

Adaptation des plantes à l'environnement

Stress Salin

Mehdi JABNOUNE

2007-2008

Plan du cours :

Introduction

Effets toxiques de Na^+ sur les plantes

Sensibilité et résistance à la salinité

Aspects de la tolérance à la salinité chez les plantes

Mécanismes de la tolérance au sel chez les plantes

Stratégies d'adaptation à la salinité

Aspects biotechnologiques de l'amélioration de la tolérance à la salinité

Les modèles d'étude du stress salin

Conclusion

Introduction

La salinité du sol : principale contrainte environnementale de l'agriculture moderne

~20% des terres cultivées don't ~50% de terres irriguées sont affectées par la salinité ds le monde

10 millions (ha) de terres cultivées abandonnés /an → Accumulation de sels (irrigation)

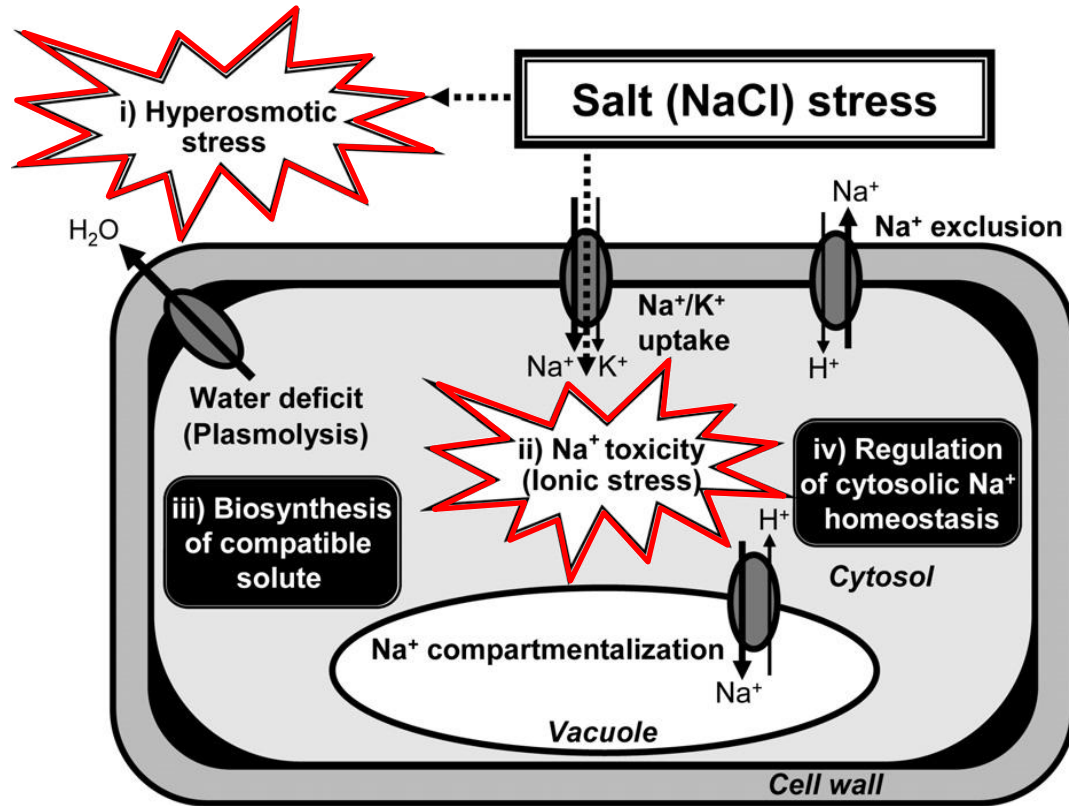
En Europe, entre 1999 et 2007, 6 à 10 % de la SAU est frappée par la salinité (FAO-2007)

Les pays les plus touchés (gros producteurs de maïs irrigué) : l'Espagne, l'Italie et la Hongrie

→ 3,8 millions d'hectares de terres trop salines (Problème de la monoculture) (CE -2007)

Variation [Sels] dans la rhizosphère → Insuffisance (Problème nutritionnel) ou **Excès**

Stress salin s'applique plutôt à un **Excès d'ions**, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^-



**Stress Salin =
2 types de contraintes**

**A- Stress osmotique =
effet non spécifique ...**

**B- Stress ionique =
effet spécifique ...**

Effet de la toxicité de Na⁺ sur les plantes...

