

Chapitre II.

Adaptations aux sols salins

1. Les causes de la salinité

La salinité des sols constitue l'un des principaux stress abiotiques limitant la croissance des plantes cultivées (Epstein *et al.*, 1980; Boyer *et al.*, 1982; Tanji *et al.*, 1990; Abdelly *et al.* 2008; Munns et Tester, 2008). Cette salinité peut être naturelle ou induite par les activités agricoles comme l'irrigation (avec de l'eau de faible qualité) ou l'utilisation de certains types d'engrais (Bartels et Nelson, 1994; Rubio *et al.*, 1995). Ainsi, chaque année, près de 10 millions d'ha de terres cultivables sont perdus dans le monde du fait de l'accumulation, au cours du temps, de petites quantités de sel contenues dans l'eau d'irrigation.

La conséquence générale de la présence de sels dans les sols est une limitation de la croissance qui provoque une baisse de rendement. Dans les régions semi-arides, la concentration en sel de la solution du sol peut atteindre 100 mM, condition qui inhibe la croissance de la quasi-totalité des plantes cultivées (Greenway et Munns, 1980; Amtmann et Sandres, 1999). Pour des concentrations en sel plus fortes, même la germination peut devenir impossible.

2. Définitions des sols et eaux salins

Les **sols salins** sont caractérisés par une conductivité électrique élevée (> 4 dS/m), une faible activité des ions nutritifs, des rapports élevés de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$, Na^+/K^+ , $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ et $\text{Cl}^-/(\text{NO}_3)^{-2}$ dans la solution du sol.

Les ions Na^+ et Cl^- sont considérés comme les plus nocifs. Les sols ou les eaux d'irrigation affectés par la salinité, contiennent suffisamment de sels solubles susceptibles de compromettre la croissance des plantes.

L'évaluation des eaux d'irrigation varie en fonction des pays (Tableau I).

Tableau I - Evaluation des eaux d'irrigation.

Conductivité électrique	Concentration (g/l)	Evaluation		
		Américaine	Russe	De Durand pour l'Algérie.
CE < 0.25	< 0.2	Faiblement salé	Bonne qualité	Non saline
0.25 < CE < 0.75	0.2-0.5	Moyennement salée	-	Salinité moyenne
0.75 < CE < 2.25	0.5-1.5	Fortement salées	Risque de salinisation	Forte salinité
2.25 < CE < 5	1.5-3	Très fortement salées	-	Très forte salinité
5 < CE < 20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

Source : DAOUD et HALITIM (1994).

2. La salinisation des sols

La salinisation est un processus d'enrichissement du sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin. La salinisation des périmètres irrigués est accentuée par un fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides et les rendent impropres aux cultures.

La salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle (appelée primaire) et une salinisation anthropique qui est liée à l'irrigation (appelle secondaire) (Cherbuy, 1991).

2.1. Salinisation primaire

La **salinisation primaire** (d'origine géologique, marine ou lagunaire) liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux (Cherbuy, 1991).

2.2. Salinisation secondaire

La **salinisation secondaire** est induite par l'activité humaine qui est liée à des pratiques agricoles inappropriées, par exemple avec de l'eau d'irrigation riche en sel et/ou par un drainage insuffisant (Abdelhafid, 2010).

3. Principaux sels solubles

Les principaux **sels solubles** qui participent dans la formation des sols salés sont (Aubert, 1975) :

- **Les carbonates** : Les plus rencontrés sont : le carbonate de sodium (Na_2CO_3), bicarbonate de sodium (NaHCO_3), carbonate de calcium (CaCO_3) et carbonate de magnésium (MgCO_3).
- **Les sulfates** : Ce sont les sels de l'acide sulfurique, les plus fréquents sont : sulfate de magnésium (MgSO_4), sulfate de sodium (NaSO_4) et sulfate de calcium (Ca SO_4).
- **Les chlorures** : Ils ont une solubilité très élevée et une forte toxicité : Chlorure de sodium (NaCl), chlorure de calcium (CaCl_2) et chlorure de magnésium (MgCl_2) sont plus solubles et fortement toxiques.

4. Effets de la salinité sur les plantes

Les sels provoquent chez les plantes des effets de type :

- Effet ionique
- Effet osmotique
- Effet nutritionnel

L'effet initial de la salinité à faible ou à moyenne concentrations, est dû à ses effets osmotiques.

L'effet osmotique est le résultat de la réduction du potentiel hydrique du sol suite à une augmentation du potentiel osmotique dans la zone racinaire. Une forme de sécheresse **physiologique** survient lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence. L'altération de l'état hydrique conduit à la réduction de la croissance et la limitation de la productivité des plantes.

- Effet de la salinité sur les plantes



Control

NaCl
50 mM

NaCl
100 mM

NaCl
150 mM

- Effet ionique

En dépit d'un ajustement osmotique correcte, **la toxicité ionique** survient lorsque l'accumulation des ions (Na^+ et Cl^-) dans le cytoplasme perturbe **l'activité métabolique**.

