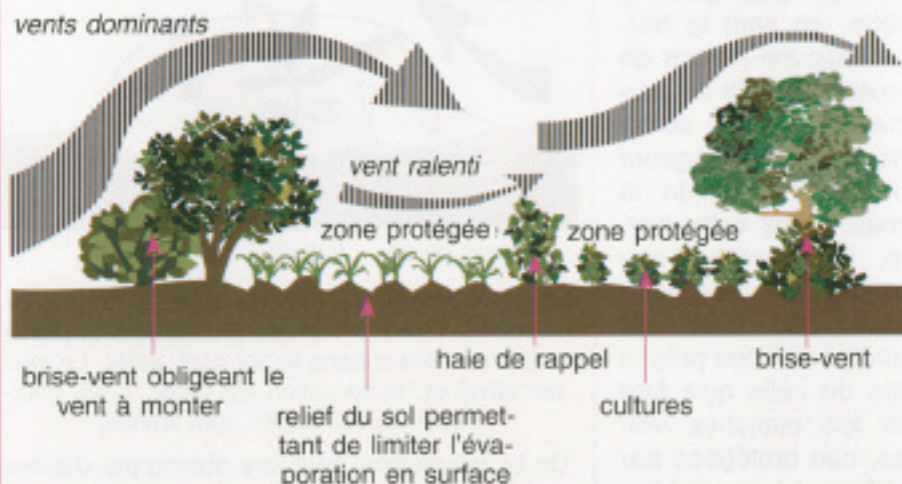
46

Créer un microclimat frais au moyen d'arbres et de plantes utiles, afin de diminuer l'évaporation à la surface du sol.

Fig. 47

Protéger les parcelles cultivées pour limiter l'évaporation et la salinisation

Le premier brise-vent (à gauche) oblige le vent à remonter. La haie de rappel renvoie vers le haut l'air en mouvement qui a tendance à descendre vers la surface du sol.



C'est un ensemble de mesures qui permettent de protéger une parcelle contre la salinisation du sol. Il y a les mesures d'aménagement général, comme la construction de brise-vent et l'organisation du drainage, et des mesures liées aux pratiques agricoles, telles que le billonage, la plantation en poquets, le paillage, etc.

Organiser le lessivage des sols salins

Des pratiques favorisant le drainage

La première chose à faire est évidemment d'éviter de saler nous-mêmes nos sols. Nous allons voir comment plus loin.

Mais il y a aussi ce qu'on peut faire pour diminuer la quantité de sel présent dans le sol occupé par les racines des plantes.

Nous pouvons revenir un instant chez la femme qui filtre l'eau du bas-fond, pour en extraire le sel (photo 25). L'eau qui traverse la terre placée dans son filtre entraîne le sel. Cette terre est donc lessivée. Certaines pratiques agricoles favorisent le lessivage.

Voici, par exemple, une pépinière établie sur une table (photo 48). Lorsqu'on l'arrose, l'eau traverse le sol exactement comme elle traverse le filtre de la femme.



Drainer la terre d'une pépinière en la disposant sur une table

L'homme que nous voyons avec son kayendo (photo 49) est en train de former de hautes buttes dans une parcelle de terre salée. Lorsque la pluie viendra, elle s'infiltrera à l'intérieur des buttes. Elle y lessivera une partie des sels et ceux-ci se retrouveront dans les sillons. Il suffira donc de laisser s'échapper l'eau salée vers l'extérieur de la parcelle par un canal approprié. C'est une méthode traditionnelle qui permet de cultiver du riz dans des terres qui bordent l'océan Atlantique, malgré leur salinité.



Il y a une différence avec ce que nous avons vu sur les photos 21 et 23. Là, l'eau salée montait dans les billons et provoquait la salinisation des sommets au moment de l'évaporation. Ici, c'est l'eau non salée de la pluie qui lessive les buttes salées.

Permettre à l'eau de pluie de lessiver les billons qui seront ensemencés en riz.

Le drainage de l'eau de pluie qui lessive les buttes est facilité par le fait que les pailles ont été placées à leur pied, avant de monter la terre. C'est d'ailleurs ce même principe que nous voyons appliqué à la photo 50. Les planches de culture sont établies sur la paille. Cela facilite le drainage, et donc le lessivage du sol. Mais il y a un revers. Comme elles sont bien drainées, les planches risquent de s'assécher facilement.



