

LA SALINISATION DES TERRES DANS LE MONDE

Par Jean-Paul Legros

MOT-CLES sol salé, solonchak, sol sodique, solonetz, irrigation, salinisation, salinité, salin, salar, chott, sebkha, playa

RESUME

Dès que le milieu est sec, les eaux de surface se concentrent par évaporation et deviennent plus ou moins salines. Les utiliser pour l'irrigation agricole est possible mais délicat surtout quand on envisage l'intensification agricole c'est-à-dire l'emploi de ces eaux à doses fortes. Les problèmes sont passés en revue qu'il s'agisse d'agricultures traditionnelles ou industrielles.

INTRODUCTION

Les terres émergées représentent 13,5 milliard d'ha. Mais, quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, l'Antarctique, le Groenland, il reste 3 milliards d'ha cultivables, soit 22% du total; c'est seulement 50 fois la France [NAHON, 2008]. Et, la moitié de ces 3 milliards d'ha cultivables sont déjà cultivés. Comme on prévoit à court terme le doublement des populations humaines, il est plus que temps de se préoccuper de la sauvegarde du capital sol. Or, ce capital est inextensible et menacé.

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la Terre.

Nous allons examiner les points suivants en résumant et en simplifiant, pour la circonstance, la partie adéquate d'un ouvrage antérieurement publié [LEGROS, 2007]:

- Comment les terres agricoles se salent elles ?
- La dégradation physique et chimique des terres salées et sodiques
- Comment cultiver les sols salés ?
- Exemples de périmètres irrigués.

Pour les chimistes un sel est le produit qui résulte de l'action d'un acide sur une base. Beaucoup de substances chimiques sont donc des sels. Pour l'agronome, un sel est une substance dont la solubilité dans l'eau est suffisante pour gêner la croissance des plantes. Dans cette façon de voir, la calcite (le calcaire) n'est pas un sel ; la sylvinite et l'halite, si !

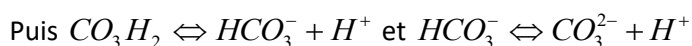
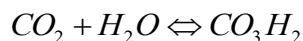
I. COMMENT LES TERRES SE SALENT ELLES ?

Le mot « salinisation » évoque immanquablement les bords de mer. Certes, le sel peut être véhiculé sur la terre par les embruns (jusqu'à 750 kg par ha en une seule année); certes, la mer peut envahir la terre par forte marée (côtés basses) et saler les terres; certes au niveau des côtes sableuses, l'eau de mer s'infiltre et peut créer une nappe salée qui détermine des milieux particuliers réservés aux halophytes (plantes adaptées au sel). La Camargue est l'exemple type de ces phénomènes. Mais tout cela n'est pas l'essentiel car seule une faible bande côtière est affectée. Ce qui est grave, à l'échelle de notre planète, c'est la salinisation continentale. Celle-ci, loin de la mer, conduit à la stérilisation progressive de surfaces considérables.

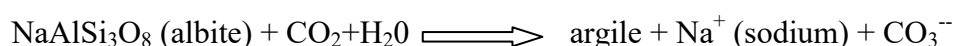
C'est donc cette salinisation continentale qui va être examinée ici.

La première question que l'on se pose naturellement est : d'où vient le sel sur les continents ?

L'eau de pluie, en traversant l'atmosphère, se charge de gaz carbonique. On obtient les réactions ci-après.



On voit qu'il y a production de proton H^+ c'est-à-dire d'acidité. Celle-ci est renforcée des protons fournis par les agents biologiques du sol qui respirent et rejettent donc du CO_2 . La matière organique intervient aussi mais l'expliquer dépasserait le cadre ici fixé. Au total, l'eau du sol est donc légèrement acide et agressive dans la durée. En conséquence, les minéraux des roches sont attaqués. C'est la réaction d'hydrolyse. Par exemple, le feldspath albite, très commun en milieu granitique, se transforme en argile au sein du sol et libère le sodium qu'il contient.



Quand il y a très peu d'eau, le sodium précipite sur place avec le CO_3^{2-} avec lequel il coexistait en solution, ceci pour donner un sel, ici un carbonate de sodium. Ainsi observe-t-on des cristallisations de sel à la surface des terres, dans les zones désertiques, en absence de pluie pour les éliminer. Par exemple : vallée de la Lune dans le désert d'Atacama, au Chili ou vallée de la mort aux USA, etc. Dans tous les cas, la mer est fort loin !



Accumulation de sels dans une depression de la vallée de la Mort aux Etats Unis (Nébraska-Californie). Photo : Marie-Laure de Maurepas, 2009.

