

Salinité des eaux et des sols

Définitions, problématique et implications pour la gestion des territoires côtiers

Prof. François COLIN



Département Milieux-Productions-Ressources-Systèmes

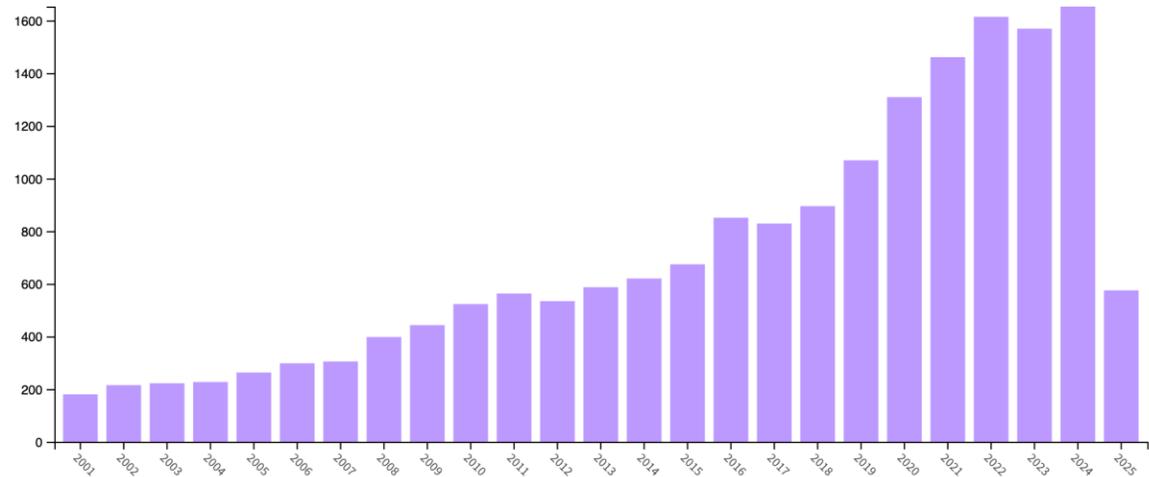
Bibliométrie

SOL et EAU et SALINITE

20 000 publications depuis 1956



Web of Science™



Enjeux globaux

Ressources en sol

Pérennité des productions agricoles

Diversité des écosystèmes

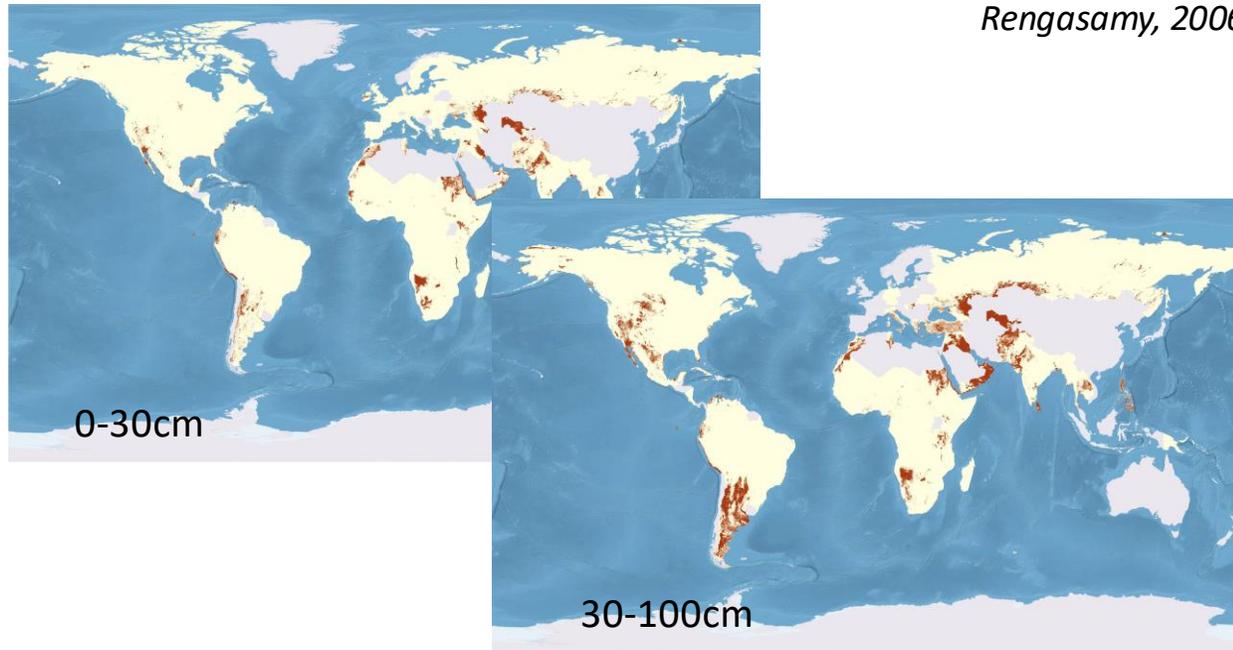
Forçages climatiques et d'usages des terres

Continent	Area (million hectares)		
	Saline	Sodic	Total
North America	6.2	9.6	15.8
Central America	2.0	–	2.0
South America	69.4	59.6	129.0
Africa	53.5	27.0	80.5
South Asia	83.3	1.8	85.1
North and Central Asia	91.6	120.1	211.7
Southeast Asia	20.0	–	20.0
Europe	7.8	22.9	30.7
Australasia	17.4	340.0	357.4
Total	351.5	581.0	932.2

Szabolcs, 1989

932.2 Mha

Rengasamy, 2006



< 833 M ha

8.7%

20 to 50 % des zones irriguées

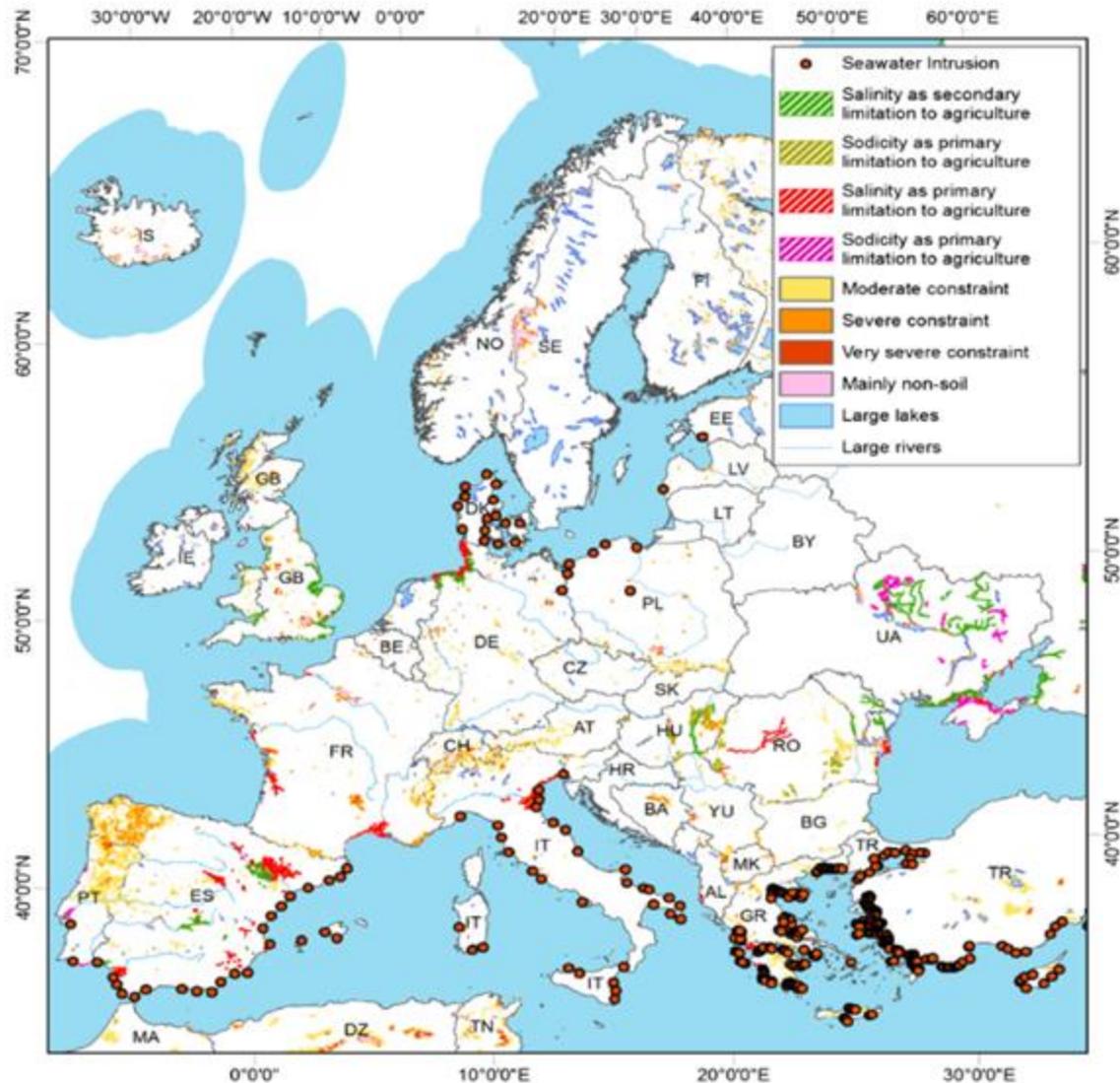
Prédominance des zones semi-arides
ou arides

GLOBAL MAP of salt-affected soils

GSASmap v1.0

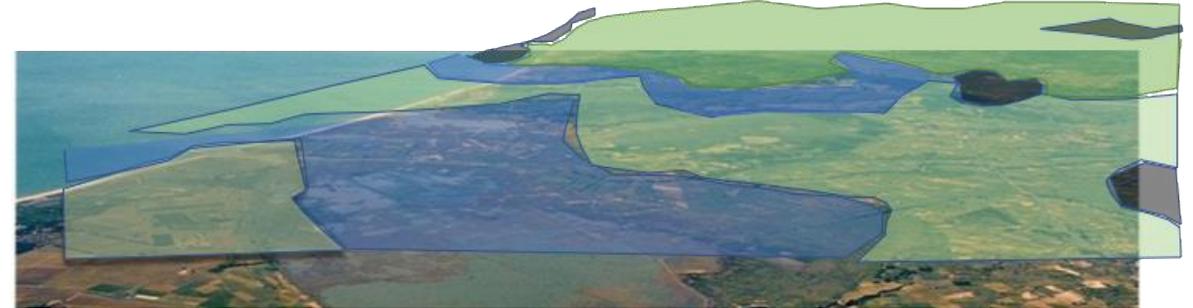
FAO, 2021

Enjeux globaux



Daliakopoulos et al., 2016

Problématique continentale et côtière liée aux ressources et à la gestion de l'eau



Zones côtières

- Mosaiques et interfaces
- Concentration des changements globaux
- Ressources : Eau / Sol / Biodiversité spécifique
- Question du maintien de l'agriculture

