

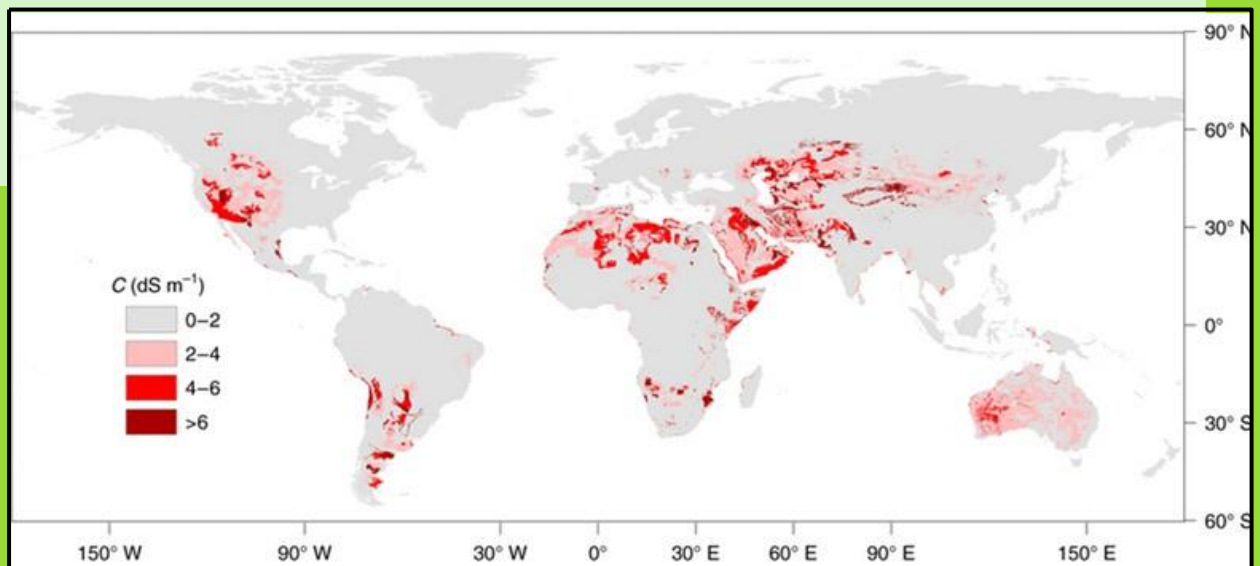
Salinization : causes and impacts

Salinization is the **excessive increase** in the **concentration** of **soluble salts** in soil or water.

Salts are chemical compounds made of positively and negatively charged ions. They can be found in solid forms or dissolved in water. In such case, they are referred to as soluble salts.

Salinization can result from natural processes, such as seawater intrusion, flooding, specific geological features or high evaporation rates, and dry climates, which means that water evaporates from the fields while salts remain in the soil. It can also be due to anthropogenic factors (secondary salinization) such as overuse of fertilizers, inadequate irrigation practices or insufficient drainage.

It is estimated that 424 million hectares of upper soil horizons (0-30 cm) and 833 million hectares of subsoil (30-100 cm) are defined as Salt-Affected Soils (SAS).



Global map of soils affected by salinization according to their salt concentration (FAO, 2021).

Salinity management includes:

- Prevention strategies to slow down or even **prevent** the worsening of the phenomena of salinization of the land.
- **Mitigation** and **adaptation measures** that would not only make it possible to improve the productivity of the SAS, but also in the long run, to recover them, improving the agricultural production.