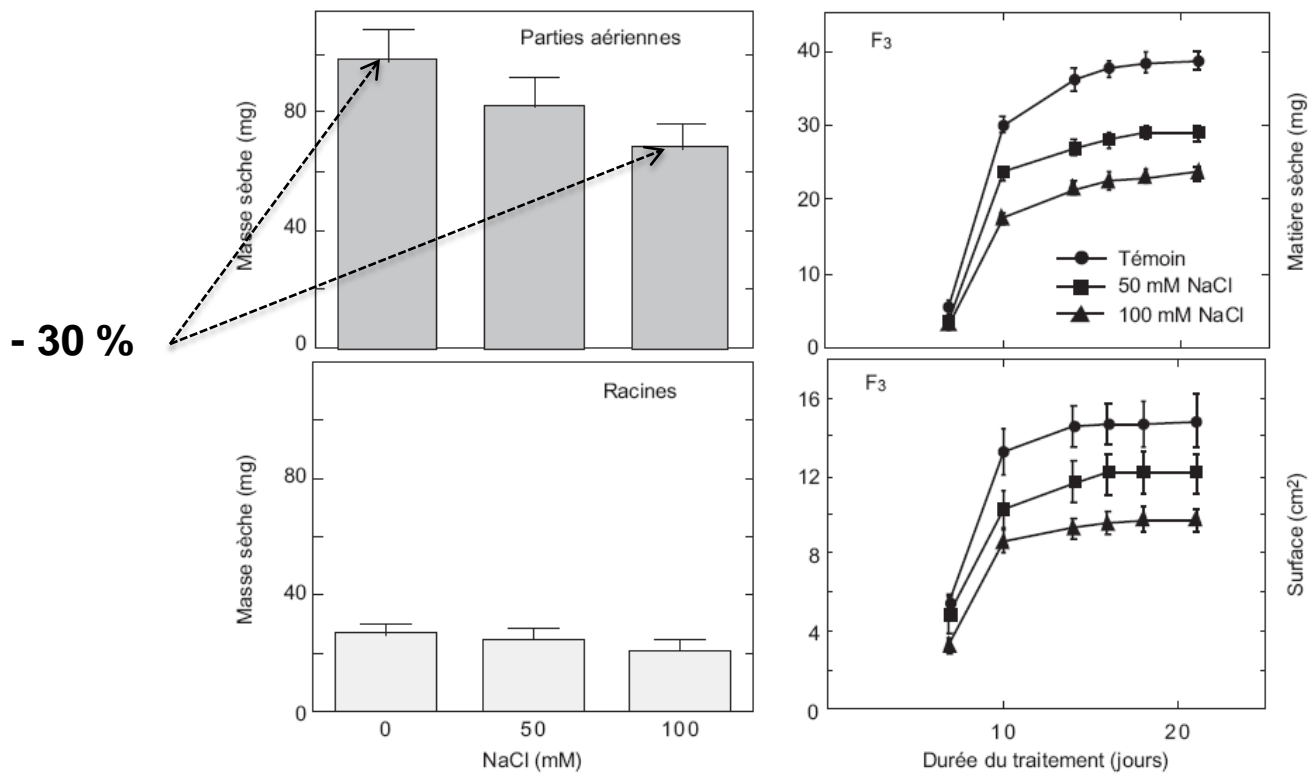
A l'Echelle de la plante entière

A l'Echelle de la cellule et des tissus

- Stress de déficit en eau
- Stress ionique → Toxicité métabolique
- Déficiences Nutritionnelles