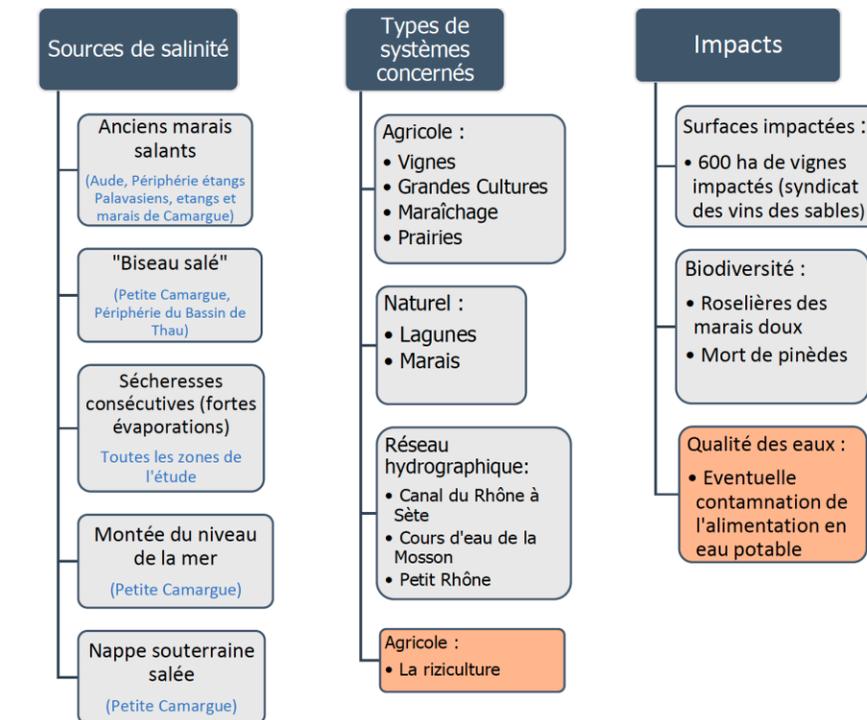
Enjeux locaux

Perceptions : lieux concernés



Enquête structures territoriales et Chambres d'Agriculture, 2023

Perceptions et objets concernés



Atanasova, 2023

Des enjeux aux recherches

une forte demande du terrain
liée à la viticulture et aux écosystèmes côtiers



Domaine Royal de Jarras (GDL)
Domaine de Pive (Advini)
Domaine de l'Espiguette (IFV)
Domaine du Petit Saint-Jean (Tour du Valat)

Domaine de Villeroy (GDL)

Les Verdisses
(Agglo Hérault Médit.)

Cave coop.
de Sérignan
BRLe

PNR, Le Grand Narbonne
AE RMC, Région Occitanie
CA11, U ASA EA, SMMAR
BRGM

Doctorats

Elen BLESS (2019), Laurène MARIEN (2023),
Victor BERTELOOT, Laurane HENNEQUIN

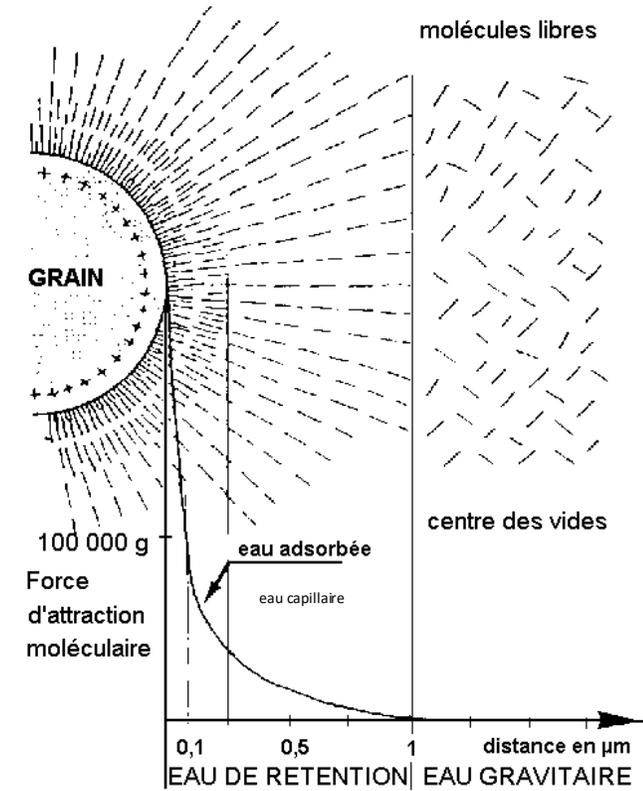
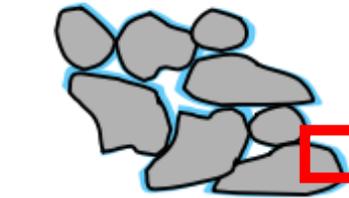
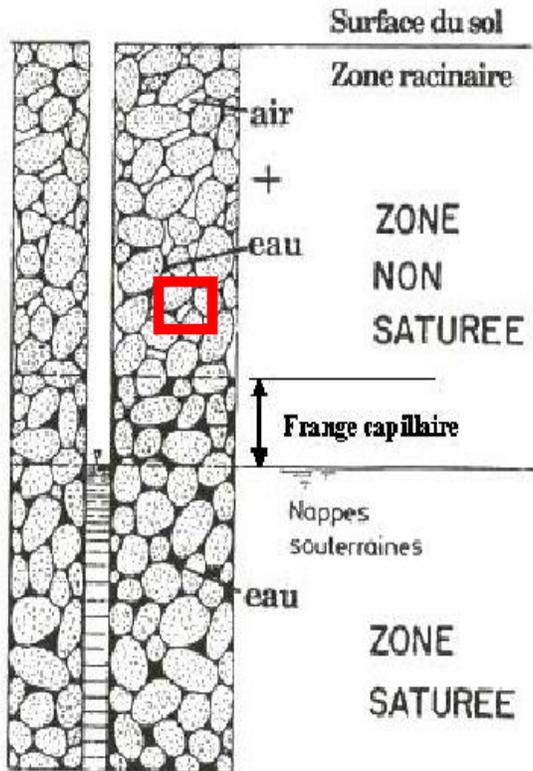
Stages et projets étudiants