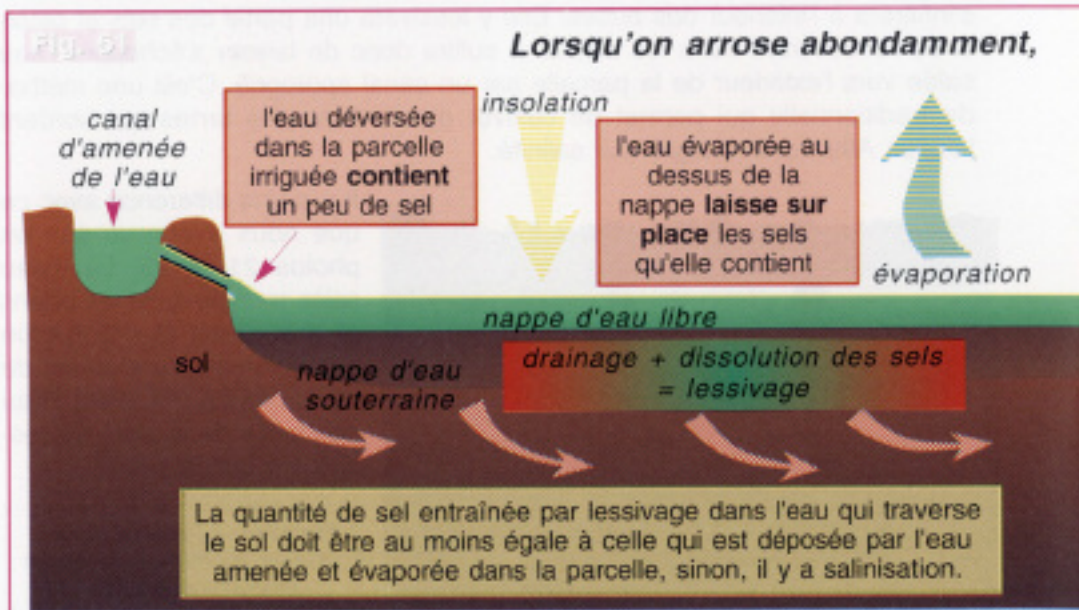
50

La présence de paille sous le sol de la planche favorise le drainage et la désalinisation du sol.

Le pépiniériste, l'homme au kayendo ou le jardinier ayant établi la planche sur la paille nous apprennent comment lessiver un sol salin, en le drainant. **Drainer**, c'est permettre à l'eau de quitter le sol où elle se trouve en excès.

Drainer les terres irriguées par ruissellement

La salinisation des terres est souvent plus caractéristique dans les parcelles irriguées, surtout lorsque l'irrigation se fait en nappe, dans les bas-fonds. Cela se comprend, puisque l'eau est exposée au soleil durant de longues heures et que l'évaporation est forte.

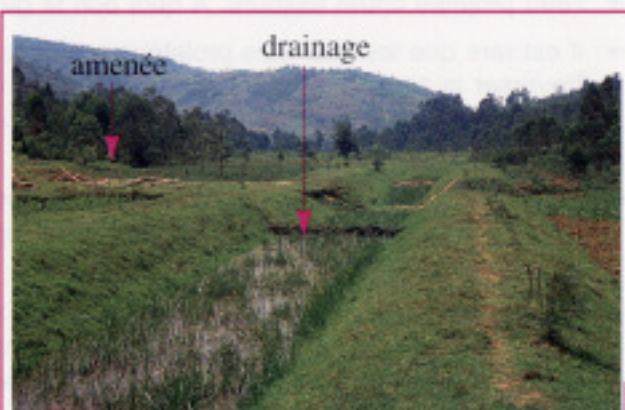


Une première mesure à prendre est de limiter le temps d'exposition de l'eau au soleil, par exemple en irrigant le soir ou la nuit plutôt qu'en plein jour. De cette façon, l'eau a le temps de pénétrer dans le sol avant d'être exposée aux fortes chaleurs de la journée.