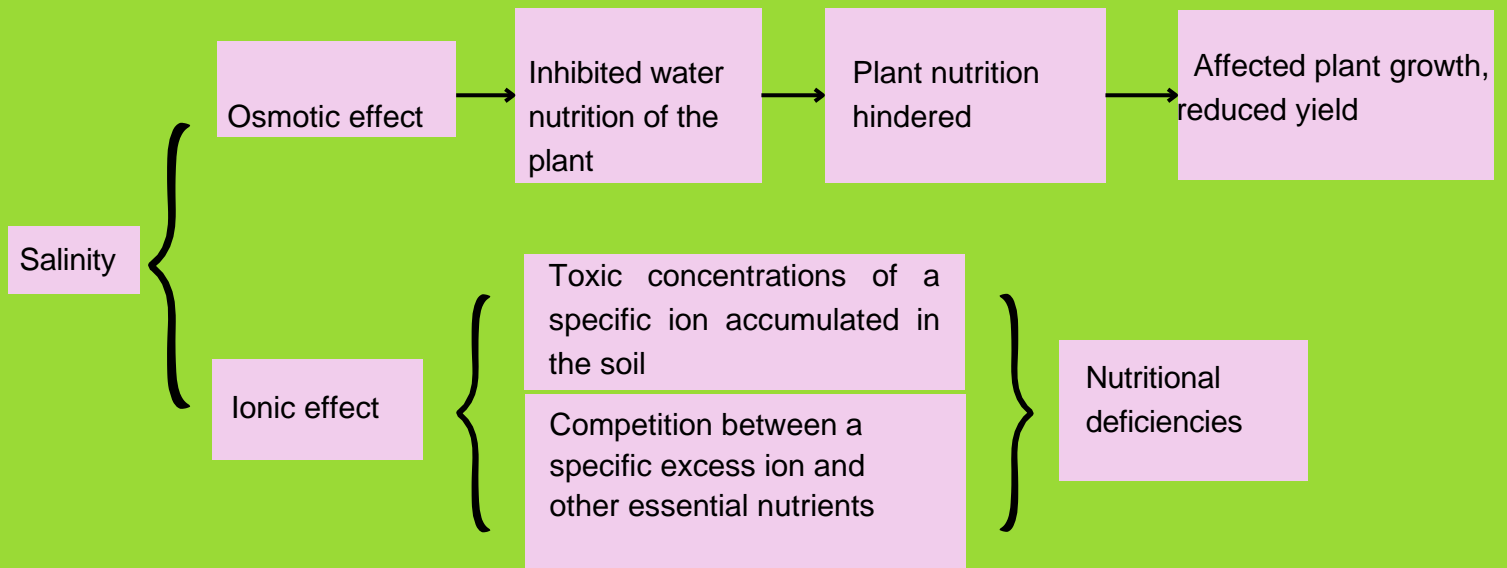
The type of salinity varies depending on the salts, soil characteristics, and effects on plant growth. A distinction is made between salinity, sodicity and salinity-sodicity.

Salinity type	Soil type	Characteristics	Appearance	Parameters
Salinity	Saline soils	Excess of soluble salts, mainly sodium (Na^+) and chlorine (Cl^-), as well as potassium (K^+) and sulfates (SO_4^-)	White (salt deposit at soil surface)	$\text{CE} > 4 \text{ dS.m}^{-1}$, $\text{PSE} < 15$, $\text{pH} < 8.5$
Sodicity	Sodic soils	Excess of sodium ions (Na^+) compared to other cations (Calcium Ca^{2+} , Magnesium Mg^{2+})	Black	
Salinity-sodicity	Saline-sodic soils	Have anions from both saline and sodic soils, i.e. Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- and CO_3^{2-}	Grey	

Effect of salinity

In saline soils, dominant cations and anions compete with other ions:

- The presence of Na^+ reduces the absorption of NH_4^+ and other cations.
- The presence of Cl^- decreases the uptake of NO_3^- . Cl^- is easily absorbed by the plant.



Excessive sodium concentrations in clay-rich soils can affect soil structure, resulting in dense soils with low infiltration rates

This affects the nutrients availability, reducing yields.

In saline soil, there is:

- Less biodiversity
- Less water available

Degradation of soil fertility by:

- Ion imbalance
- Ionic effect, phenomenon by which a specific ion accumulates in the soil in a very high concentration to the point where it becomes toxic to plants

Effect of sodicity

Sodicity causes degradation of soil structure

Plants are indirectly affected through soil compaction, which reduces soil aeration and root and water infiltration.

Seed germination and plant growth are hindered

The ionic imbalance that occurs in sodic soils can lead to toxic concentrations of certain elements such as sodium, molybdenum, or boron in plants

In a healthy soil, Ca^{2+} and Mg^{2+} usually bind clay particles together (flocculation phenomenon).

- Ca^{2+} has a flocculation (or aggregation) power 43 times greater than that of Na^{+}
- Mg^{2+} has a flocculation power 27 times greater than that of Na^{+}

In sodium soil, Na^{+} ions displace Ca^{2+} and Mg^{2+} ions, causing dispersion of clay particles

- In a "healthy" soil, the flocculation of soil particles allows water to circulate through the pores and promotes roots development
- In sodic soils, the dispersion of soil particles makes it less permeable to water and air

Excess sodium in the soil affects the transformation and availability of many nutrients.

The high pH value leads to deficiencies:

- Macronutrients: K, Ca, Mg and
- Micronutrients: Fe, Mn and Zn

There is an ionic imbalance in the soil, and the soil is poor in organic matter with generally low nitrogen availability.

Méthodes d'évaluation de la salinité

La mesure et le suivi de la teneur en sel des sols sont nécessaires pour identifier et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation efficaces. Des suivis peuvent se faire de façon visuelle ou par détermination précise en laboratoire.