Projets

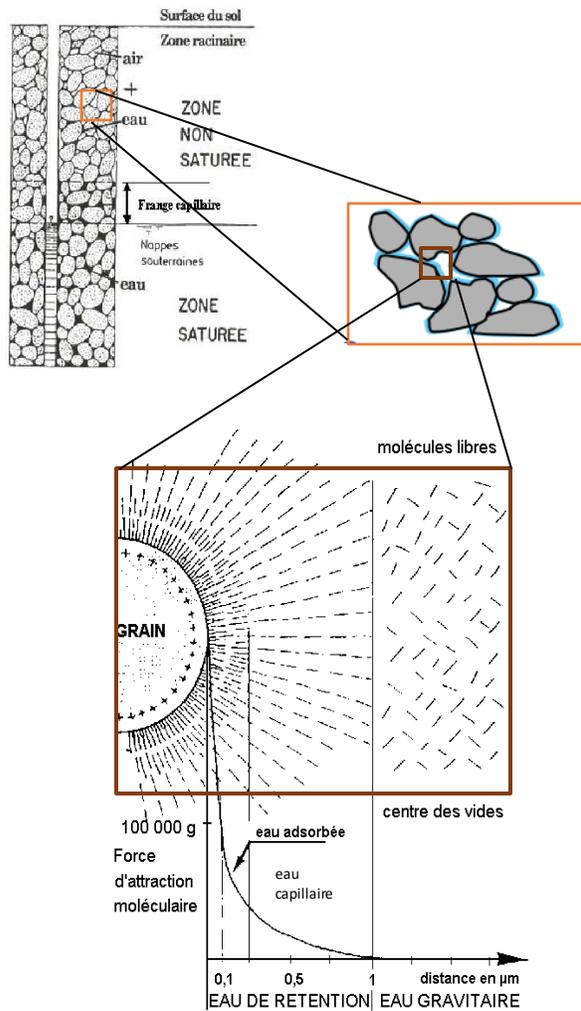
SALIN 1, SALIN 2, SALT'EAUX

Sol, Eau, Sels

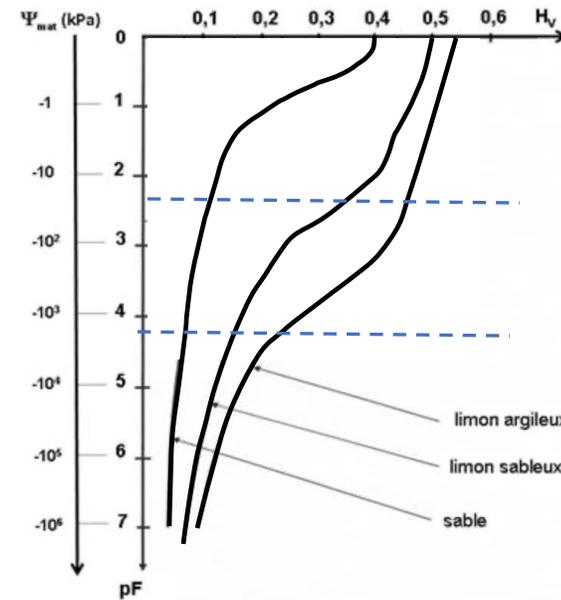
Le sol : un milieu tri-phasique



Sol, Eau, Sels



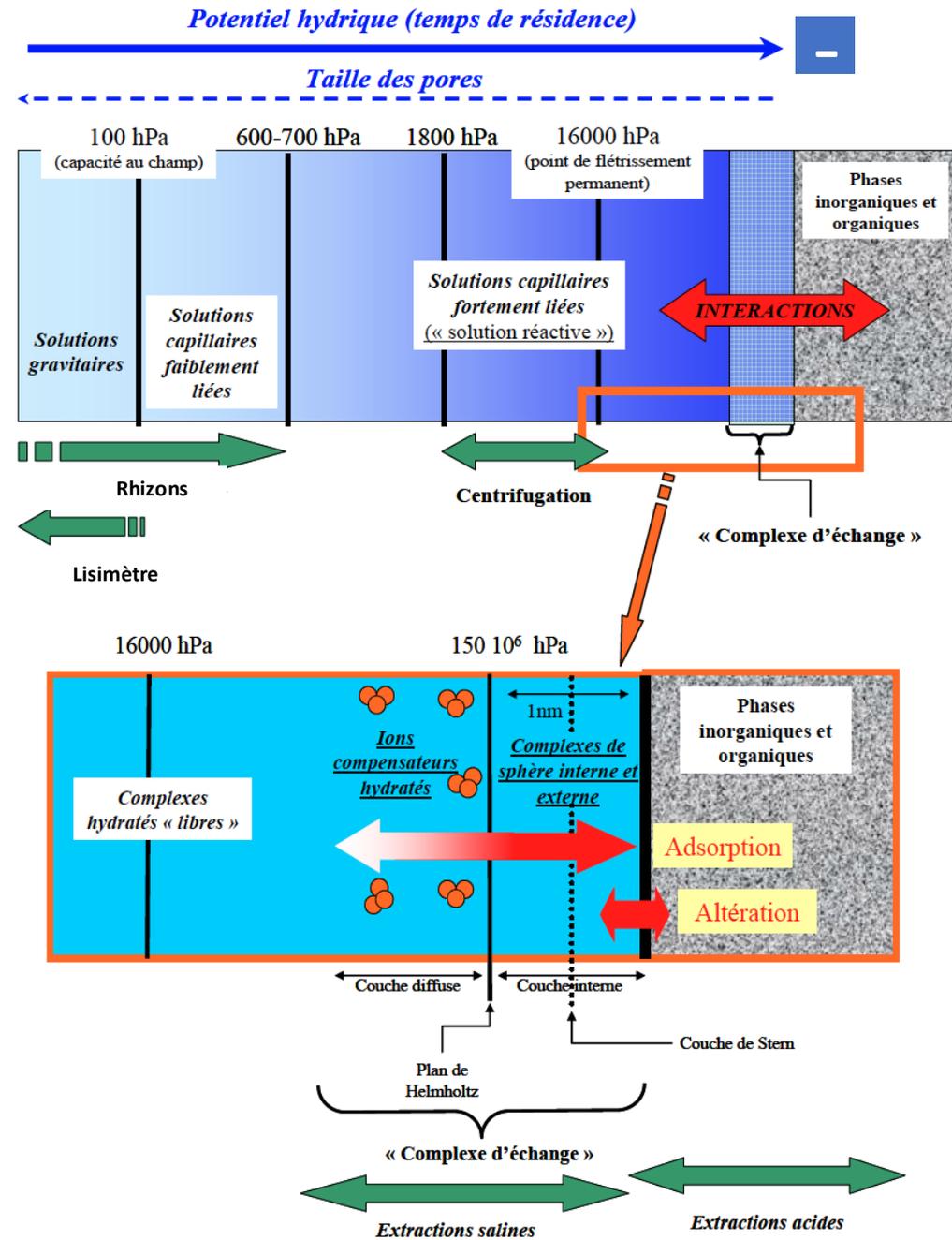
Pression (Pa, bar, atm) et potentiel de l'eau (m)



$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar} = 9,86923267 \text{ atm} = 101,97 \text{ m}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$pF = \log_{10} (-\psi) \quad \text{avec } \psi \text{ en cm}$$

Sol, Eau, Sels



F. Gérard, 2008

Les sels dans les sols

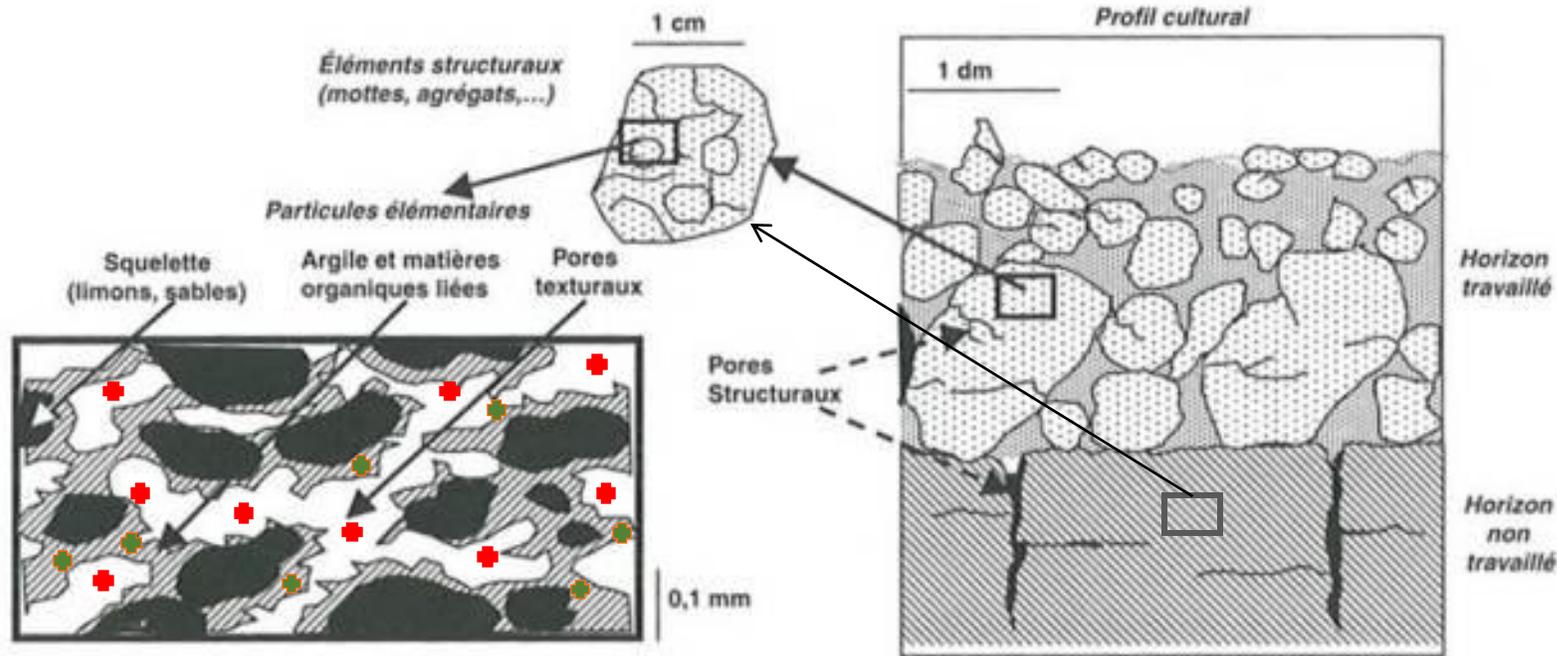
Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄⁻⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻⁻, NO₃⁻

Dissous dans la solution du sol

$$EC = a \cdot \sum v_i \cdot C_i$$

Adsorbés sur les particules de sol

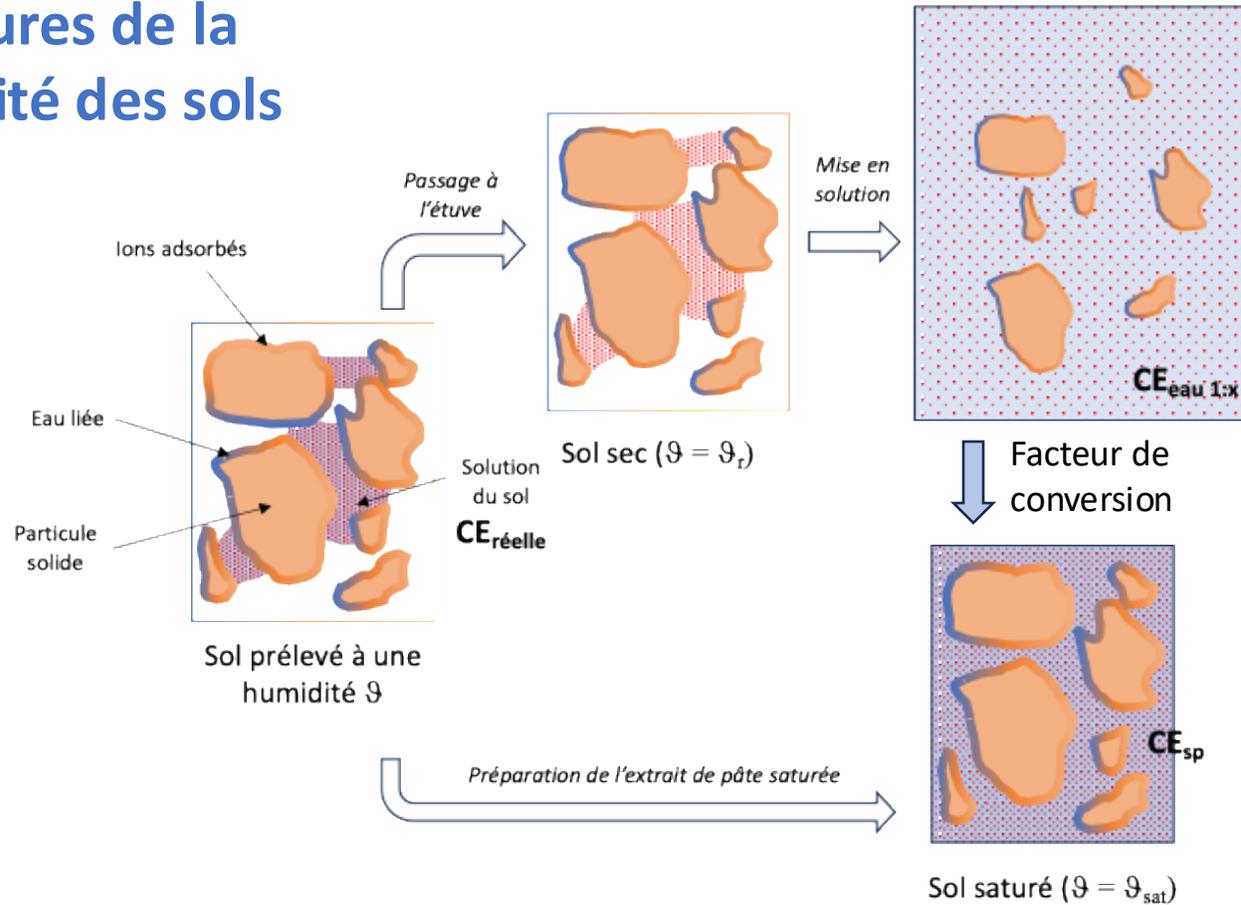
$$ESP = \frac{[Na^+]}{CEC} \times 100 \%$$



à partir de Girard et al., 2005

Sols salés, sodiques et sali-sodiques

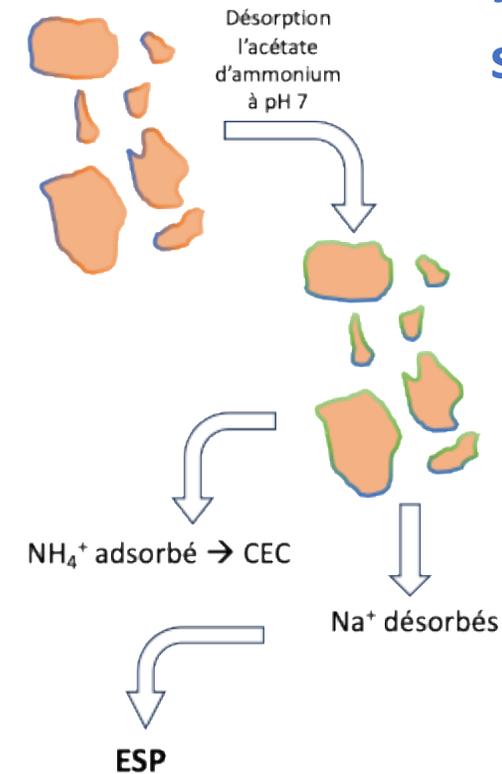
Mesures de la salinité des sols



Catégorie de salinité des sols	CE_{sp} ($mS \cdot cm^{-1}$)	Effet sur les cultures
Non-salé	0-2	Effets négligeables sur le rendement
Légèrement salé	2-4	Diminution de rendement des cultures très sensibles
Moyennement salé	4-8	Diminution de rendement de nombreuses cultures
Très salé	8-16	Seules les cultures tolérantes ont un rendement satisfaisant
Extrêmement salé	>16	Seules les cultures très tolérantes ont un rendement satisfaisant