Souvent, l'eau déversée dans les parcelles irriguées contient de légères quantités de sel. A la longue, s'il n'y a aucun lessivage du sol, ce sel se concentre dans la couche arable, provoquant chez les plantes des maladies de salinité.

C'est pourquoi, tout aménagement d'irrigation doit prévoir aussi bien l'arrivée d'eau dans le sol, que son départ. Irrigation et drainage doivent toujours aller ensemble. Si on arrose en oubliant de drainer, on a beaucoup de chance d'augmenter les proportions de sel dans le sol occupé par les racines des espèces cultivées. C'est dire que les quantités d'eau déversées dans un casier irrigué devraient toujours être un peu supérieures à ce qui est nécessaire pour saturer le sol en eau.

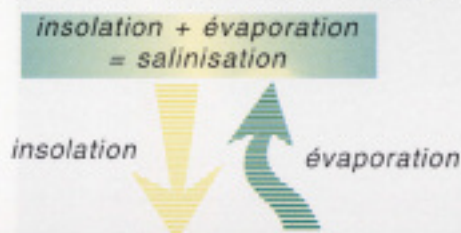
Le *périmètre rizicole* que nous voyons sur la photo 52 est correctement conçu. L'eau arrive par le haut et s'épand dans la rizière. Elle traverse lentement le sol et se dirige vers le canal de drainage situé juste en contrebas.



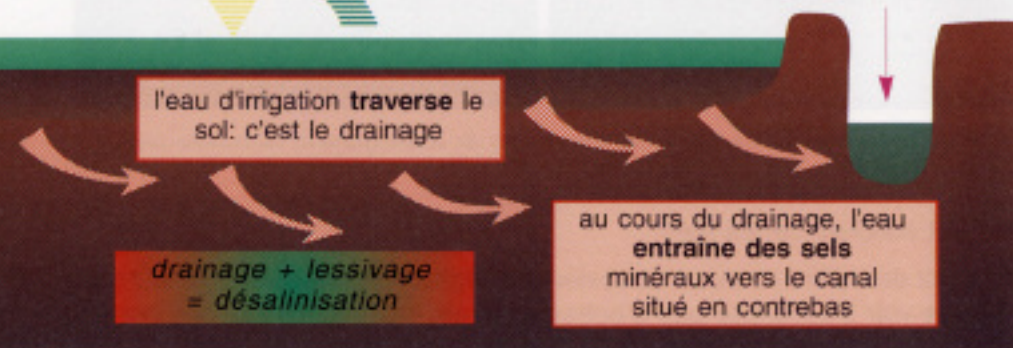
52

En haut: le canal d'amenée de l'eau.
En bas, le canal de drainage.

il faut aussi drainer correctement



dans le canal de drainage, l'eau est plus salée que dans le canal d'amenée de l'eau



De là, elle s'échappe en dehors du périmètre. Le riz s'abreuve donc dans une *nappe* d'eau en léger mouvement, pas dans une *nappe totalement stagnante*. C'est ce que montre la figure 51.

Sur les parcelles irriguées par aspersion

L'eau qui est projetée par les asperseurs contient toujours du sel. Parfois, le contenu en sel est négligeable, mais dans d'autres cas, il est conséquent. C'est donc avec attention qu'il faut contrôler ce contenu en s'adressant aux laboratoires spécialisés.

Mais quel que soit le contenu en sel de l'eau, on a toujours avantage à bien doser l'eau en faisant attention aux points suivants:

- l'eau projetée coûte toujours. A quoi bon la gaspiller?
- il est rare que les quantités projetées soient assez abondantes que pour traverser la couche arable. Il n'y a donc pas de lessivage. Toute quantité de sel projetée avec l'eau d'aspersion va donc s'accumuler dans cette couche, si minime soit-elle;
- au cours de l'aspersion, les gouttelettes sont projetées dans l'air. Une partie de l'eau s'évapore. Il y a donc concentration de sel dans les gouttelettes projetées, au cours de leur chute.
- l'eau projetée tombe à la surface des feuilles. Là, elle continue de s'évaporer en y déposant le sel qu'elle contient. Nous avons vu à la photo 31 la brûlure que cela peut occasionner aux cultures.



53



54

L'irrigation par aspersion comporte des risques de salinisation de la couche arable du sol si l'eau est saline.