1. Détermination visuelle de la salinité

Symptômes au niveau du sol: couleur et structure du sol.

- Les sols salins ont tendance à être de couleur blanche avec un dépôt de sel en surface
- Les sols sodiques sont noirs, compacts avec des particules dispersées, et engorgés

A partir d'un échantillon de sol placé dans un récipient transparent, on peut effectuer les observations suivantes:

- sol non sodique: suspension claire
- sol peu sodique: suspension partiellement trouble
- sol hautement sodique: suspension très trouble

Les sols salins-sodiques sont généralement gris.

Symptômes au niveau de la plante: différent selon les cultures et variétés à cause de leurs différents niveaux de tolérance

- Chlorose, brunissement des feuilles,
- Réduction de la surface foliaire
- Dessèchement, brûlure, nécrose
- Faible tallage,
- Réduction de la croissance des plantes,
- Stérilité des épis,
- Faible rendement,
- etc.



2. Détermination exacte

La salinité

Connaître avec exactitude le niveau de salinité à travers des mesures de certains paramètres peut permettre de mieux penser la stratégie à adopter dans la lutte contre la salinité.

La salinité peut être exprimée de plusieurs manières selon les objectifs de mesure:

- Le Total des solides dissous (TDS)
- Concentration totale des cations (TSC) ou anions solubles (TSA)
- Conductivité électrique (CE ou EC)

La conductivité électrique de l'eau est le paramètre le plus couramment utilisé pour estimer le niveau de salinité d'un sol. CE renseigne sur la capacité du sol à conduire le courant électrique

- C'est l'expression du seuil au-delà duquel une réduction significative du rendement peut survenir
- Exprimée en deciSiemens (dS/m), ms/cm ou $\mu\text{S/cm}$, et mmho/cm (1 dS/m = 1 mS/cm = 1000 $\mu\text{S/cm}$ = 1 mmho/cm)
- CE est fonction des ions présents dans le sol mais aussi de leur teneur (certains ions sont plus conducteurs que d'autres)
- CE peut être mesuré directement au champ ou au laboratoire en utilisant des équipements portables possédant une sonde (conductimètre)
- La température de référence pour ces équipements est de 25°C, sinon la mesure doit être ajustée= $EC \text{ à } 25^\circ\text{C} = EC \text{ de l'échantillon} \div (1 + (0.02 \times (\text{température de l'échantillon } ^\circ\text{C} - 25)))$

CEe (dS/m)	Intensité de la salinité	Effet sur la croissance de la culture
< 0.75	Aucune	Aucun
0.75 - 2	Légère	Aucun
2-4	Modérée	Les rendements des cultures sensibles peuvent être restreints
4-8	Forte	Les rendements de plusieurs cultures sont limités
8-15	Très forte	Seules les cultures tolérantes donnent un rendement satisfaisant
> 15	Extrême	Uniquement peu de cultures très tolérantes (halophytes) obtiennent un rendement de manière satisfaisante



→ Le total des solides dissous (TDS) désigne toutes les substances inorganiques et organiques dissoutes dans l'eau. Il est généralement exprimé en mg/l ou parties par million (ppm).

Il existe des formules de conversion de EC en TDS:

- TDS (mmol/L) \approx ECe (dS/m) \times 10
- TDS (mg/L or ppm) \approx ECe \times 640 (si $0.1 \leq$ ECe $<$ 5 dS/m)
- TDS (mg/L or ppm) \approx ECe \times 800 (si ECe \geq 5 dS/m)

La sodicité

Tout comme la salinité, la sodicité peut être exprimée de plusieurs manières :

- Le Ratio d'Adsorption de Sodium (SAR)
- Le Pourcentage de Sodium Echangeable (ESP)
- Le Ratio de Cations de Stabilité Structurale du sol (CROSS)