Or, il y a 2,27% de sodium (en nombre d'atomes) dans la croûte terrestre. Donc la plupart des terres sont théoriquement susceptibles de se saler. La question est donc de comprendre pourquoi certains sols se salent effectivement et d'autres non. Pour cela il est nécessaire de considérer de près le fonctionnement des plantes et celui des sols.

La racine absorbe des ions (c'est sa nourriture) quand ils sont en solution dans l'eau; pas d'eau, pas d'entrée d'ions ! La feuille a sur sa face inférieure des stomates, petites cavités qui lui servent à absorber le gaz carbonique de l'air, donc du carbone. Elle récupère par ailleurs l'énergie solaire qui lui sert à combiner le carbone pris dans l'air, avec l'hydrogène de l'eau pour fabriquer des produits carbonés. Elle rejette l'oxygène. C'est la photosynthèse. Cette dernière fournit les matériaux qui vont augmenter la masse de matière verte : masse de racines, de fruits, etc. Mais, au niveau des stomates, les parois végétales sont très minces pour laisser entrer facilement le gaz carbonique. Le milieu intérieur jouxte ici le milieu extérieur. Le prix à payer est de laisser sortir de la vapeur d'eau (une chose comparable existe chez l'homme : les poumons servent à absorber de l'oxygène ce qui entraîne une perte d'eau, même si on reste assis toute la journée sur une chaise) !

Cette perte d'eau au travers des stomates est colossale si on veut que la plante se développe dans de bonnes conditions. Ainsi, un kilo de foin ou de blé a-t-il consommé pour sa fabrication au moins 300 kg d'eau ! Puisque les feuilles évaporent beaucoup, cela signifie, que les racines doivent absorber beaucoup d'eau. Mais il faut que le sol puisse la fournir.

L'eau de pluie humidifie le sol. Celui-ci retient l'eau à la manière d'une éponge alors même qu'il n'est pas fermé vers le bas comme le serait un vrai réservoir. Si l'eau est en excès, une fraction part en profondeur, jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle. Alors, elle s'accumule (nappe) et circule latéralement pour alimenter une source. Cette eau qui descend, représente une proportion limitée de la pluie annuelle, au moins sous nos climats. En fait, via la reprise par les racines des plantes et la transpiration au niveau des feuilles, sans oublier l'évaporation du sol nu entre les plantes, la majorité de l'eau de pluie repart vers le ciel.

Considérons un gazon très bien alimenté en eau par arrosage et très bien alimenté en éléments fertilisants; il va se développer au maximum, réaliser un maximum de photosynthèse, et perdre un maximum d'eau qui correspond à ce qu'on appelle « évapotranspiration potentielle » ou ETP. Dans les faits, si on n'arrose pas le gazon et si on attend la pluie, il va limiter sa transpiration, et donc son absorption de gaz carbonique (il ferme ses stomates) et finalement il va réduire sa croissance. On comprend donc que l'évapotranspiration « réelle », ETR, en l'absence d'irrigation, est égale ou plus petite que la pluviométrie annuelle P. Voyons quelques exemples chiffrés (tableau 1 ; in LEGROS, 2007 ; données de TARDY, 1993].

Tableau 1 : Bilan hydrologique mesuré dans des bassins versants. Les valeurs ont été arrondies [TARDY, 1993]

Milieu	T (°C)	P en mm/an	E en mm/an	D en mm/an
Aride (Faya-Largeau)	28	20	20	0
Subaride (Ouagadougou)	28	800	785	15
Tropical humide (Korhogo)	26	1500	850	650
Equatorial (Guyane)	26	3750	1450	2300

P est la Pluviométrie annuelle, D le drainage vers le bas et E le reste c'est-à-dire l'évaporation (évapotranspiration réelle plus exactement = ETR). Les valeurs ont été arrondies.

Commentons deux cas. En milieu aride, au Tchad, à Faya-Largeau, il fait très chaud et sec. Il tombe 20 mm d'eau par an. L'évapotranspiration potentielle, non donnée ici, est de 3 ou 4 mètres. Le sol ne peut la fournir. Il va rendre au ciel tout ce qu'il a reçu, soit 20 mm. Il n'y a donc pas de drainage vers le bas. Au contraire, en milieu équatorial, en Guyane, il fait chaud et humide. La pluviométrie annuelle est de 3750 mm d'eau; il en repart 1450 mm vers le ciel. Il en reste quand même 2300 mm pour drainer vers le bas.

Et bien tout cela est fondamental et explique la salinisation des terres.

