



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Cours de physique du sol

**MAITRISE DE LA SALINITE
DES SOLS**

Copie des transparents

Version provisoire

Prof. A. Mermoud

Janvier 2006

Salinisation du sol

Processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; il s'en suit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.

Faits

- **10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'ha) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation**
- **0.5 à 1% des surfaces irriguées sont perdues pour la culture chaque année (1.5 à 2 millions d'ha)**
- **près de la moitié de toutes les surfaces irriguées sont menacées à long terme.**

Types de salinisation

➔ **Salinisation primaire** ou naturelle:

due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes:

- dans les régions côtières, intrusion d'eau salée ou submersion des terres basses
- inondations périodiques par de l'eau de mauvaise qualité
- remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire

➔ **Salinisation secondaire** :

Induite par l'activité humaine; liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées.

Causes principales de la salinisation

- **Utilisation d'une eau d'irrigation de qualité médiocre et lessivage naturel insuffisant**
- **Remontée de la nappe souterraine à proximité de la surface et transport de sels par remontées capillaires**

Caractéristiques des sols salés

Les sols affectés de problèmes de salinité présentent des concentrations excessives en sels solubles (sols **salins**), en sodium adsorbé (sols **sodiques** ou **alcalins**) ou les deux (sols **alcalino-salins**).

Les sels solubles concernés sont essentiellement : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- (bicarbonates), CO_3^{--} et NO_3^-

Lessivage

Technique qui consiste à dissoudre les sels accumulés dans le sol par des apports d'eau importants et à les entraîner en-dessous de la zone racinaire par le mouvement descendant de l'eau.

Bilan de salinité du sol

Apports - Pertes = ΔM_S (variation de la masse de sel dans le sol)

Apports:

- apports par précipitations : $Pe C_p$
- apports par irrigation : $Ir C_i$
- apports par remontées capillaires : $G C_g$
- apports par dissolution : M_d
- apports par l'agriculture : M_a

Pertes:

- pertes par percolation : $D C_d$
- prélèvements par les végétaux : M_v
- adsorption ou précipitation : M_p

$$\rightarrow \Delta M_S = Pe C_p + Ir C_i + G C_g + M_d + M_a - D C_d - M_v - M_p$$

Hypothèses fréquentes:

$$C_p \approx 0 \quad M_d \approx 0 \quad M_a \approx 0 \quad M_v \approx 0 \quad M_p \approx 0$$

$$\rightarrow \Delta M_S = Ir C_i + G C_g - D C_d$$

Calcul des besoins en eau de lessivage

Equation approchée du bilan de salinité:

$$\Delta M_s = I_r C_i + G C_g - D C_d$$

Pour prévenir une accumulation de sel, on doit avoir:

$$\Delta M_s = 0$$

→ $I_r C_i = D C_d - G C_g$

Cas d'une nappe profonde:

$$G = 0 :$$

→ $I_r C_i = D C_d$

→ Pour éviter une accumulation de sels:

quantité de sels apportés par l'irrigation

=

quantité de sels emportés par drainage

Concentration critique C_s en sels pour différentes cultures

➔ cultures sensibles :

$$C_s^1 = 2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1} (1.3 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1})$$

La plupart des fruits et arbres fruitiers; quelques légumes (carotte, haricot, salade, radis,...)

➔ cultures à tolérance moyenne :

$$C_s = 4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1} (2.5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1})$$

Légumes, grandes cultures, quelques fruits (olive, raisin, figue, grenade,...)

➔ cultures tolérantes :

$$C_s = 8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1} (5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1})$$

Prairies, coton, orge, colza, betterave à sucre, dattier, cocotier,...

¹ C_s : seuil critique au-dessus duquel une chute de rendement significative se manifeste (mesuré sur un extrait de pâte saturée)
 $C (\text{g} \cdot \text{l}^{-1}) \cong 0.64 \text{ CE} (\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1})$

Besoins en eau de lessivage

(Leaching requirement LR)

$$LR = \frac{\text{Drainage sous la zone racinaire}}{\text{Apports par irrig. (bes. vég.+lessivage)}} = \frac{D}{I_r} = \frac{C_i}{C_s} = \frac{CE_i}{CE_s}$$

C_i et CE_i : concentration et conductivité électrique (CE) de l'eau d'irrigation

C_s et CE_s : valeur maximale de la concentration et de la conductivité électrique des eaux de drainage, telle que l'effet sur les cultures reste limité.

**Quantité d'eau d'irrigation pour assurer les
besoins en eau des végétaux
et le lessivage du sol**

$$I_r C_i = D C_d$$

Si l'hypothèse d'un **mélange complet** est réaliste:

$$C_d = C \quad C : \text{concentration dans la zone racinaire}$$

Si l'on souhaite que C reste inférieure à une valeur maximale C_s (concentration critique) donnée:

$$\rightarrow I_r C_i = D C_s \quad \text{soit :} \quad \frac{D}{I_r} = \frac{C_i}{C_s} = LR$$

Or (éq. du bilan hydrique sur une période prolongée):

$$D = Pe + I_r - ET$$

$$\rightarrow I_r C_i = (Pe + I_r - ET) C_s$$

ou:

$$I_r = \frac{(ET - Pe)}{C_s - C_i} C_s$$

I_r : quantité d'eau d'irrigation à appliquer pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation et conserver la zone racinaire à une concentration inférieure à une valeur critique C_s , fonction de la résistance au sel de la culture.