Méthode	Formule	Remarque
Ratio d'Adsorption de Sodium (SAR)	$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$	Méthode la plus populaire utilisée pour estimer la sodicité. C'est le rapport entre la concentration des ions sodium et les concentrations combinées des ions calcium et magnésium (Hanson et al., 2006) Les sols sodiques ont un SAR > 13 (FAO/UNESCO, 1974)
Pourcentage de Sodium Echangeable (ESP)	$ESP = \frac{Na}{CEC} \times 100$	Renseigne sur la quantité des ions Na ⁺ qui occupent les sites d'échange cationiques. Se calcule en déterminant chaque composante de l'équation ci-dessous Na (mmol/kg) est la quantité d'ions Na ⁺ échangeable CEC (mmol/kg) = Capacité d'Echange Cationique (pouvoir d'un sol à retenir et échanger des cations, ou quantité maximale de cations qu'il peut adsorber) Dans un sol sodique PSE > 15
Ratio de Cations de Stabilité Structurale du sol (CROSS)	$CROSS = \frac{NA + 0.56K}{\sqrt{\frac{Ca + 0.60Mg}{2}}}$	Comptabilise l'effet des ions sodium et potassium sur la dispersion de l'argile ainsi que celui des ions calcium et magnésium sur la floculation (FAO & ICBA, 2023) K =0.56: coef basé sur le rapport des pouvoirs dispersifs du sodium et du potassium Mg =0.6: coef basé sur le rapport des pouvoirs du calcium et du magnésium

Preventing saltwater intrusion

Preventing saltwater intrusion into agricultural land is essential to maintain soil health and crop productivity, especially in coastal regions. Preventive measures can act as barriers that prevent salt water from entering the fields in the first place.

→ These nature-based solutions and infrastructure improvements help protect farmland from threats caused by saltwater intrusion.

1. Natural barriers

Mangroves, salt marshes and seagrass beds can act as buffers and prevent saltwater from penetrating further inland.

+Mangroves also improve sediment capture and accumulate organic matter, contributing to soil stability and fertility.

- While these nature-based solutions may show promise as measures to prevent saltwater intrusion, their adoption should be assessed based on local geographic constraints.

2. Wetland restoration

Wetland restoration in deltas is another strategy. Wetlands filter water and recharge groundwater resources, storing fresh water during periods of rainfall and gradually releasing it.

When groundwater levels are high, counter-pressure against saltwater intrusion takes place.

For example, overexploitation of the aquifer has accelerated saltwater intrusion into the Mekong Delta. Wetland restoration has taken place in the Can Gio Biosphere Reserve, resulting in a balanced interface between freshwater and saltwater.

+The co-benefits of wetland restoration may involve flood mitigation and improved fisheries.

-However, wetland implementation is challenged by land-use conflicts and wetland restoration is more likely to be promising in areas that have past or existing wetland ecosystems.

3. Anti-salt dams

Mechanical actions can also be used to minimize saltwater intrusion: hydro-agricultural structures such as salt dams and dikes are usually built by local communities to protect unsalted land.

Gestion de l'eau pour contrer la salinisation

La gestion de l'eau est étroitement liée à la salinisation. Les méthodes d'irrigation qui appliquent de grandes quantités d'eau, comme l'irrigation par inondation, peuvent élever la nappe phréatique si le drainage est insuffisant. Lorsque la nappe phréatique monte, les sels des couches plus profondes du sol peuvent être amenés jusqu'à la zone racinaire par capillarité, ce qui entraîne une salinisation. L'irrigation par inondation entraîne également une distribution inégale de l'eau dans les champs. L'engorgement dû à un drainage inadéquat entraîne une salinisation accrue lorsque l'eau s'évapore et contribue à l'accumulation de sel à la surface du sol

1. Irrigation réduite

Les techniques d'irrigation pour contrer la salinisation reposent sur une consommation d'eau plus faible (par exemple la micro-irrigation) et une optimisation des programmes d'arrosage.

-L'irrigation au goutte-à-goutte peut entraîner de plus grandes économies d'eau et une suppression du sel.

-L'irrigation souterraine (ou irrigation goutte à goutte souterraine) amène l'eau directement dans la zone racinaire des plantes, ce qui minimise l'évaporation et les pertes d'eau. Elle peut être encore plus adéquate que l'irrigation goutte à goutte conventionnelle car elle permet une meilleure répartition de l'humidité.

2. Lessivage

L'accumulation excessive de sel dans la zone racinaire peut être évitée en appliquant une quantité d'eau supérieure aux besoins de la culture.

En pratique, une quantité d'eau supérieure aux besoins de la culture est appliquée pendant la saison de croissance, de sorte que l'eau en excès déplace une partie des sels plus profondément que la zone racinaire par percolation en profondeur. Cette quantité est connue sous le nom de besoins ou exigences de lessivage ou L_r , la partie de l'eau infiltrée qui doit passer à travers la zone racinaire pour maintenir la salinité à des niveaux acceptables.