- Les effets nutritionnels

Ces effets surviennent lorsque :

- L'accumulation de Na^+ dans la plante limite l'absorption des ions (K^+ , Ca^{+2} , NO_3^-).
- La limitation de l'absorption et l'accumulation d'autres éléments nutritifs (K^+ , Ca^{+2} , Mn^{+2})
- Les ions (Na^+ , Cl^-) sont au niveau des transporteurs localisés sur la membrane plasmique des racines (comme les canaux sélectifs de K^+) (Rubio *et al.*, 1995).
- Les effets osmotiques du stress salin peuvent aussi limiter la croissance des racines ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (Tester et Davenport, 2003).

- Effet du stress salin sur la germination

Le stress salin affecte indifféremment la germination des graines des plantes **glycophytes et halophytes**. Les effets de stress salin sur la germination sont :

- **L'effet osmotique** se traduit par l'inaptitude des graines à absorber des quantités en eau suffisantes pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation (ce seuil est nécessaire dans le déclenchement du processus de la germination).
- **L'effet toxique** lié à l'accumulation des sels (dans la cellule) provoquant des perturbations physiologiques de la germination des graines, empêche la levée de dormance des embryons et conduit à une diminution de la capacité de germination.

- Effet du stress salin sur la croissance

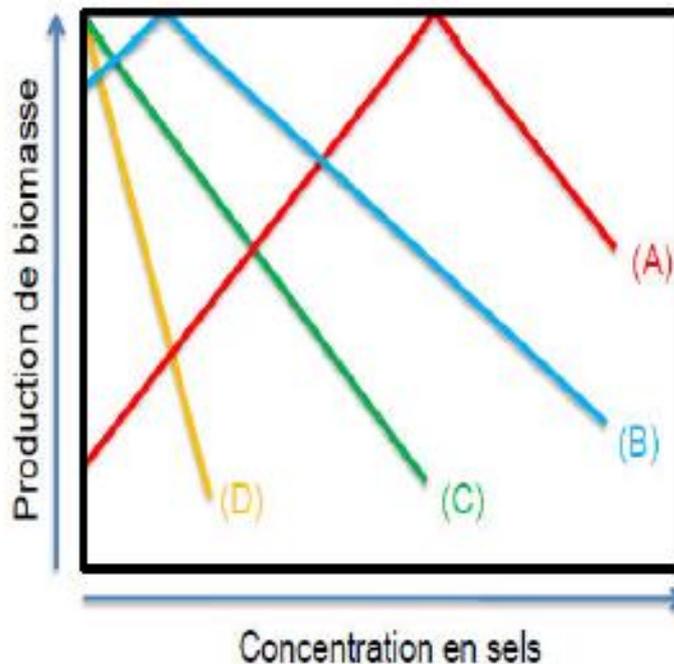
Dans un milieu qui subit un stress salin, la plante augmente sa pression osmotique des cellules, cet état empêche l'absorption de l'eau par les racines. Cette situation engendre une baisse des divisions cellulaires, et aussi une réduction de la vitesse de l'expansion foliaire.

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif qui se caractérise par de faibles ramifications, un faible diamètre des organes, un nombre réduit des nœuds et des feuilles et une réduction de la longueur des tiges . En plus, la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines est aussi démontrée.

- La tolérance des plantes à la salinité

Une plante est **tolérante** à la salinité quand elle continue sa croissance à un seuil de salinité élevé (les vraies halophytes). Celles qui sont **sensibles** tolèrent une concentration très faible de sel (ex. les glycophytes).

Les 4 grandes tendances en fonction de la production de la biomasse en présence de sel :



- Les halophytes vraies (A)

Salicornia sp., Suaeda sp.

- Les halophytes facultatives (B)

Plantago maritima, Aster tripolium

- Les non halophytes résistantes (C)

Hordeum sp.

- Les glycophytes ou halophobes (D)

Phaseolus vulgaris, Glycine max

Adapted from Hagemeyer, 1996

Le terme **halophyte** vient de *halos* (sel) et *phyton* (plante).

Ce terme est attribué aux végétaux vivant sur des sols salés (c'est-à-dire chargés de Chlorure de sodium (NaCl) et d'autres ions).

Les **glycophytes** sont des plantes différentes des **halophytes**. Les conditions optimales de croissance des **glycophytes** exigent des sols non salés tout en pouvant résister à des concentrations faibles et variables en sel selon les espèces.

Exemples de plantes halophytes :



La roquette de mer



Le palétuvier



La salicorne



La spartine



La soude

Une plante soumise au stress salin doit faire face à la pénétration de sel dans ses tissus. **Ce dernier est rejeté ou accumulé par les différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires.**

Dans la plante, les ions de NaCl entrent par les racines et sont véhiculés par la sève transportée par le xylème jusqu'aux tiges et feuilles. Là, ils sont soit **stockés (cas des plantes de type *includer**)**, soit au contraire, ils sont **très peu retenus et sont revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (cas des plantes de type *exluder**)**