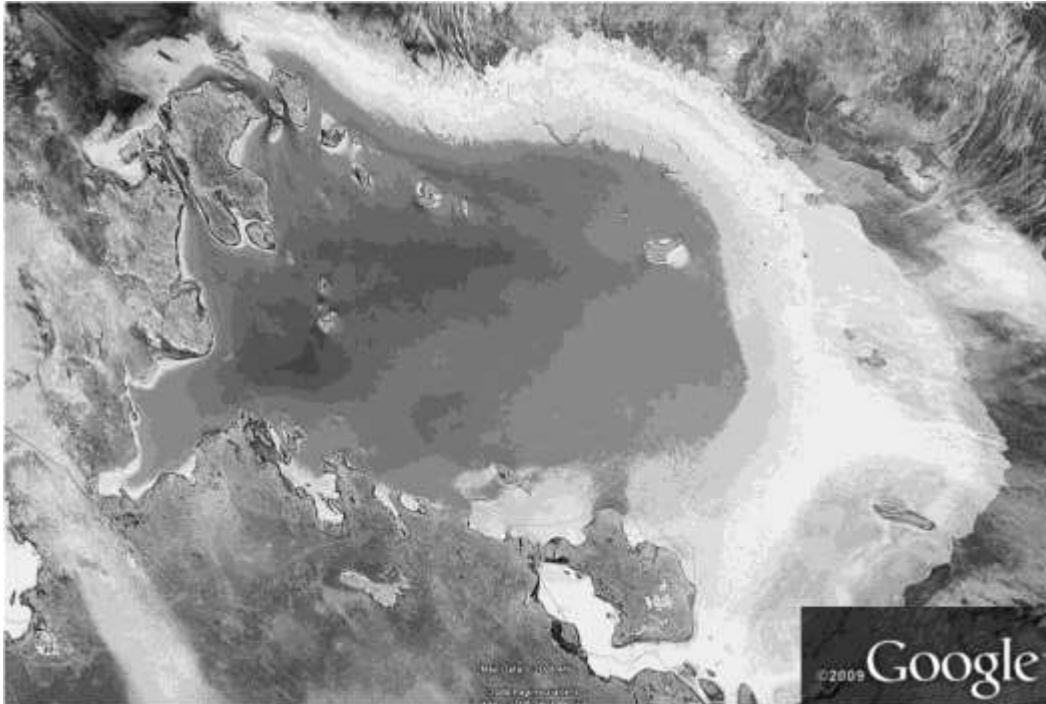
Au Tchad, quand l'eau de pluie dissout un peu les roches puis s'évapore, les sels qu'elle a extrait restent sur place et s'accumulent, année après année. Même chose dans le désert d'Atacama et la Vallée de la mort. Au contraire, en Guyane, les sels libérés par l'altération des sols sont entraînés vers le bas par des quantités considérables d'eau, ils rejoignent les nappes, les sources les rivières, la mer. Le sol est épargné.

Résumons: peu d'eau, le sol se sale; beaucoup d'eau, la mer se sale.

Dans ces conditions, on comprend que les sols salés de la Planète, côtes exceptées, sont pour l'essentiel ceux des zones sèches et chaudes : sud des pays méditerranéens, Arabie, etc.

Il y a cependant des cas intermédiaires, majoritaires en fait, entre l'abandon des sels sur place et leur transfert jusqu'à la mer. En milieu continental, les sels entraînés par l'eau de ruissellement, peuvent s'accumuler dans les bas de pente. Ce sont parfois de vastes cuvettes intérieures aux continents et sans débouché vers les océans : Lac Tchad en Afrique centrale, mer d'Aral en Asie, mer Morte au proche Orient, et tous les chotts¹ de Tunisie dont un exemple tiré de Google-Earth est présenté ci-dessous.

¹ Dans certaines zones de la Planète, on ne parle pas de « chotts » mais de « playas ».



Un chott en Tunisie vu de satellite. Sur le bord de la dépression saumâtre, l'immense plage blanche correspond à l'accumulation des sels. Cliché Google-Earth.

II. DEGRADATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES SOLS SALES

Les ions sodium, en solution dans l'eau, sont en équilibre avec d'autres du même type qui sont fixés sur les argiles lesquelles sont l'un des constituants majeurs de la terre (au sens de matériau). L'ensemble a de bonnes propriétés physiques car le sodium qui est d'un côté concentré dans l'eau et de l'autre fixé sur l'argile, sert de flocculant. Les argiles sont maintenues sous forme de gros amas appelés agrégats. Entre les mottes, entre les agrégats donc, les racines passent, trouvent de l'eau à boire et de l'air à respirer. En dépit du sel, certains végétaux peuvent survivre.