(FAO, 1988 ; L. A. Richards, 1954)

Mesures de la sodicité des sols



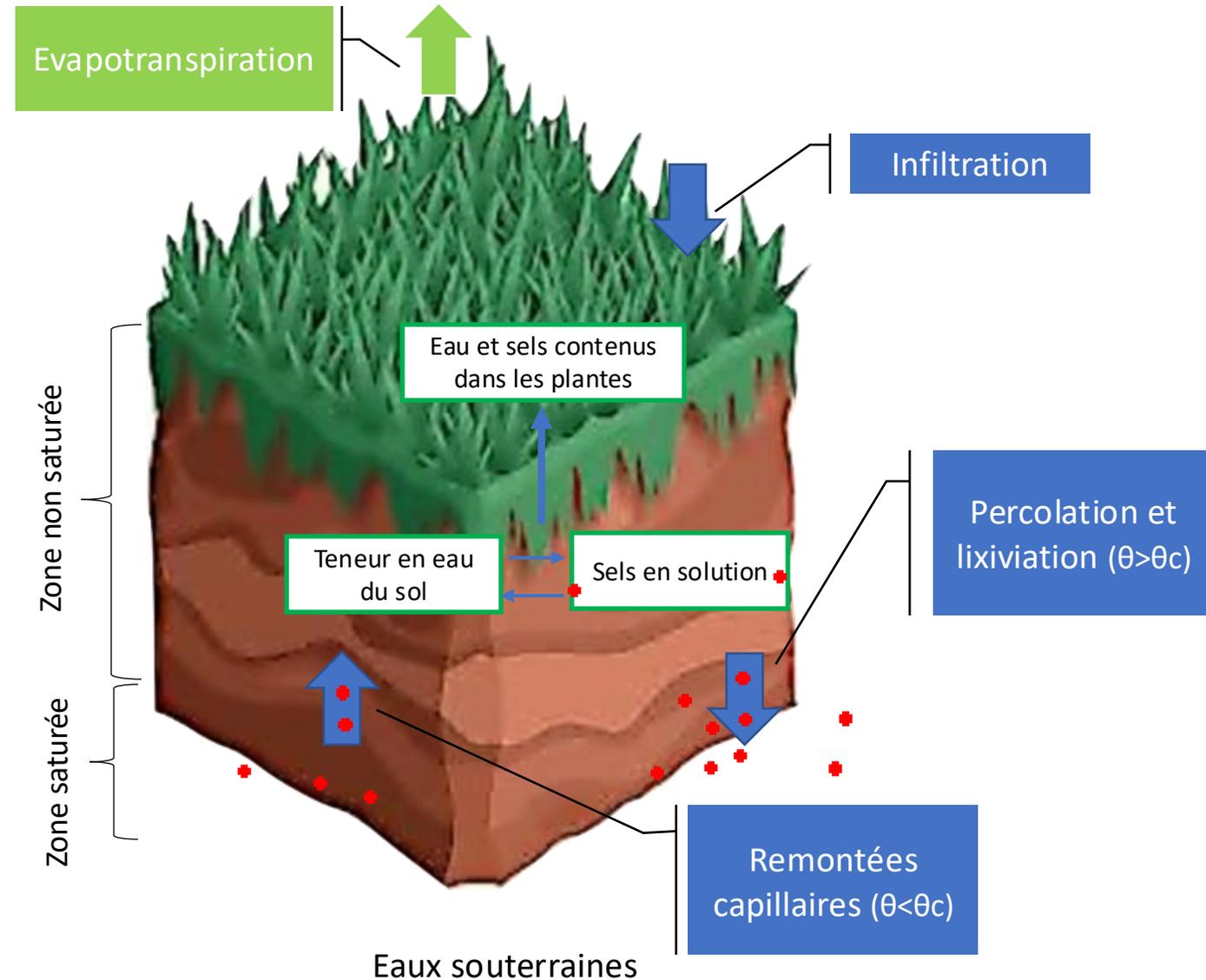
ESP (%)	Risque de sodicité
< 15	Aucun à léger
15 - 30	Faible à modéré
30 - 50	Modéré à fort
50 - 70	Fort à très fort
> 70	Extrêmement fort

(FAO SOILS BULLETIN 39, 1988)

François COLIN

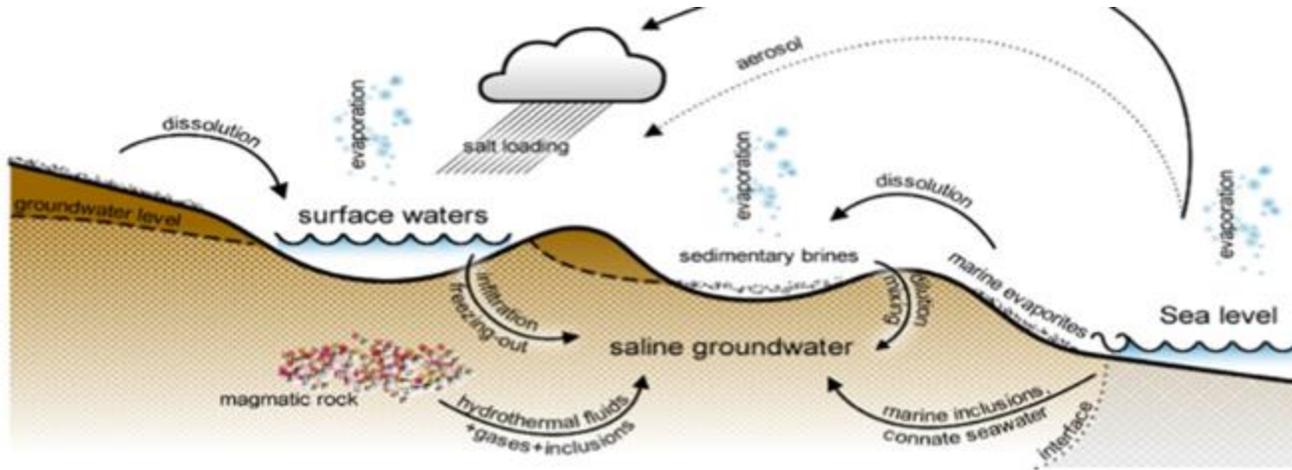
Processus de salinisation

À l'échelle d'un profil de sol

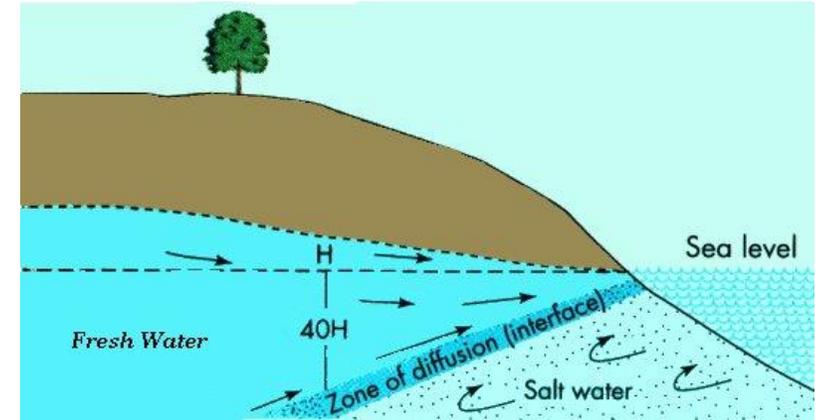


Processus de salinisation

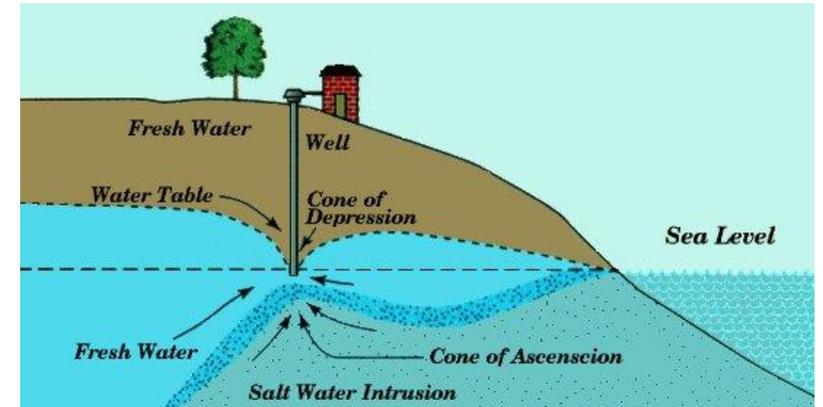
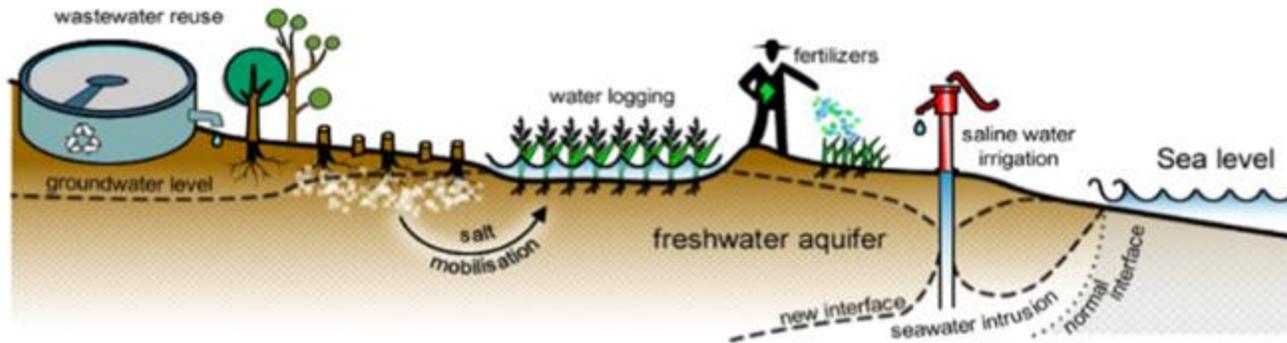
Salinisation primaire



En zone côtière



Salinisation secondaire



(Daliakopoulos et al., 2016)

(Custodio, 2005, Wals, 2015, Zhang, 2024)

Impact de la salinité sur les ressources naturelles



Impact sur les sols

Fosse pédologique



Échantillon de sol



Densité apparente

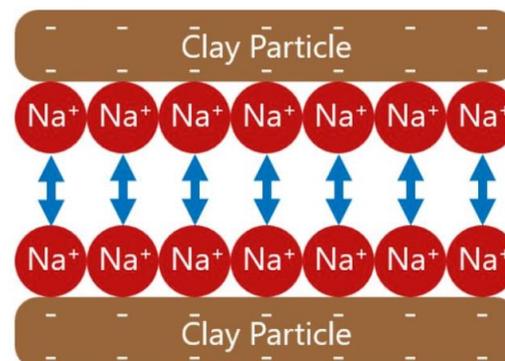


Stabilité structurale des sols

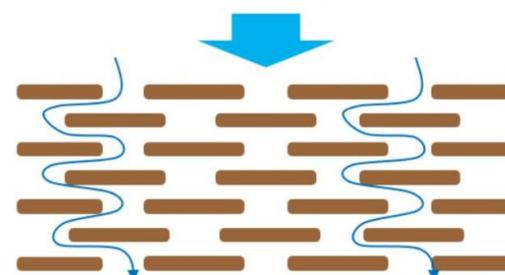


(Photos : Bless, Colin, Follain)