Conditions pour un lessivage réussi :

-L'eau d'irrigation doit être pauvre en sels

-Le sol doit être perméable

-Le drainage doit être assuré à des niveaux suffisants. La présence prolongée d'une lame d'eau stagnante à la surface du sol détruit la structure du sol et épuise l'azote dans le sol

NOTE: Pour contrôler l'équilibre en sel dans la zone racinaire, les exigences de lessivages doivent être pris en compte en parallèle des besoins en eau des cultures

Exemple de calculateur de besoins de lessivage en ligne : salinity.ucr.edu/Sindex.html

L'équation couramment utilisée pour calculer le besoin en lessivage est la suivante;

$$LR = EC_w / 5 (EC_e - EC_w)$$

Avec

EC_w = salinité de l'eau d'irrigation, conductivité électrique (dS/m)

EC_e = tolérance critique à la salinité de l'installation, conductivité électrique (dS/m)

3. Ajustement du calendrier d'irrigation

L'irrigation de surface peut contribuer à éliminer l'accumulation de salinité dans la zone racinaire et à garantir des conditions de production végétale optimales lorsqu'elle est effectuée en un nombre réduit d'épisodes d'irrigation. De petits intervalles d'irrigation favorisent l'absorption de l'eau des couches supérieures du sol, ce qui augmente les pertes par évaporation de la surface du sol et conduit à une augmentation de la concentration en sel.

Cependant, de grands intervalles d'irrigation peuvent également conduire à la salinisation : lorsque la teneur en eau du sol s'assèche, le sel est transporté vers le haut dans le sol à partir des couches plus profondes ou des eaux souterraines salines par capillarité.

4. Irrigation par intermittence

Consiste à programmer l'application d'eau en alternant cycles humides et secs pendant la culture.

- a. Nécessite un à deux tiers d'eau en moins que l'inondation
- b. Provoque le lessivage des sels des pores les plus fins du sol
- c. Méthode plus adaptée uniquement aux conditions de faible évaporation: pendant les périodes d'assèchement, en raison du mouvement de l'eau des horizons plus profonds vers la surface du sol, les sels sont lessivés jusqu'aux faibles profondeurs du sol
- d. Meilleure performance si combinée au paillage surtout sur des sols à faible taux de drainage et grande nappe phréatique

5. Mélange d'eaux à niveaux de salinités différents

Si les réserves d'eau douce ne suffisent pas à couvrir les besoins des cultures, les eaux salines peuvent être utilisées soit séparément des ressources en eau douce, soit de manière cyclique, soit en combinaison avec de l'eau douce.

-Dans une stratégie d'irrigation cyclique, l'eau douce doit être appliquée pendant les stades de germination et de semis, qui sont des moments critiques où la plante est la plus sensible. L'application d'eau salée serait effectuée par la suite, lorsque la plante a des niveaux de tolérance à la salinité plus élevés.

-Lorsque l'eau salée et les sources d'eau douce sont mélangées, le mélange d'irrigation qui en résulte doit cibler un niveau de salinité pour la culture spécifique. Le mélange des sources d'eau nécessite des infrastructures adéquates telles qu'un réseau de dilution et des réservoirs de stockage.

6. Collecte d'eau

Les installations de collecte des eaux de pluie peuvent garantir la disponibilité de l'eau douce à l'échelle de la ferme pour l'irrigation d'urgence ou, à plus grande échelle, s'aligner sur les besoins d'approvisionnement public.

Cultural methods to control salinity

1. Addition of organic matter

Adding organic matter to the soil improves soil structure and removes salts. The organic matter in the soil helps to form aggregates, which improves soil structure. Organic matter can be built via the use of organic fertilizers, the incorporation of straw, or biochar.

As a result, soils have a greater ability to retain water and reduce the concentration of soluble salts instead of accumulating them in the root zone.

Soils that have aggregates have pores that allow air and water movement in the soil. In the case of excessive concentrations of salts, they are leached deeper into the soil profile.

Use of organic fertilizers

Organic fertilizers are derived from natural sources, such as animal manure, compost, or cover crops. The use of organic fertilizers gradually increases the organic matter content of the soil.

-In addition, the carbon source offered by organic matter in the soil stimulates the activity of microorganisms that break down organic matter.

-Nutrients essential for plant growth are released gradually, which promotes nutrient cycling and availability in the soil. Effective nutrient management promotes the balance of soil ecosystems and prevents the accumulation of salts.

Incorporation of straw

Incorporating straw can be an important way to increase the organic matter content of the soil. Straw incorporation techniques include ploughing, disking or harrowing.

- Mulching or conservation tillage is also recommended, which leaves the straw on the soil surface.
- Mulching reduces the evaporation of water from the fields and thus reduces the upward movement of salts in the soil.
- However, one must be aware that the quality and quantity of straw influence the effectiveness of this measure. In addition to increased methane emissions, slow decomposition of straw in fields or excess residues can hinder crop germination and development.