Lorsque le sodium domine dans l'eau, le sol est flocculé. Quand le sodium est abondant surtout sur l'argile, le sol a une forte tendance à la dispersion.²

En particulier, quand la concentration en sodium diminue dans l'eau d'imbibition, en relation avec une irrigation à l'eau pure, les ions sodium du milieu extérieur disparaissent. Ceux qui sont accrochés à l'argile y restent et s'hydratent; ils s'entourent d'une fine couche d'eau à l'échelle moléculaire. Cela sert de lubrifiant. Chaque particule se met à flotter dans ce manteau hydrique, indépendamment de ses voisines tant et si bien qu'on obtient une sorte de

² La quantité de sodium sur l'argile, un peu difficile à mesurer directement, est estimée à partir des ions dosés dans l'eau d'imbibition du sol ; on utilise un coefficient un peu empirique, sans vraie dimension, appelé SAR (Sodium Adsorption Ratio). Quand il dépasse 13, la situation est considérée comme défavorable et le sol est alors défini comme sodique. Sinon, il est salin.

purée qui devient béton quand l'eau s'en va. Voici un de ces béton salés, certes fissuré tous les 20 cm par la sécheresse, mais impropre à la croissance des plantes.



Prise en masse du sol dans un étang salé du Languedoc. Les fissures sont liées à la sécheresse mais sont trop espacées pour permettre l'installation convenable des racines des plantes. En médaillon, un sol normal. Photos auteur.

En effet, les racines des plantes ne peuvent plus pénétrer le sol quand il est moyennement sec. Alors, l'eau d'irrigation et de dessalement ne peut plus passer ! Le phénomène, s'il se produit, est à peu près irréversible. Le sol est perdu pour des décennies voire des siècles. Autrement dit, en voulant dessaler, on peut détruire le sol ! Le remède consiste à irriguer avec une eau chargée artificiellement en gypse (sulfate de calcium) de telle manière que le sodium, qui s'en va de l'argile, y est immédiatement remplacé par du calcium. Alors, la floculation demeure.

La dégradation des sols salés est souvent chimique. On a vu que les roches contenaient des ions sodium (Na) libérés par l'altération. On a vu aussi, sans trop insister, que ce sodium (Na^+ en solution) était équilibré par les ions CO_3^{2-} provenant du gaz carbonique de l'air. La sécheresse concentre les eaux et donc ces ions. Or, le carbonate de sodium, Na_2CO_3 , le bicarbonate comme on dit en pharmacie, est un sel d'acide faible et de base forte. Il détermine une réaction basique. On s'en sert contre les aigreurs d'estomac. Autrement dit, le pH monte dans les sols salés, parfois jusqu'à 10 et même plus, ce qui fait périr les plantes. On parle alors de sol alcalin. Un pH très élevé du sol est souvent signe de salinité.

En fait c'est très compliqué et en même temps intéressant. Les différents anions et cations présents dans le milieu (SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , etc.) co-précipitent de différentes manières. Le pH du sol va être déterminé par les plus réfractaires à la précipitation. Ce sont ceux qui sont spécialement abondants et, en plus, spécialement

solubles. Suivant les cas, on obtient toutes sortes de sels différents: chlorures, sulfates, carbonates, nitrates parfois et un pH incroyablement variable entre 3 et 10.

III. COMMENT CULTIVER LE SOL DANS CES CONDITIONS ?

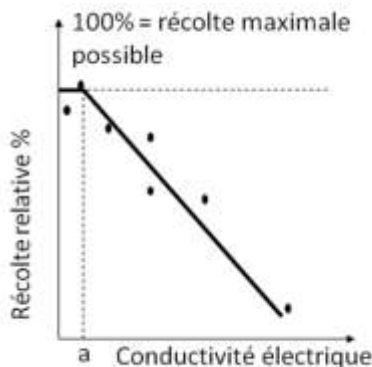
Généralités

Pourquoi, est ce dommageable aux plantes que le sol soit salé ?

La racine doit, on le sait, pomper dans le sol toute l'eau dont elle a besoin pour alimenter ses feuilles, tenir les stomates ouverts, et donc autoriser l'absorption de gaz carbonique. Or, en sol salé c'est plus difficile de pomper car les sels en solution déterminent une pression osmotique qui a tendance à jouer dans le mauvais sens c'est-à-dire à faire sortir l'eau des racines. Lorsqu'une plante a sa base immergée dans un sol très salé, inondé par exemple par la mer, elle ne peut plus extraire l'eau, flétrit et meurt de soif, les « pieds » dans l'eau ! C'est ainsi qu'en Camargue, lorsque les vignes sont submergées par une tempête, elles crèvent presque inmanquablement en quelques heures, sauf si cela arrive en hiver, quand elles sont en vie ralentie et évaporent peu.

Le professeur Nicole Paris, ici même, avait fait une conférence pour indiquer comment les plantes réagissent au sel : celles qui l'absorbent pour l'éliminer dans des cellules adaptées et celles qui tentent de ne pas l'absorber [PARIS, 1988]³. Certains sels ont un autre inconvénient : une toxicité intrinsèque. C'est le cas du chlore. Mais en général, ce n'est pas le problème principal.