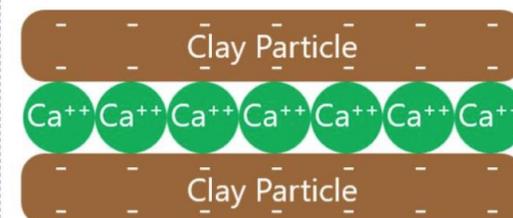
Dispersion by Monovalent Sodium Ions



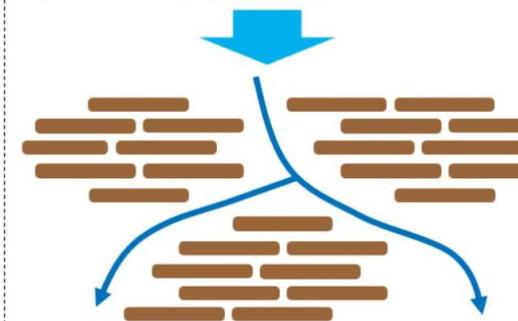
Sodium ions are attracted to clay particles but repel the sodium ions on adjacent particles.



Flocculation by Divalent Calcium Ions



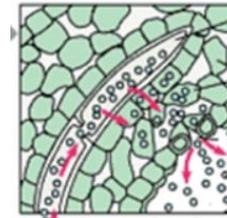
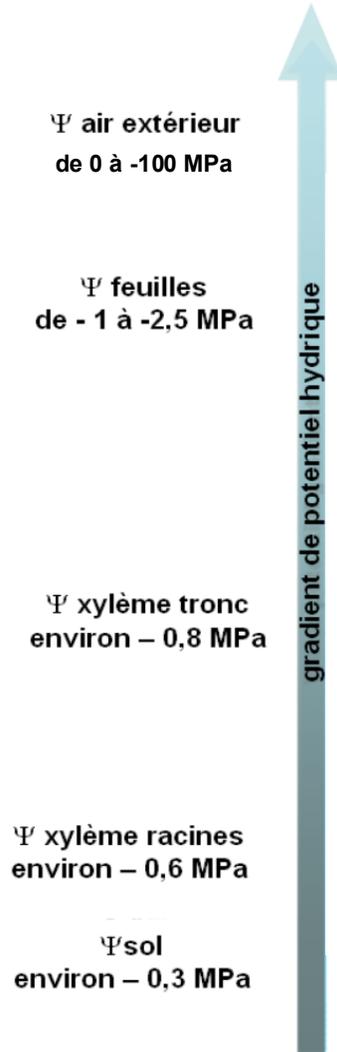
The two positive charges on calcium ions allow them to attract to two adjacent clay particles bringing them together.



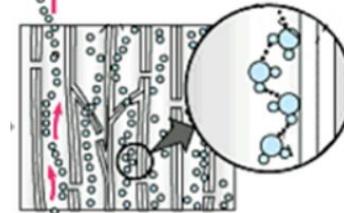
(Barker et al., 2023)

Impact sur les plantes

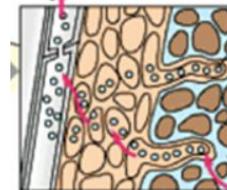
Alimentation hydrique et minérale



transpiration



tension et cohésion dans le xylème

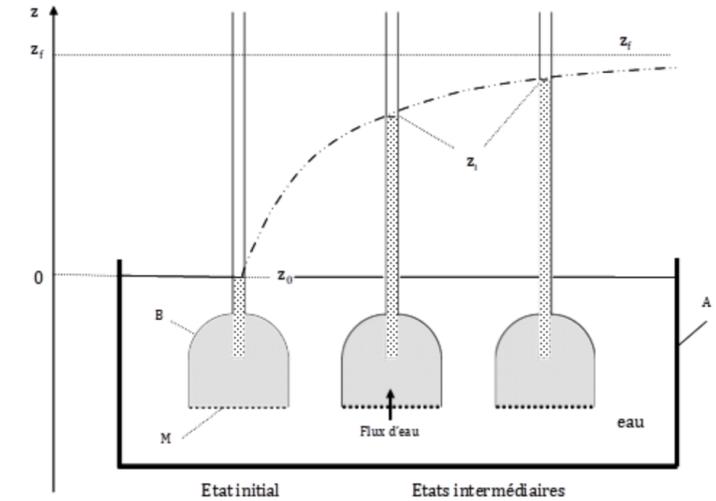


absorption d'eau dans le sol

Potentiel total de l'eau du sol

$$\Phi = \Psi_z + \Psi_p + \Psi_o$$

Potentiel osmotique



avec

A solution faiblement concentrée

B solution fortement concentrée

M membranes semi-perméable

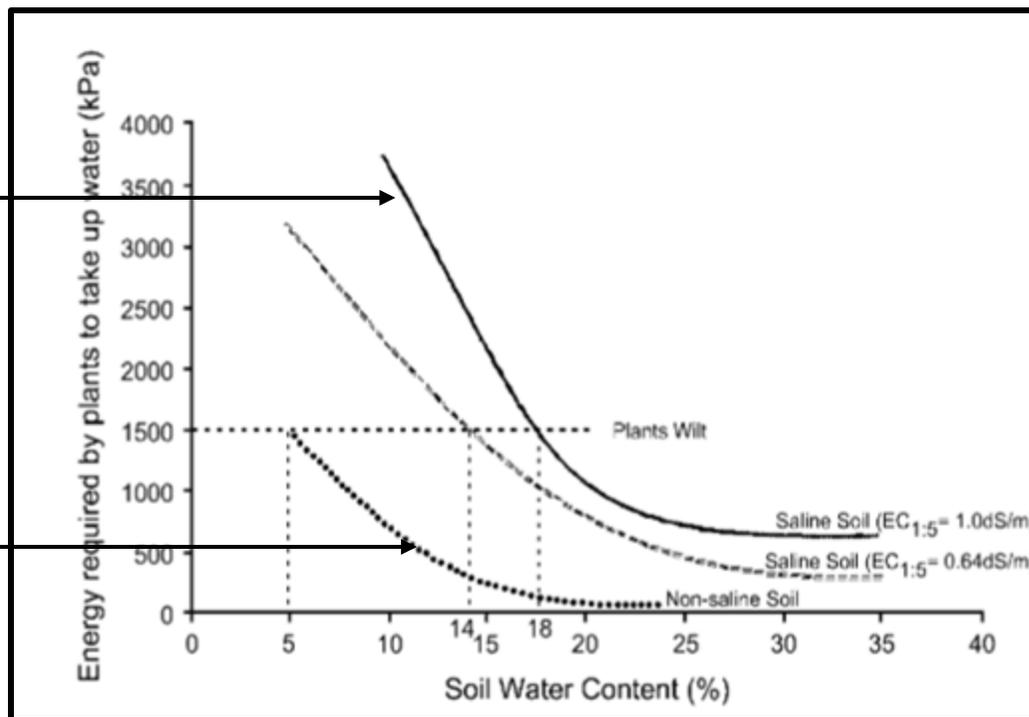
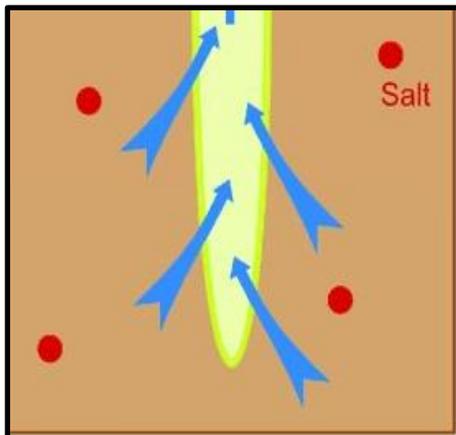
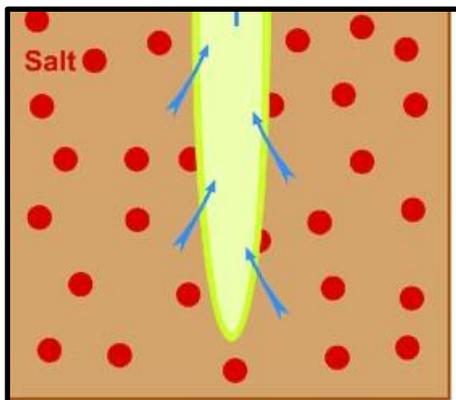
(Daudet, Cruizat, 2019)

1 MPa = 10 bar = 9,86923267 atm = 101,97 m_{H2O}

Impact sur les plantes

Stress osmotique

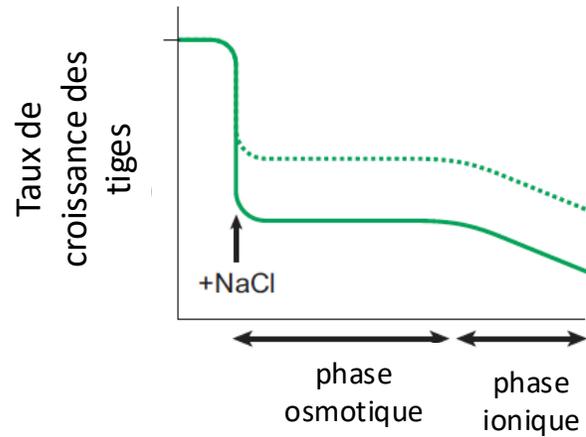
$$\Psi_o = cte_1 \cdot \sum_{i=0}^n [Conc. (eq.l^{-1})]_i = cte_2 \cdot EC$$