Biochar

Studies have shown that rice husk biochar amendment has a positive effect on the growth and yield of rice plants growing in soil subject to saltwater intrusion at the seedling stage. Biochar mitigates the adverse effects of saltwater intrusion by absorbing Na^+ ions from the soil, reducing Na^+ uptake by the shoot, and increasing the K^+/Na^+ ratio.

2. Halotolerant microorganisms

Halotolerant microorganisms can improve the ability of plants to cope with salt stress. Accurate and appropriate bioinoculants should be selected together with the crop variety.

- Promotes plant growth, stress tolerance, and nutrient absorption, suggesting that microbial inoculations could bring promising results in supporting plant growth in saline environments.
- However, the introduction of microbial inoculants into crop ecosystems increases the risk of endangering native microbial communities.

3. Crop rotation

Crop rotations ensured by alternating salt-tolerant and salt-sensitive varieties can disrupt the salt accumulation cycle, ultimately alleviating plant stress.

- Salt-sensitive species would be grown during the rainy season, while tolerant varieties can be grown during the dry season.
- Allowing a fallow period at the beginning of the rainy season allows the rain to wash away the salt and lower salinity levels.
- Cover crops incorporated into crop rotation are another promising practice, which can be used as mulch for the main crop.

4. Land levelling

Land levelling consists of ensuring a uniform and flat slope on the land, directing water to a certain area, or eliminating the slope on the land and preventing salt build-up in specific places.



Agronomic management to combat salinity

- Agronomic options for salt-affected soils are based on the combination of different nutrient sources (nitrogen, phosphorus, potassium, gypsum, and zinc), salt-tolerant rice varieties, and well-prepared soil.
- Options applicable on saline soils with EC values up to 5 dS/m.
- The use of agronomic management options follows the following 5 steps:

1. Consideration of agronomic management options

Agronomic management options	Additional cost (US\$/ha)	Expected benefit (US\$/ha)
Salt-tolerant variety (ISRIZ 10 or ISRIZ 11) + NPK fertilizer + gypsum + zinc fertilizer	220	542
Salt-tolerant variety + NPK + gypsum	159	285
Salt-tolerant variety + NPK + zinc	195	288
Salt-tolerant variety + NPK	134	165

2. Crop variety choice

ISRIZ 10: Parents: IR 4630-22-2/IR 31785-58-1-2-3-3:
 Potential yield: 11 t/ha
 Yield in farmer's field: 7 t/ha
 Days to maturity: 130 days (dry season), 122 days (wet season)
 Plant height: 90 cm
 Soil salinity tolerance level: up to 5 dS/m.

ISRIZ 11: IR 20/IR 24//IR 65195-3B-13-2-3:
 Potential yield: 12.5 t/ha
 Yield in farmer's field: 6.5 t/ha
 Days to maturity: 125 days (dry season), 105 days (wet season)
 Plant height: 95 cm
 Soil salinity tolerance level: 4–5 dS/m.

3. Preparation of the fertilization plan

Variety	ISRIZ 10			
Season	Dry season			
Establishment	Direct seeding			
Rice growth stage		Basal	Tillering	Panicle initiation
Application timing	Land preparation	Sowing	41–45 DAS	63–67 DAS
Gypsum (kg/ha)	100	0	0	0
DAP (kg/ha)	0	129	0	0
MOP (kg/ha)	0	236	0	0
Sulfate of zinc (kg/ha)	0	27	0	0
Urea (46–0–0) (kg/ha)	0	54	104	52
Variety	ISRIZ 10			
Season	Wet season			
Establishment	Direct seeding			
Rice growth stage		Basal	Tillering	Panicle initiation
Application timing	Land preparation	Sowing	31–35 DAS	43–47 DAS
Gypsum (kg/ha)	100	0	0	0
DAP (kg/ha)	0	129	0	0
MOP (kg/ha)	0	236	0	0
Sulfate of zinc (kg/ha)	0	27	0	0
Urea (46–0–0) (kg/ha)	0	54	104	52

Variety	ISRIZ 11			
Season	Dry season			
Establishment	Direct seeding			
Rice growth stage		Basal	Tillering	Panicle initiation
Application timing	Land preparation	Sowing	36–40 DAS	53–57 DAS
Gypsum (kg/ha)	100	0	0	0
DAP (kg/ha)	0	129	0	0
MOP (kg/ha)	0	236	0	0
Sulfate of zinc (kg/ha)	0	27	0	0
Urea (46–0–0) (kg/ha)	0	54	104	52
Variety	ISRIZ 11			
Season	Wet season			
Establishment	Direct seeding			
Rice growth stage		Basal	Tillering	Panicle initiation
Application timing	Land preparation	Sowing	31–35 DAS	43–47 DAS
Gypsum (kg/ha)	100	0	0	0
DAP (kg/ha)	0	129	0	0
MOP (kg/ha)	0	236	0	0
Sulfate of zinc (kg/ha)	0	27	0	0
Urea (46–0–0) (kg/ha)	0	54	104	52

Note: DAS, days after sowing; DAP, di-ammonium phosphate; MOP, muriate of potash.