On s'est aperçu qu'il y a une corrélation étonnante, car excellente, entre le degré de salinité d'un sol (appréciée globalement et tous sels confondus par sa conductivité électrique) et le rendement agricole. Au-delà d'un seuil de conductivité assez bas, la récolte va diminuer régulièrement avec la salinité.⁴ Cela permet d'établir des tables prévisionnelles indiquant que, dans tel sol, avec telle salinité, on pourra obtenir tant de quintaux de blés.



D'où le modèle [maas et hoffman, 1977 – François et maas, 1994] :
$$\text{Récolte} = 100\% - b(EC - a)$$

Avec :
a : seuil de salinité en mmhos/cm
b : pourcentage de chute de récolte par mmhos/cm supplémentaire

Lien entre salinité (appréciée par la conductivité électrique) et productivité pour une plante déterminée.

³ Les différentes sortes de plantes, plus ou moins adaptées, luttent contre le sel de toutes sortes de manières : limitation de l'absorption des ions correspondants, évacuation de ces ions dans les vacuoles ou même excrétion dans le milieu extérieur via des cellules spéciales, enfin mis en place de mécanismes physiologiques pour que la cellule continue à fonctionner en présence de sels. L'étude au laboratoire de ce dernier point est fort complexe.

⁴ En d'autres termes, la résistance au sel d'une plante est caractérisée par deux paramètres seulement : seuil de sensibilité, chute relative de récolte en fonction du niveau de salinité globale.

Si le sol est trop salé, la récolte sera nulle !

Accroissement de la salinité par l'agriculture

La salinisation du sol est, on l'a vu, un phénomène naturel. Mais l'homme l'accroît souvent pour trois raisons principales que nous allons examiner.

Mauvaise qualité de l'eau

Imaginons qu'on offre à nos partenaires de la rive sud de la méditerranée des bateaux remplis d'une eau des plus agréables à boire la Quézac (Lozère). Celle-ci est très légèrement salée. C'est quasi imperceptible à la dégustation. Pourtant, tous calculs faits, si on répandait sur le sol, tous les ans, une hauteur de 80 cm de cette d'eau pour avoir dans ces pays une récolte normale, on amènerait tous les ans à l'ha 4,5 tonnes de différents types de sels. Comme en milieu sec, il n'y a pas de lessivage des sols car pas de saison fortement humide, la salinisation des terres serait progressive mais inexorable.

Donc, dans les régions relativement sèches, il faudrait une eau d'excellente qualité, presque une eau distillée. Mais cela n'existe pas. Bien au contraire. On est là dans des milieux « évaporatoires » dans lesquels l'eau de surface des rivières et des lacs se transforme en permanence en vapeur. Donc, les sels se concentrent dans ce qui reste du précieux liquide et l'eau est toujours de mauvaise qualité.

C'est à un point tel que, par exemple, les spécialistes de l'IRD proposent aux paysans du Nordeste du Brésil (province aride s'il en est), de ne pas attendre et d'utiliser les réserves de leurs petits barrages en début de saison sèche, pour faire rapidement une culture irriguée avant que l'eau stockée devienne trop mauvaise par évaporation et concentration des sels. Une autre solution est de vidanger partiellement la retenue par le bas pour éliminer les eaux les plus salées qui sont aussi les plus lourdes.

Intensification agricole

La volonté produire plus en milieu sec est souvent un second facteur de dégradation du milieu. En effet, d'avantage de production signifie d'avantage d'eau salée utilisée localement avec comme résultat l'accumulation locale des sels.

Remontée de la nappe

Un sol à demi salé est utilisable pour les cultures mais avec une technique d'irrigation particulière. Dans un sol normal, on apporte la quantité d'eau nécessaire pour que la plante évapore tout ce quelle veut, autrement dit pour que la somme « pluviométrie + irrigation » égale l'évapotranspiration potentielle, ETP, encore appelée « demande en eau de l'atmosphère ».

En sol salé, la stratégie est autre. On contrôle en permanence la salinité du sol par des instruments adéquats et, dès qu'elle dépasse un seuil critique susceptible de diminuer le rendement, on arrose pour que la concentration des sels chute, ces sels étant entraînés vers le bas. C'est un peu comme si on faisait la vaisselle à l'eau sale. En rinçant abondamment les assiettes, même avec une eau douteuse, on arriverait quand même à les ramener à un degré de propreté approximatif. La conséquence de cela est que, en irriguant en milieu salé avec une

eau pas trop pure, il faut en consommer beaucoup, et parfois jusqu'à deux fois plus, pour arriver à une production convenable.