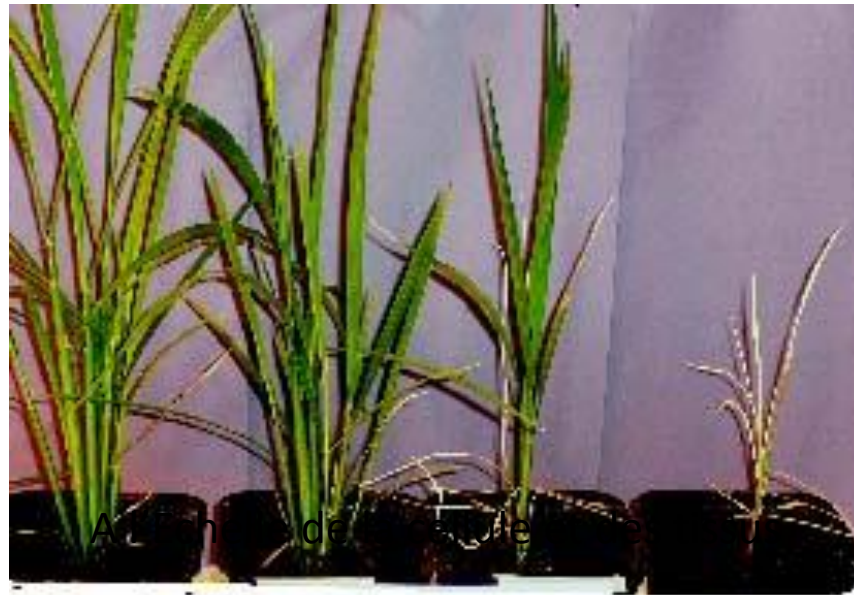
Effet de la toxicité de Na⁺ sur les plantes...

✓ Diminution du taux de croissance de la plante et de la surface foliaire



Croissance du blé dur (*Triticum durum*) après 3 semaines de traitement (50 et 100mM NaCl).

Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé . Ourghi Z. CIHEAM - Options méditerranéennes