4. Fertilization, land preparation and application of good agricultural practices

- Prior to land preparation, apply 100 kg/ha of gypsum evenly to the field if gypsum is selected. NB: Gypsum helps replace sodium ions in the soil with the calcium it contains, thus causing the removal of sodium.
- Plow and harrow the field to improve soil physical conditions for adequate aeration and water retention, while facilitating the rapid sowing and germination of rice.
- Level the field to ensure even water distribution.
- Other good agricultural practices developed for the Senegal River Valley should be applied (see good agricultural practices for rice in Senegal, innovation note 005: <https://www.africarice.org/brochures>) to achieve a greater rice response to fertilizers and a higher profit.

5. Follow good agricultural practices

As developed in "Good Agricultural Practices for Rice in Senegal" for weed management, water management and harvesting

Adaptation to salinity in rice cultivation: use of salt-tolerant varieties

- Halophyte plants can survive up to a salinity level of about 20 dS/m thanks to many strategies such as morphological adaptations and physiological mechanisms.
- In highly saline soils and water where conventional agriculture can be practiced, highly salt-tolerant species (halophytes), which are useful both economically and ecologically, can be grown.
- Rice is not considered a salt-tolerant plant as the plant can only withstand a certain salt stress threshold of 1.9 dS/m. It is a moderately sensitive plant.
- However, the combination of leaching and continuous rice cultivation throughout the year reduces the concentration of salt in the soil.

1. Salt-tolerant varieties

The selection of rice varieties with intrinsic salt tolerance is a promising approach as it requires less resources and is both economically and socially acceptable.

Effect of EC levels of irrigation water > 2 mS/cm on rice in the delta of the Senegal river

- Sensitive varieties: losses of up to 1 t/ha per unit of electrical conductivity (mS/cm)
- Tolerant varieties: yield reduction of up to 0.6 t/ha per unit of electrical conductivity (mS/cm)

	ISRIZ 10	ISRIZ 11
Cycle duration	130 days	120 days
Potential yield	11 t/ha	12.5 t/ha
Threshold level for salinity tolerance	5 dS/m	4-5 dS/m

Other examples of salt-tolerant varieties

- IR63275-B-1-1-3-3-2
- WAS73-B-B-231-4
- IR59418-7B-21-3
- IR76346-B-B-10-1-1-1
- IR72593-B-3-23-8

2. Integrated management

- The use of salt-tolerant varieties in combination with soil and crop management methods is more productive and economically viable.
- The proper use of soil amendments, including a gypsum amendment combined with NPK fertilizer, have been shown to be effective in managing salinity and increasing rice productivity.
- Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) is a soil amendment that regulates the exchange of sodium (Na^+) ions for calcium (Ca^{2+}) at the clays surface. When incorporated into the soil, gypsum also promotes plant growth by providing sulfur (S), which stimulates the production of organic compounds (phytohormones, amino acids, osmoprotectants, etc.) supporting the plants' response to salt stress. Gypsum comes from sedimentary rocks with a high sulphur and calcium content. It can also be a by-product of the industrial production of sulfuric and phosphoric acids. A general guideline for the application of gypsum for soil salinity mitigation is that 3.4 t/ha is required to replace 1 cmolc of exchangeable Na/kg of dry soil in a soil layer of 30cm.
- In the Senegal River Delta, zinc application has a positive effect on sensitive and moderately tolerant rice varieties that can lead to an increase in rice yields of 7 to 42% compared to the zinc-free fertilization option.
- For a given variety grown in saline conditions, the addition of gypsum during fertilization allows an increase in yield of 17 to 52%.