Mais ces « *irrigations lessivantes* » représentent souvent le troisième type d'impact négatif lié à l'intervention de l'homme. Puisqu'on met plus d'eau que les plantes ne peuvent en utiliser cette eau très salée est entraînée vers le bas. Si elle rencontre un obstacle, par exemple, une couche géologique imperméable (argile ou roche), elle constitue alors une nappe qui remonte progressivement vers le haut. Précisons : la nappe d'eau dans un sol, est l'eau qui s'installe dans les vides entre les agrégats de terre. En profondeur, la porosité est par exemple, de 20%. Donc, un mètre d'eau entraîné vers le bas peut représenter une remontée de la nappe de 5 mètres ! Dans le Monde, on ne compte plus les régions où la nappe sur-salée est remontée jusqu'en surface, en 20 ou 30 ans d'irrigation. Et, quand elle est en surface, les plantes ont les racines dans l'eau salée : elles crèvent.⁵

La conséquence de tout cela est évidente : chaque fois qu'on utilise une eau un peu salée pour irriguer, il faut prévoir en même temps le drainage associé, c'est-à-dire l'installation de grands fossés pour évacuer l'eau en trop, voire organiser des pompages pour extraire cette eau du sol avant qu'elle remonte en surface. Et il faut aussi prévoir où on va évacuer ces saumures. Si on les rejetait en rivière, cela voudrait dire qu'on interdirait aux paysans à l'aval d'irriguer avec une eau de qualité préservée. On doit donc convaincre les agriculteurs qu'il est nécessaire de drainer. Or la salinisation intéresse des pays dont le problème essentiel est que le climat est trop sec ! Drainer paraît totalement incongru lors de l'installation d'un périmètre d'irrigation ! Souvent, on attend la catastrophe pour admettre la nécessité de l'élimination des saumures.

IV. EXEMPLES DE PERIMETRES IRRIGUES.

Nous allons aborder maintenant la dernière partie de l'exposé et voir quelques exemples de mise en valeur de régions salées ou susceptibles de le devenir.

Les oasis sub-sahariennes

Voyons comment d'abord on gère traditionnellement l'eau des oasis. Les venues d'eau, que l'on s'efforce de rassembler sont de trois types :

- eau courant prélevée dans les « oueds » à l'amont de l'oasis,
- eau de la nappe exploitée par des puits,
- enfin interception des eaux d'inféoflux par des foggaras.

Seul le dernier alinéa mérite explication. Dans les milieux arides l'eau est rare mais il pleut parfois. Elle ruisselle alors sur les roches nues des déserts, sur des surfaces colossales, puis se concentre et s'infiltre jusqu'à atteindre le socle rocheux au plus profond des terrains

⁵ À cause de cela et aussi parce que l'eau est précieuse, on essaie de réduire autant que possible les irrigations lessivantes. Quand le contrôle de la salinité est bien fait, on arrive à limiter à 30% voire nettement moins, l'eau consommée en excès.

sableux des bas de pente. Là les réserves d'eau sont importantes et c'est à cet endroit qu'il faut venir les chercher en leur coupant la route vers le bas. Pour cela, au fond des dépôts sableux, on crée des galeries souterraines, perpendiculairement à la pente du socle. L'eau – c'est une des lois de l'hydraulique – emprunte la galerie car elle s'y déplace facilement, même si la ligne de plus grande pente n'est pas dans la direction du conduit. En d'autres termes, peu d'eau échappe à la capture en s'infiltrant au travers de la paroi de la galerie, du côté aval. Qu'à cela ne tienne ! Une seconde galerie, parallèle à la première récupérera l'eau qui s'est échappée. Et ainsi de suite... parfois quatre galeries se succèdent. Toutes convergent vers l'oasis voisine.

Ces conduits sont créés de main d'homme; dedans on tient debout. Mais la technologie est primitive. A intervalle régulier, on relie la galerie à la surface, par des puits pour que les puisatiers puissent respirer. La photo montre un alignement de ces puits, au Maroc. La terre de la galerie a été rejetée en surface. Les hommes ont creusé comme de grosses taupes. Le système est efficace car, au fond de sa galerie, protégée du soleil, l'eau s'évapore peu.



Ligne de foggaras au Maroc, près de Taroudant. Sur la gauche, on devine une seconde ligne, parallèle à la première et même une troisième. La fonction principale du système est d'intercepter les eaux et pas uniquement de les acheminer comme disent les guides ! Photo auteur.