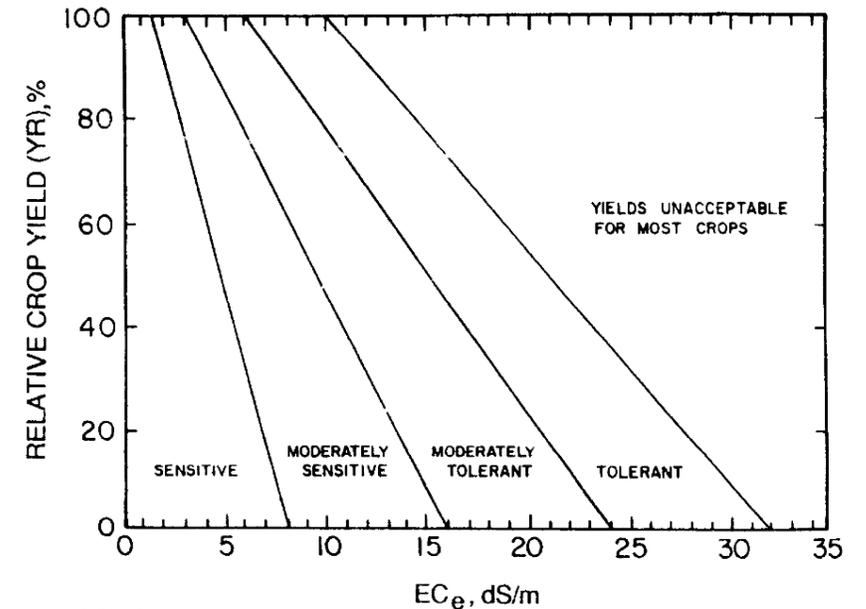
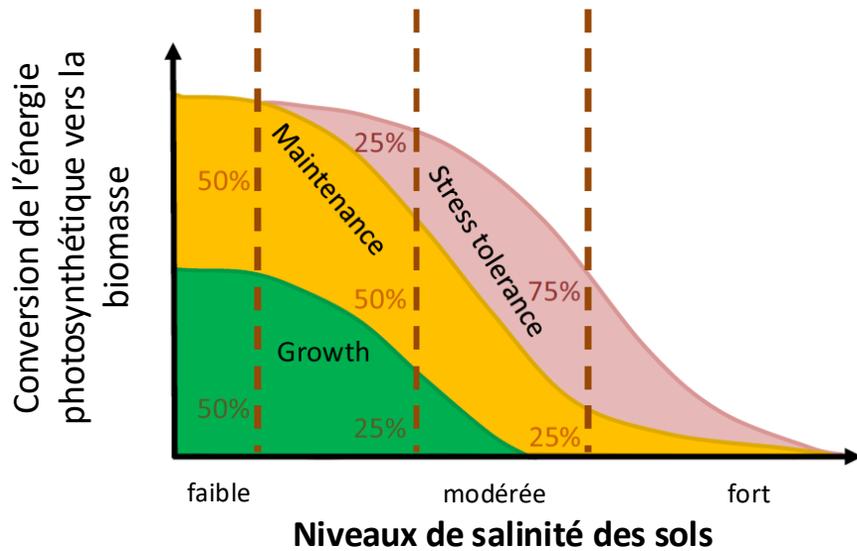
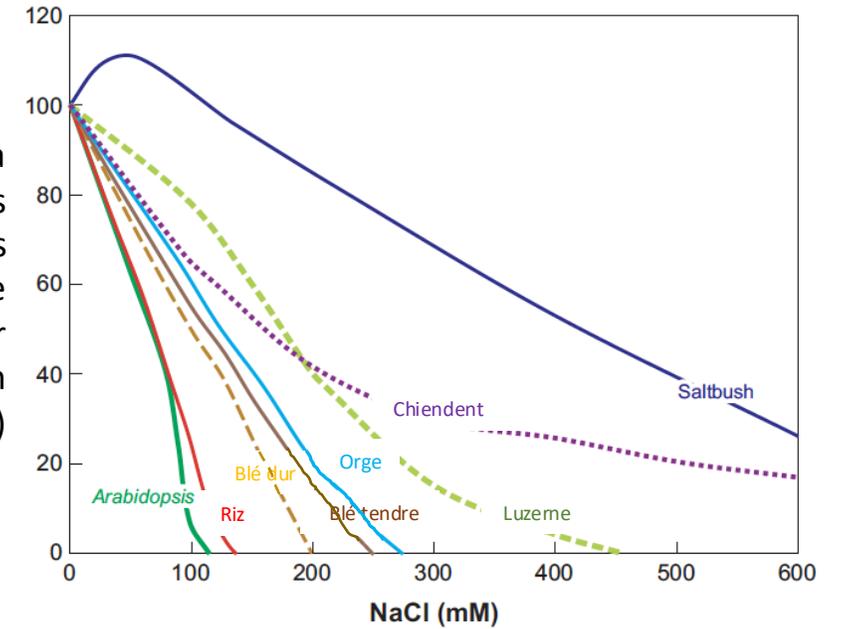
(Rengassamy et al., 2006)

Impact sur les plantes

Stress osmotique, ionique et oxydatif



Variation de la matière sèche des tiges après ajout d'une solution salée par rapport à un témoin non salé (en %)



(Maas, Grattan, 1999, Munns and Tester, 2008, Zorb et al., 2019)

Impact sur les écosystèmes côtiers (*Salt Marshes*)



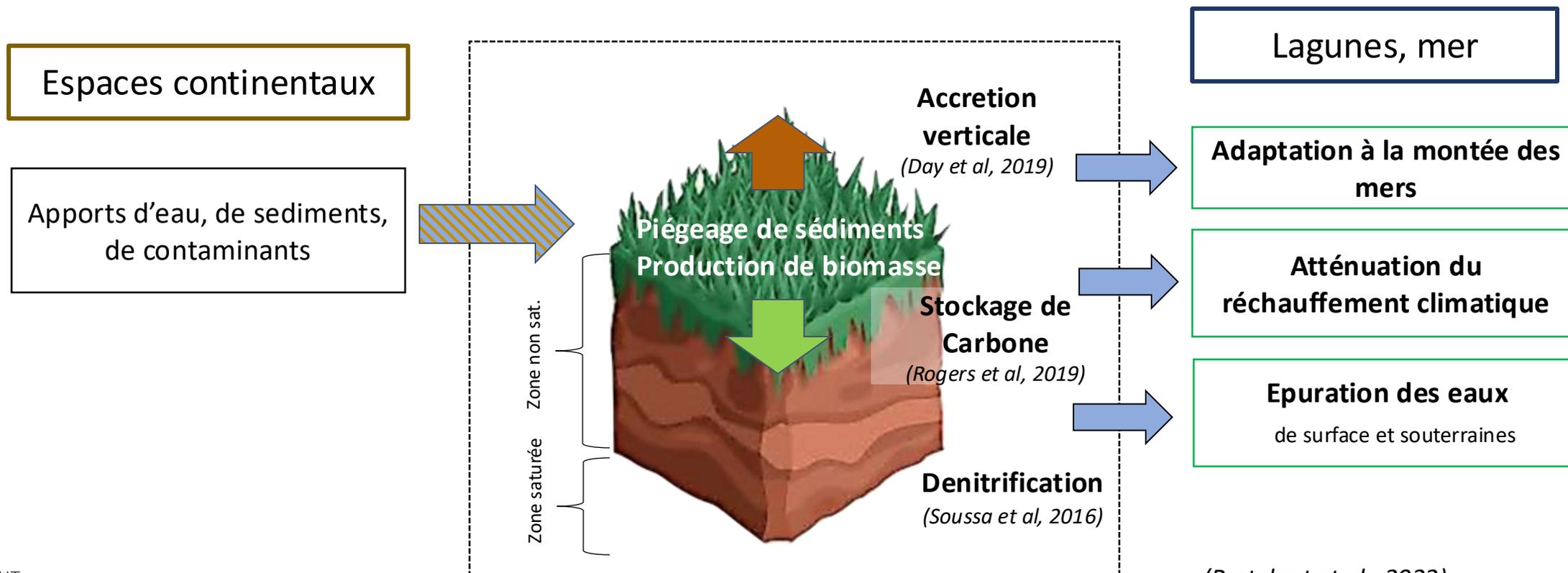
« Ecosystèmes dynamiques périodiquement submergés par des eaux variablement salées et dominés pas des végétations halophytes herbacées et arbustives »

(Sarika et Zikos, 2021)



(Boorman et al., 2003, Ibanez et al., 2002)

Impact sur les écosystèmes côtiers (Salt Marshes)



(Berteloot et al., 2022)

François COLIN

Impact sur les écosystèmes côtiers (Salt Marshes)

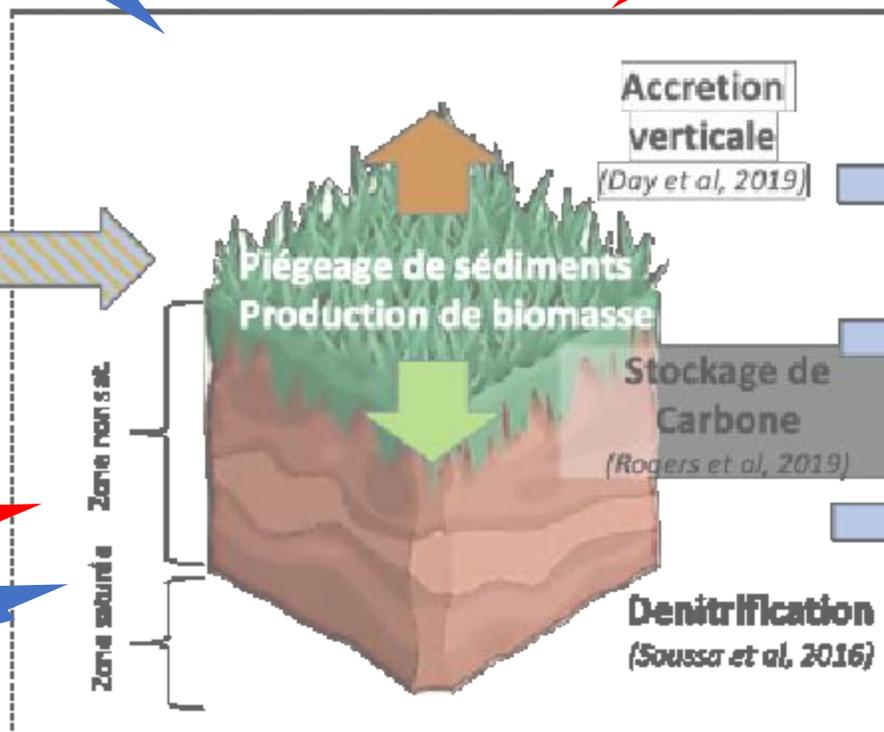


Apports d'eau douce
(Ibanez et al., 2002)

Espaces continentaux

Apports d'eau, de sédiments,
de contaminants

Niveaux et salinité
des eaux
souterraines
(Sarika et Zikos, 2019)