On peut conclure ce qui suit:

- avant de mettre en place un système d'irrigation par aspersion, il faut toujours voir s'il n'existe pas d'autres solutions techniques plus économes en eau et moins risquées sur le plan de la salinisation du sol;

- l'aspersion ne doit jamais se faire en plein soleil; on la pratique à la tombée de la nuit ou, éventuellement, très tôt dans la matinée.

Améliorer la fertilité et la structure du sol

Il se peut que l'empoisonnement des plantes par le sel ou les carences alimentaires apparaissent sur des sols naturellement déséquilibrés. Mais le plus souvent, la cause se trouve dans une mauvaise exploitation de la terre et de l'eau agricole. Relevons quelques-unes des causes directes de la salinisation pouvant provenir des modes d'exploitation:

- ★ *surexploitation* des sols par des cultures sans alternance,
- ★ *destruction de la structure* du sol favorisant soit le lessivage des minéraux, et en particulier des oligo-éléments, soit le dépôt de sel par suite d'évaporation accrue;
- ★ *stagnation de l'eau*, absence de drainage, *disparition de l'air* dans les pores du sol;
- ★ *apports excessifs d'engrais minéraux*. Le tableau ci-contre relève les problèmes de salinisation liés aux fumures minérales.

L'épandage de cendres est lui aussi un apport d'engrais minéral. Il n'est dangereux que lorsque les quantités disposées au pied des plantes sont très importantes.

Toutes les pratiques qui permettent de lutter contre ces causes sont intéressantes. Nous venons déjà d'en voir quelques-unes.

Quels sont les risques de la fumure minérale?

L'épandage excessif ou mal contrôlé d'engrais minéral peut avoir trois types de conséquences sur l'évolution du sol:

- ↪ si la couche arable n'est pas bien drainée, les résidus d'engrais non consommés par les plantes peuvent s'accumuler dans cette couche et créer un déséquilibre minéral défavorable aux plantes cultivées;
- ↪ l'engrais favorise le développement des plantes de culture pour lesquelles il est appliqué. Mais il ne comporte que quelques éléments fertilisants, tels que l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium. Les plantes étant très actives grâce à ces éléments principaux, elles puisent abondamment les oligo-éléments qui, au contraire, sont très faiblement présents dans le sol, par exemple le bore, le molybdène, le zinc, etc. Il en résulte qu'au bout de quelques saisons culturales, ces éléments soient épuisés dans la couche arable. Des carences peuvent donc apparaître au cours des saisons suivantes;
- ↪ les éléments principaux comme l'azote, le phosphore et le potassium favorisent la croissance rapide des plantes cultivées. Mais ils activent aussi fortement l'activité microbologique dans le sol. La conséquence est que la structure du sol se détériore, facilitant les phénomènes d'évaporation et de ruissellement.

Mais la meilleure stratégie est toujours de rétablir la vie et la structure du sol en utilisant tous les végétaux utiles que l'on peut, en présence continue, comme des arbres ou des espèces herbacées pérennes, ou en successions saisonnières. Les espèces cultivées dont l'enracinement est peu profond sont souvent celles qui épuisent la couche arable parce que leurs feuilles, leurs fruits ou leurs tiges sont exportées en dehors du champ avec les sels minéraux qu'ils ont puisés dans cette couche. Les espèces pérennes à enracinements profonds sont par contre celles qui ramènent des minéraux en surface et qui les redistribuent sous forme de matières organiques. La combinaison d'espèces diverses dont certaines sont exploitées par l'homme pour sa consommation, et dont d'autres ont un rôle fertilitaire est à rechercher pour la lutte contre la salinité des sols.

On peut donc dire que la diversification des espèces et leur association judicieuse dans les parcelles de cultures se justifient pleinement dans la lutte contre les maladies des plantes dues au sel, qu'elles soient dues à des excès ou à des insuffisances de sel.

La *fertilisation organique* dans le cadre d'associations culturales n'offre évidemment pas de réponse généralisée. Mais elle est une *condition préalable à toute autre tentative*. Lorsqu'on est assuré de la fertilité organique et de la structure du sol, il devient plausible de rechercher d'autres voies plus précises au cas où les symptômes de maladies nutritionnelles continuent d'apparaître.