L'oasis typique correspond à une cuvette avec des pentes faibles. Une bonne partie de l'eau récupérée (oued, foggara) arrive en haut de la zone de verdure. Elle sert à irriguer les cultures. Mais il y a des pertes. Concentrées par l'évaporation, elles vont alimenter les palmiers qui, plus résistants au sel, sont judicieusement placés plus bas sur la pente. Au fond de l'oasis, le chott ou l'oued correspond à une zone particulièrement salée dépourvue de végétation. On a donc une organisation agricole du milieu adaptée au sel [JOB, 1992].

La Californie

Après cet exemple relatif à une agriculture traditionnelle et très ancienne, voyons tout au contraire une mise en valeur des terrains salés, de type moderne, en Californie, dans la Coachella

Valley. Au départ, en 1888, l'eau douce jaillissait du sol par des puits artésiens, puis il a fallu pomper. En 1934, la nappe s'est révélée épuisée et on a décidé de dériver une partie des eaux du Colorado. Mais la distance est considérable. Le canal mesure 256 km si bien qu'au bout, il y a un réservoir de stockage de 2 millions de mètres cube pour régulariser les approvisionnements en eau douce. Les eaux salines sont évacuées vers le centre de la vallée qui est en légère dépression. Là on trouve la Salton Sea, mer intérieure de près de 1000 km². Créée naturellement par un débordement du Colorado en 1900, elle aurait disparu depuis si elle n'était entretenue par les rejets agricoles d'eau salée.

Comme l'eau met plusieurs jours à parcourir le canal d'amenée, il faut donc estimer à l'avance les besoins en eau d'irrigation. Cela implique une prévision météorologique excellente, une connaissance précise des sols, une connaissance des cultures à irriguer et des besoins en eau correspondants. Il faut, à plusieurs centaines de km de distance, déclencher automatiquement l'ouverture ou la fermeture des vannes du canal. La salle de contrôle du système ressemble, par ses écrans et sa complexité, à une salle de pilotage d'une centrale nucléaire.

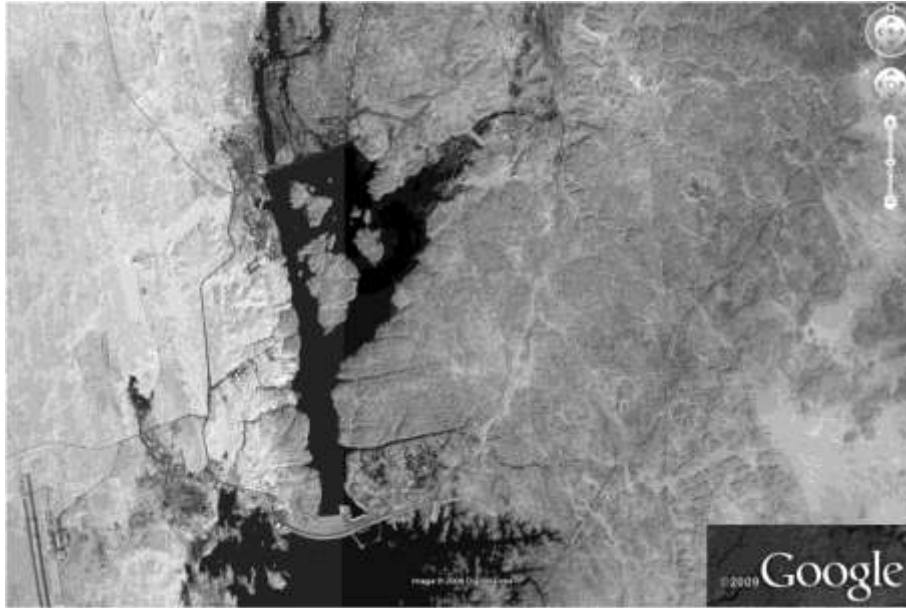


Canal d'arrivée de l'eau du Colorado et, à gauche, une partie de la Coachella Valley. On observe dans chacun des immenses champs vus de satellite par Google-Earth, des mares dans lesquelles on confine les eaux usées. C'est le nouveau système pour se débarrasser des saumures. Ili tend à remplacer l'option « Salton Sea ». L'eau s'évapore alors sur place ce qui est, paraît-il, une option meilleure au plan économique.

L'usage des eaux du Colorado a permis aussi de créer d'extraordinaires zones résidentielles, avec vue sur des ports artificiels, sur des coulées vertes ou sur des golfs. Les architectes s'en sont donnés à cœur joie: « circulades » modernes ou alignements de villas... Le prix à payer est qu'il n'y a plus d'eau à l'aval et que les marécages deltaïques mexicains sont devenus des déserts. Tout cela est le contraire d'un développement durable !