Quantité d'eau d'irrigation pour assurer les besoins en eau des végétaux et le lessivage du sol

Cas du mélange partiel

Equation pour un mélange complet:

$$I_r = \frac{(ET - Pe)}{C_s - C_i} C_s \quad \text{avec } C_s = C_d$$

Concentration de l'eau de drainage en cas de **mélange partiel**:

$$C_d = \alpha C_s + (1 - \alpha) C_i$$

C_d : concentration de l'eau de drainage

C_s : concentration de l'eau dans la zone radriculaire

C_i : concentration de l'eau d'irrigation

α : coefficient d'efficacité du lessivage; f(nature du sol et méthode d'irrigation)

- sols silto-limoneux: $0.4 < \alpha < 0.6$
- sols argileux: $0.2 < \alpha < 0.3$

$$\rightarrow I_r = \frac{(ET - Pe) [\alpha C_s + (1 - \alpha) C_i]}{[\alpha C_s + (1 - \alpha) C_i] - C_i}$$

ou:

$$I_r = \frac{(ET - Pe) [\alpha C_s + (1 - \alpha) C_i]}{\alpha (C_s - C_i)}$$

I_r : quantité totale d'eau d'irrigation à appliquer pour maintenir la concentration en sel de la zone radriculaire en-dessous du seuil critique C_s .

Effets de la salinité des sols

- abaissement du **potentiel osmotique** p_o de la solution du sol:

$$p_o = 10^5 \cdot K \cdot CE \text{ (Pa)} = 10^3 \cdot K \cdot CE \text{ (cm)}$$

0.28 < K < 0.38 selon les sels; CE en $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ à 25 °C

- **toxicité** de certains ions (Cl, Na, B, etc.)
- **altération des propriétés du sol**, spécialement en présence de ions sodium

Appréciation du niveau de salinité d'un sol

- **conductivité électrique** à 25 °C d'un extrait de pâte saturée¹
- **alcalinité** représentée par le pourcentage de sodium échangeable (ESP) :

$$ESP = \frac{100 ES}{CEC}$$

ES : quantité d'ions sodium échangeables (me/100g de sol)
CEC : capacité d'échange cationique (me/100g de sol)

¹ Extrait de pâte saturée : liquide obtenu par extraction sous vide de la solution d'un échantillon de sol mélangé intimement à de l'eau distillée jusqu'à la limite de liquidité (la surface de la pâte doit être brillante, mais il ne doit pas y avoir d'eau en excès).

Caractéristiques des différentes catégories de sols salés

	CE à 25°C (mS · cm ⁻¹)	ESP
Sols salins¹	> 4	< 15
Sols alcalins (sodiques)²	< 4	> 15
Sols alcalino-salins³	> 4	> 15

¹ Pauvres en Na, mais riches en sels blancs (chlorures, sulfates, carbonates de Ca ou Mg); généralement à l'état floculé; lessivage efficace

² Riches en Na. Foncés en raison de la forte concentration en Na et de la dispersion de la MO. Sols dispersés: lessivage difficile et nécessité de remplacer le Na par un autre cation (Ca par ex.)

³ Structure généralement bonne mais pouvant se dégrader considérablement lors du lessivage. Nécessité d'apports de cations de substitution.

Lessivage des sols salés

Sols **riches en sodium**: apports préalables artificiels de calcium facilement soluble (gypse par exemple).

Fréquence: variable (selon l'évolution de la salinité, les propriétés des sols, l'importance des précipitations naturelles et les ressources en eau disponibles).

Réalisation (avant le semis):

- sol amené à θ_{cr} quelques jours avant le lessivage; apport de la dose de lessivage en 1 ou plusieurs applications.
- parfois "sur-irrigations" (doses d'arrosage accrues de 20 à 30 %).

Le cas échéant, prévenir une remontée excessive de la nappe sous l'effet des apports d'eaux de lessivage par un réseau de drainage efficace.

Risques de salinisation: mesures préventives

- **Vérification de la qualité de l'eau d'irrigation**
- **Gestion optimale de l'irrigation de façon à éviter la percolation hors périodes de lessivage**
- **Limitation des pertes d'eau dans les canaux et les apports externes**
- **Contrôle du niveau de salinité du sol (CE, ESP, etc.)**

Le cas échéant:

- **Maîtrise du niveau de la nappe (drainage efficace des eaux de surface et souterraines)**
- **Réduction de la demande évaporative et des remontées capillaires (rideaux-abri, travail du sol, amélioration de la structure, mulch, etc.)**
- **Prise en compte des besoins en eau de lessivage lors de l'établissement du projet**