Sodic Soil Management

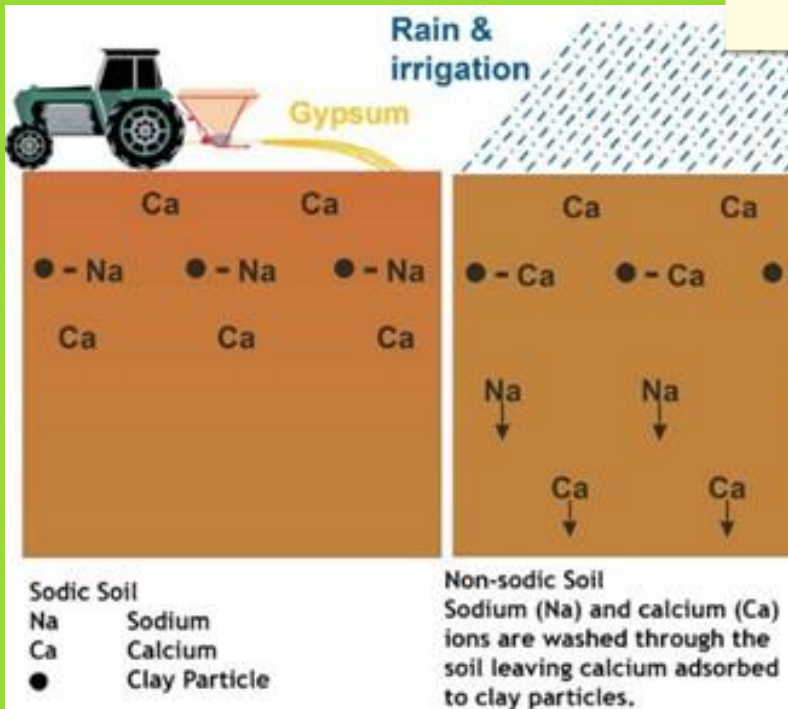
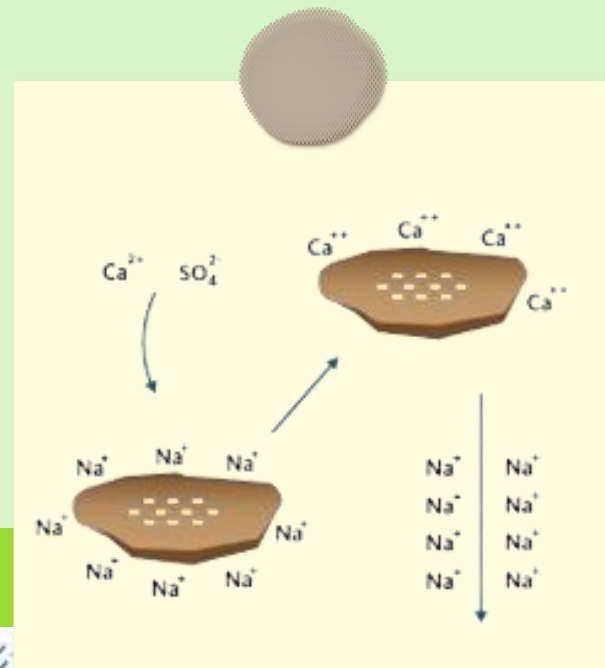
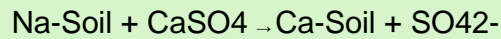
- To recover a sodic soil, 3 essential conditions must be met: a source of soluble calcium must be supplied, provision of an excess water supply to conduct leaching, and internal drainage of the soil.
- Combining these conditions with a recovery crop such as rice under a particular fertilization further reduces sodicity and helps reduce recovery costs.

Quantity of gypsum applied (t/ha)	% of exchangeable sodium			
	Before rice		After rice	
	0-15cm layer	15-30 cm layer	0-15 cm layer	15-30 cm layer
0	87	94	50	63
7.5	67	87	29	63
15	33	83	26	56
22.5	16	64	16	33
30	14	57	13	36

- The rice plant has a high sodicity tolerance
- Growing rice in sodic conditions requires special fertilization to optimize production
- Sodidity increases the time required for urea hydrolysis when applied, depending on pH
- Calcium nitrate and calcium chloride are the most soluble but also the most expensive
- Calcium chloride tends to negatively affect plant productivity because it is a more active salt than calcium sulfate
- High concentrations of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} reduce the uptake of Na^+ by the plant

Calcium sources	Solubility (g/l)
Calcium nitrate	1212
Calcium chloride	750
Calcium sulfate (gypsum)	2.55
Calcium carbonate	0.0062

- Gypsum (calcium sulfate (CaSO_4)) removes sodium through the interaction between sulfate ions and sodium
- The SO_4^{2-} and Na^+ ions attract each other and form sodium sulphate, which is highly leachable into the soil
- Then the irrigation of the plot will carry the sodium deep down
- The Ca^{2+} ion will bind to the soil particles



- Apart from sodium, saline-sodic soils also contain excessive amounts of other soluble salts.
- For this type of soil, sodicity must be treated first with the application of soluble calcium sources.
- Then leaching must be conducted to remove salts.