Eviter d'ouvrir les terroirs à tous vents

Dans le *Carnet Ecologique* n°4 intitulé "Sable, sel et feu dans les rizières", on a étudié l'évolution de terroirs riches en eau et de rizières soumis à diverses influences nocives: feux et coupes abusives du bois, abattages intempestifs des arbres fruitiers, contrôle insuffisant des cultures de décrue, etc. Tous ces facteurs nocifs conduisent inéluctablement à la salinisation des terres.

"A la découverte d'un écosystème" (*Carnet* n°5) montre comment le défrichement des bourgoutières, prairies herbeuses entourant les zones inondées par les débordements des grands fleuves comme le Niger, le Chari, la Bénoué, le Sénégal, pour y réaliser des cultures de décrues, pouvait être à l'origine de phénomènes de salinisation et d'acidification des sols.

De même, dans "Vent qui souffle, vent qui vole" (*Carnet* n°8) et dans "Ruisellement, érosion et fertilité" (*Carnet* n°6), on a montré comment les défrichements excessifs, en soumettant les terres aux vents et à la pluie, peuvent entraîner la latérisation des terres. La latérisation est un cas de salinisation par les sels de fer.

Ces titres complètent donc les informations contenues dans le présent *Carnet*.

Mais de toutes ces lectures, une conclusion s'impose naturellement. Les phénomènes climatiques ne peuvent jamais être maîtrisés par un seul individu ou un seul exploitant. Beaucoup ne peuvent être combattus qu'à partir d'une volonté collective s'exprimant sur plusieurs plans:

- * échanger, se former, faire des recherches nombreuses dans les champs afin de partager les connaissances paysannes,
- * s'organiser dans les groupements et les unions paysannes, et dans les collectivités rurales, pour une gestion des terroirs efficace quant à la lutte contre les phénomènes favorisant la salinisation des sols,
- * questionner les services techniques, la recherche, la documentation, en vue d'approfondir les savoirs relatifs à ces phénomènes.



Au Sénégal, paysans et techniciens étudient ensemble les caractéristiques et l'évolution de leur climat et de leurs terroirs. Ils tentent de mettre au point les règles de gestion de ces terroirs.



Lexique

Carence: insuffisance d'un ou de plusieurs éléments nécessaires à la nutrition des plantes.

Condensation: transformation de la vapeur d'eau en eau liquide.

Drainage: mouvement vertical ou latéral de l'eau dans le sol.

Evaporation: transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau.

Evapo-transpiration: somme de l'eau évaporée au-dessus d'une parcelle, soit à la surface du sol, soit à celle des feuilles.

Lessivage: entraînement des sels minéraux contenus dans un sol, par l'eau qui le traverse.

Oligo-éléments ou micro-éléments: éléments chimiques dont les plantes ont besoin en petites quantités pour leur nutrition.

Pores du sol: interstices entre les grains composant le sol.

Remontée capillaire: remontée de l'eau dans les très fins pores du sol, par suite du phénomène d'aspiration capillaire.

Salinisation du sol: forte augmentation de la proportion de sel dans le sol.

Saturation de l'air en eau: l'air est saturé lorsqu'il ne peut plus absorber de vapeur d'eau.

Stomates: ouvertures à la surface des feuilles par lesquelles se font la respiration et la transpiration des plantes.

Transpiration: échange de vapeur d'eau entre les plantes et l'air.

Intoxication: empoisonnement dû à la consommation trop forte de certaines substances toxiques.

Macro-éléments: éléments chimiques dont les plantes ont besoin en grande quantité.

Micro-climat: climat qui s'observe dans un espace réduit.