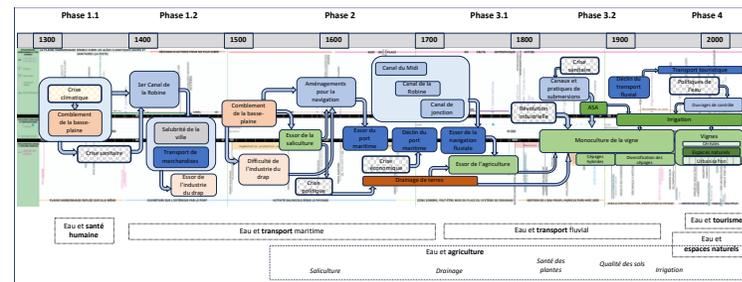
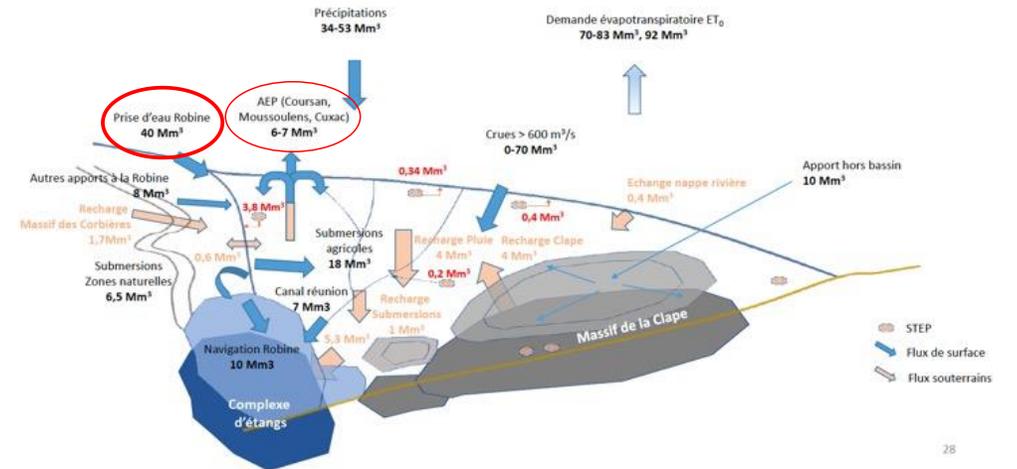
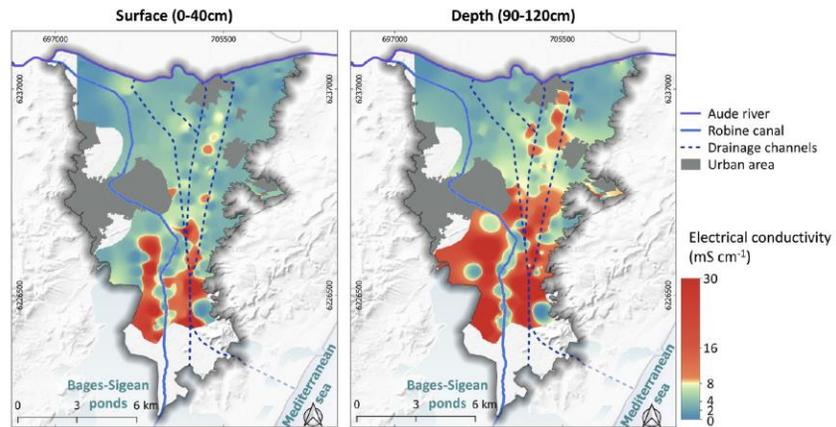
Lagunes, mer

Adaptation à la montée des mers

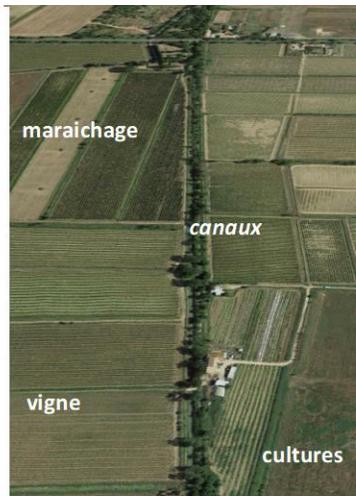
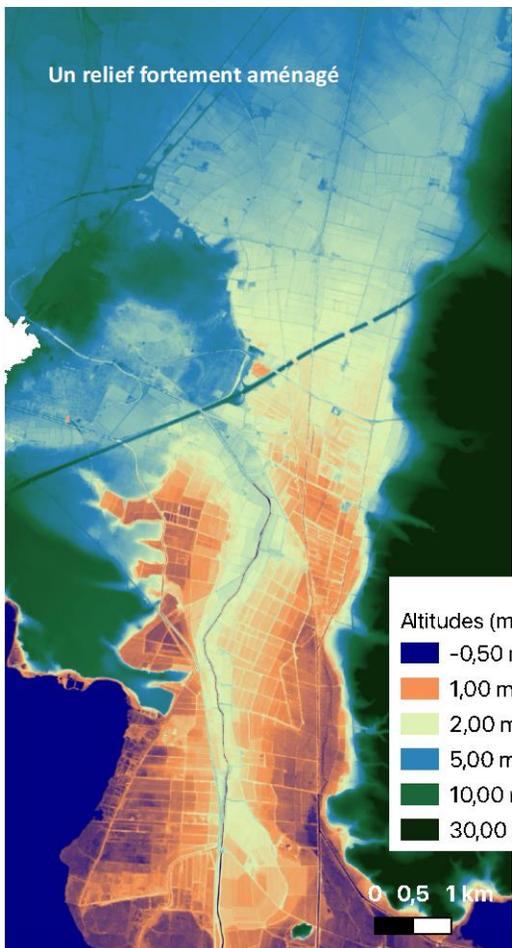
Atténuation du réchauffement climatique