L'aménagement du Nil

Avant la construction du barrage d'Assouan, les crues du Nil submergeaient les terres et les lavaient de leurs sels. Au printemps, la décrue assurait le ressuyage général. Puis on a créé deux grands barrages: Assouan et ensuite le barrage Nasser (haut barrage d'Assouan, upper dam). Le second représente 3600 mètres de large, 111 m de haut, presque un km d'épaisseur à la base et 42,7 millions de m³ d'eau. Le lac Nasser fait 550 km de long et 10 km de large en moyenne.



*Barrages d'Assouan. En haut, le vieux barrage et sa retenue d'eau. En bas, la digue de 3,6 km de long de l'upper dam (barrage Nasser). La retenue d'eau s'étend vers le sud sur 550 km.
Cliché Google Earth.*

Cette construction a été très décriée. Elle stoppe le dépôt des limons fertiles du Nil mais ces apports de fertilisants sont devenus négligeables dans le cadre d'une agriculture moderne utilisant des engrais! Elle devait aussi renforcer les maladies tropicales ; on ne les a guère vues (bilharziose) !

En fait, les puissances occidentales voyaient d'un mauvais œil cette réalisation des soviétiques, en une dizaine d'années - 1960-1970 - juste après la nationalisation du canal par Nasser en 1956. Actuellement, le barrage d'Assouan remplit parfaitement sa mission de réserve d'eau pour l'irrigation, en particulier parce que cette eau qui vient largement de la zone équatoriale est d'excellente qualité.

CONCLUSION

Compte tenu de ce qui a été dit antérieurement, dans beaucoup de régions sèches du Monde, déjà handicapées par le manque d'eau, il y a des problèmes de salinité. Souvent, la dégradation progressive des sols, l'épuisement des nappes d'eau douce et la remontée des sels conduisent à une lente perte de fertilité comme dans certaines oasis du Maroc où les palmeraies sont déclinantes et les casbahs abandonnées. La perte de fertilité des sols et la gestion inefficace de l'eau sont deux des grandes causes possibles de l'effondrement des civilisations selon Jared Diamond auteur de « Collapse ». En particulier, les babyloniens ont sans doute été victimes d'une remontée de la nappe salée entre Tigre et Euphrate.

Une solution sage, au moins en première analyse, est d'employer les méthodes ancestrales, donc rodées. Dans beaucoup des belles oasis présahariennes, on s'accommode du sel. On sait capter l'eau, l'économiser, judicieusement répartir les cultures en fonction de leur résistance à la salinité.

Mais, cela n'est possible que si on s'en tient à une sorte de jardinage local qui ne peut nourrir des populations très nombreuses et qui implique à la fois gros travail et grande frugalité.



Superbe oasis du sud-marocain. Photo auteur.

Dès lors que l'on veut passer à une agriculture plus productive parce que les populations augmentent, le risque de salinisation des terres est là ! En matière de sols salés, tout est compris scientifiquement ou peu s'en faut. On sait qu'il faut récupérer des eaux propres parfois à grande distance, gérer avec intelligence les stocks dans les barrages, irriguer avec précision et parcimonie, récupérer les saumures par des moyens adaptés (parfois pompage), les évacuer à distance pour ne pas compromettre la production des agriculteurs voisins, utiliser des cultivars de plantes sélectionnés pour leur moindre sensibilité au sel, contrôler la salinité des sols au jour le jour avec des instruments adaptés, piloter l'ensemble de telle manière que soit évitée la dégradation physique et chimique du milieu (salinisation de surface, prise en masse des sols, remontée des nappes...). Tout cela est connu. Mais dans les milieux subdésertiques concernés, technicité et capitaux sont souvent absents. Localement, on y rencontre de grandes compagnies qui viennent là consommer les revenus du pétrole en proposant des solutions délirantes tels ces champs ronds qui, installés en plein désert, dilapident l'eau non renouvelable et fossile des nappes profondes dans un contexte où l'évapotranspiration est telle que le moindre kilo de blé produit a demandé sa tonne d'eau pour arriver à maturité. Le système durera juste le temps d'assécher nappes et crédits.

Pour ces régions, l'avenir n'est donc pas écrit...

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

JOB O., 1992. Les sols salés de l'oasis d'El Guettar ; thèse. Université de Montpellier II. , 150 p.

LEGROS J.P., 2007. *Les grands sols du Monde*. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, 574 p.

NAHON D., 2008. *L'épuisement de la Terre*. L'enjeu du XXIème siècle. Odile Jacob, 235 p.

PARIS-PIREYRE N., 1988. Les plantes en milieu salé. *Bull. Acad. Sci. Lettres de Montpellier*, tome 19, pp. 165-172.

TARDY Y., 1993. Climats, paléoclimats, et biogéodynamique du paysage tropical. In : *Colloque Sédimentologie et Géochimie de la surface à la mémoire de G. Millot*. Les colloques de l'Acad. Des Sciences et du Cadas, pp. 141-175.