Relevé pédagogique

Trois états de l'eau observables dans la nature: liquide, solide et gazeux	p. 4
Evaporation et condensation: comment définir ces mots?	p. 4
Quels facteurs favorisent l'évaporation de l'eau?	P.5, 6 et 11, fig. 10
Comment réduire l'impact de ces facteurs?	p. 6, fig. 5
Quelles relations y a-t-il entre l'air et la vapeur d'eau?	p. 5 et 7
Qu'est-ce que la saturation de l'air	p. 7
Comment se forment les nuages, la pluie, la rosée, le brouillard?	p. 8 et 9, fig. 8
Estimer l'évaporation à la surface d'un lac ou d'une mare?	p. 10 et 11
Comment conserver au mieux des stocks d'eau?	p. 12
Comment les plantes transpirent-elles?	p. 13 et 17
Comment l'eau du sol s'évapore-t-elle?	p. 13
Qu'est-ce que l'évapo-transpiration?	p. 13
Pourquoi l'évaporation de l'eau rafraîchit-elle?	p. 14 et 15
A quoi sert la transpiration?	p. 15 à 17
Les symptômes d'empoisonnement des plantes par le sel?	p. 18 et 19
Comment l'irrigation peut-elle provoquer la salinisation du sol?	p. 20, fig. 22
Qu'est-ce que le lessivage du sol?	p. 22
Quels sont les mouvements des sels?	p. 23, fig. 27 et 28
Comment les plantes absorbent-elles l'air et les minéraux?	p. 23 et 24, fig. 28
Comment l'eau du sol se charge-t-elle de sel?	p. 25 et 26
Quels sont les facteurs de la salinisation des sols?	p. 27
Comment l'homme participe-t-il à la salinisation de ses terres?	p. 28 et 29
Les effets du sel sur le sol et sur les plantes	p. 30
Que sont les carences? Comment les reconnaît-on?	p. 31
Quelle stratégie adopter pour lutter contre la salinisation?	p. 32
Comment économiser l'eau du sol cultivé?	p. 33 à 37, fig. 43
Comment créer des microclimats?	p. 38, fig. 45 et 47
Pourquoi et quand faut-il drainer les parcelles?	p. 39 à 42, fig. 51
Pourquoi et comment améliorer la structure du sol?	p. 43
Quels sont les risques de la fumure minérale?	p. 43

Petite bibliographie

Ouvrages de Terres et Vie

dont certaines pages sont consacrées à la salinisation des terres:

- Agriculture tropicale en milieu paysan africain, Dupriez et De Leener, 282 pages, 670 illustrations.
- Les chemins de l'eau, ruissellement, irrigation, drainage, Dupriez et De Leener, 380 pages, 600 illustrations
- Jardins et vergers d'Afrique, 354 pages, 740 illustrations.

Les Carnets Écologiques ne disposent pas d'un service questions - réponses. Si toutefois vous nous écrivez, vos réflexions et vos questions pourront être reprises dans d'autres numéros. Pour plus d'informations, adressez-vous aux services locaux de votre pays. Vous pouvez aussi écrire aux adresses suivantes:

- **AGRECOL:** c/o Oekozentrum
CH-4438 Langenbruck
Suisse
- **CTA:** Postbus 380
NL-6700 AJ Wageningen
Pays-Bas
- **COTA:** rue de la Sablonnière, 18
1000 Bruxelles
Belgique
- **GRET:** rue La Fayette, 213
F-75010 Paris, France

Les Carnets Écologiques peuvent être traduits en langues nationales moyennant une autorisation écrite de l'éditeur. Des matrices en couleurs comprenant uniquement les photographies peuvent être obtenues pour l'impression de ces traductions.

carnets écologiques

collection de vulgarisation scientifique et technique destinée au milieu rural africain. Elle est animée par **Terres et Vie** sous la direction de Hugues Dupriez.



Avec la collaboration de
Patrick Dupriez, Zalugurha B.Tonton
et Michelle Favart.

Ce Carnet Écologique bénéficie de l'appui de l'Administration Générale de la Coopération au Développement (AGCD) de Belgique, de la Commission Européenne (DG VIII) et de l'ASBL Chemin Pays.

Composition et mise en page:
Terres et Vie.
Photographie: Terres et Vie
Imprimerie Guyot, Bruxelles, Belgique

ISBN: 2-87105-013-9

Les Carnets Écologiques suivants sont disponibles:

- n°1 Maladies et parasites des plantes cultivées
- n°2 L'arbre blessé
- n°3 L'agriculture multiétagée
- n°4 Sable, sel et feu dans les rizières
- n°5 À la découverte d'un écosystème
- n°6 Ruissellement, érosion et fertilité
- n°7 Questions autour d'un barrage
- n°8 Vent qui souffle, vent qui vole
- n°9 Du sel dans les jardins