Epuration des eaux de surface et souterraines

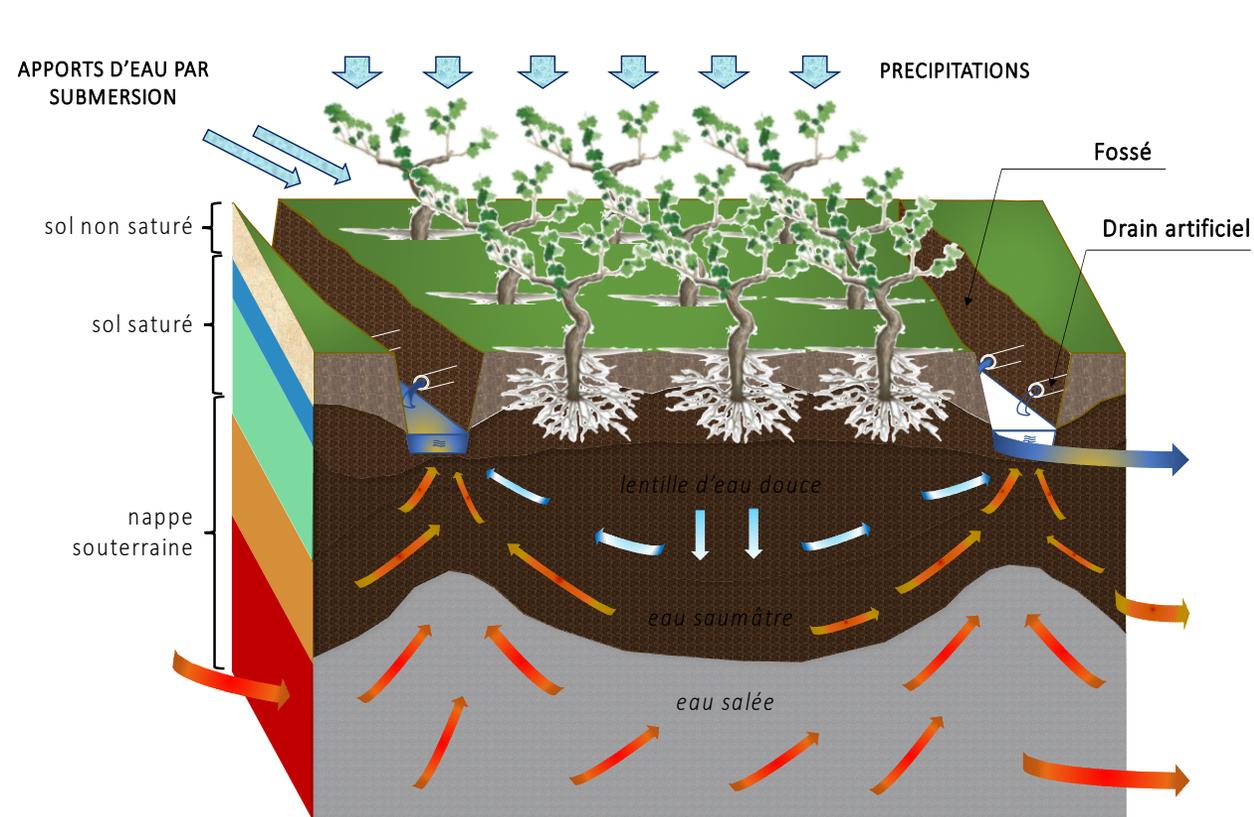
Gestion territorialisée de la salinité



Pratiques de lutte anti-sel



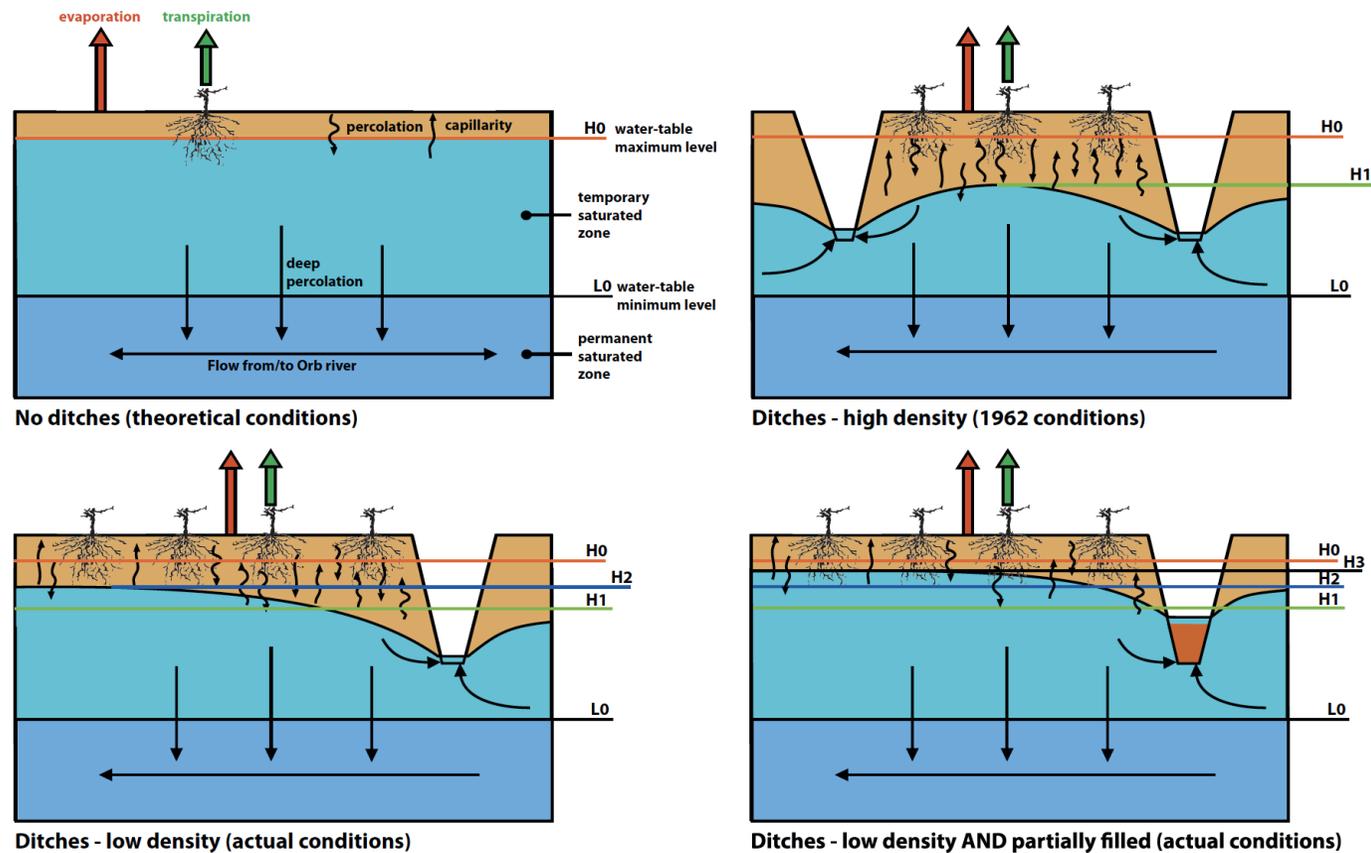
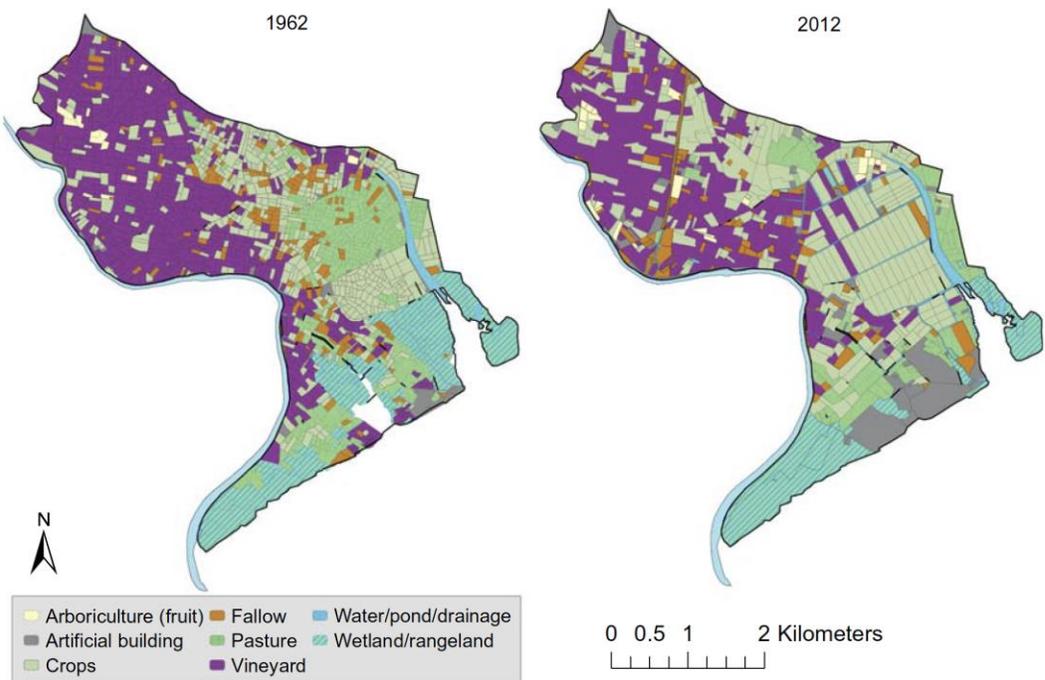
Infrastructures et pratiques hydro-agricoles à apporter de l'eau douce et chasser les sels



De Louw et al., 2015, Colin et al., 2023

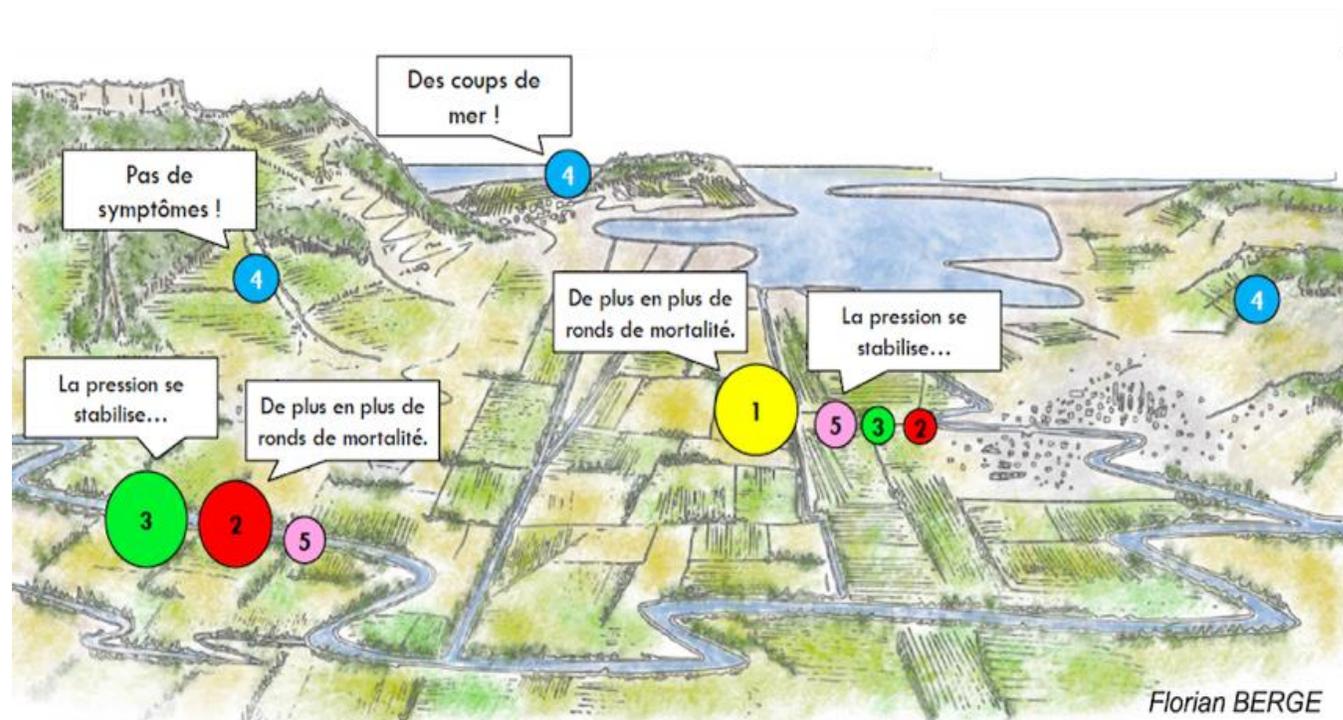
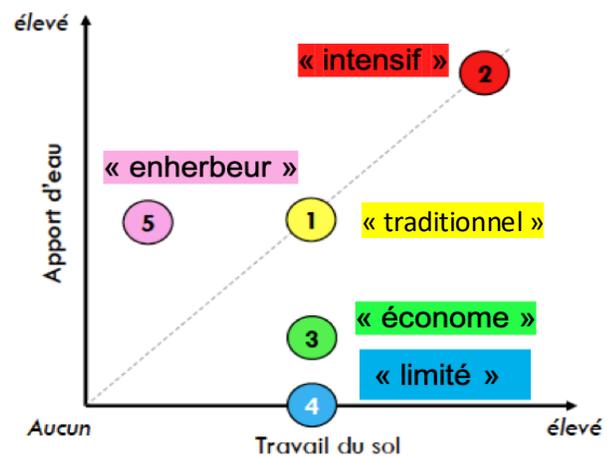
Pratiques de lutte anti-sel

Evolution de l'usage des terres et des aménagements Exemple dans le delta de l'Orb



Bless et al., 2018

Pratiques, perceptions et salinité



Bergé, 2020 ; Marien, 2023

Conclusion : les dangers de la salinité à l'échelle des territoires



Menace pour les sols

Altération des propriétés

Menace pour l'agriculture / viticulture

→ mortalité

→ **baisse des rendements**

Menace pour les écosystèmes

→ uniformisation des conditions environnementales

→ **perte de biodiversité**

Menace pour les ressources en eau

→ salinisation des aquifères

→ **perte de ressources AEP**



Conclusion : des dangers aux opportunités



Opportunité pour les sols

→ Restaurer la qualité des sols

Opportunité pour l'agriculture / viticulture

→ (Ré-)Orientations de la production

→ Valorisation des spécificités

→ Variétés résistantes

→ Évolution des pratiques

Opportunité pour les écosystèmes

→ Maintien et développement de la biodiversité

→ Garantir des conditions environnementales variées

Opportunité la gestion de l'eau

→ Gestion des crues et des milieux aquatiques

→ Zones humides

→ Sécuriser l'AEP

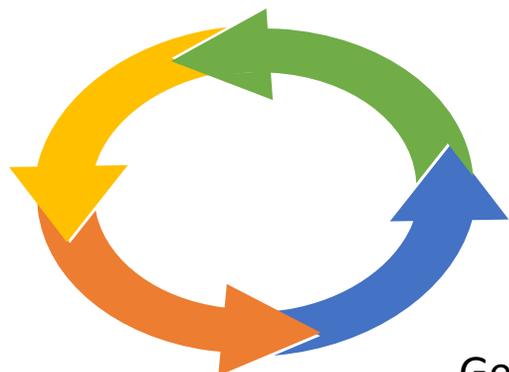


Conclusion : leviers et co-construction des solutions

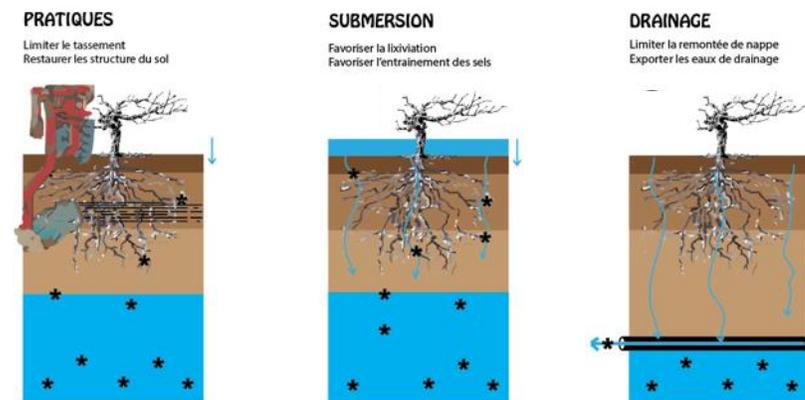


Monitoring et évaluation

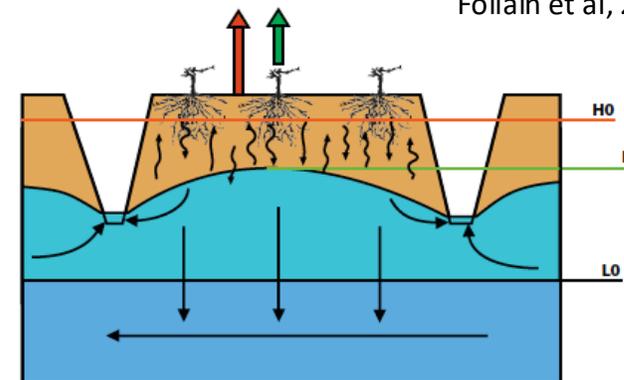
Partages d'expérience



Gestion des sols
Gestion de l'eau
Gestion des aménagements



Follain et al, 2016



Bless et al, 2018