Control

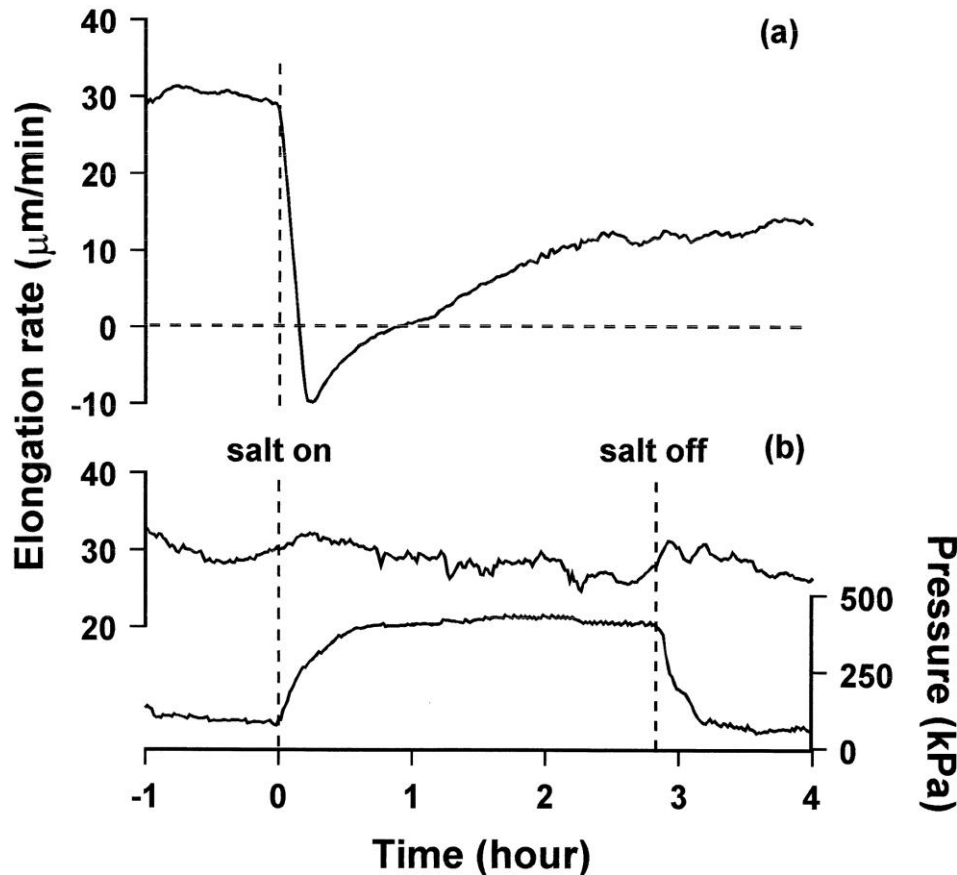
**NaCl
50 mM**

**NaCl
100 mM**

**NaCl
150 mM**

**Plantes de riz (*Oryza sativa*) cv. BRR1 Dhan29 après
2 semaines de traitement à différentes concentrations de NaCl**

✓ Stress de déficit en eau



Effect of salinity (80 mM of NaCl) on the leaf elongation rate of maize seedlings (a) without balancing pressure and (b) with balancing pressure.

(Munns et al., 2000)

Les mêmes changements se produisent en substituant le NaCl avec KCl, mannitol ou polyéthylène glycol (PEG)

(Yeo et al., 1991; Chazen et al., 1995)

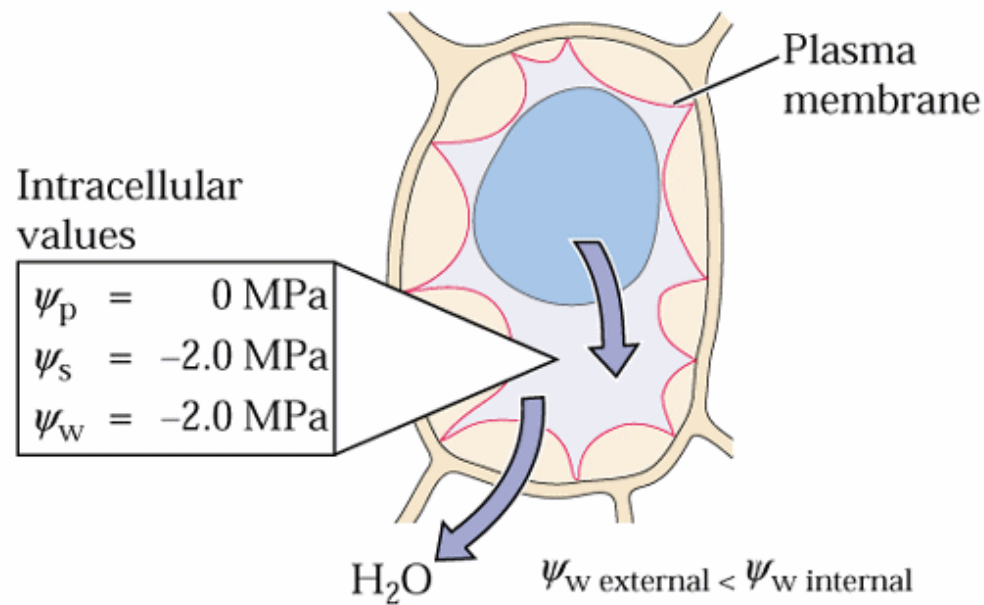
La réduction de la vitesse de croissance n'est pas liée spécifiquement à l'ajout de NaCl mais à un changement transitoire de la relation plante-eau

$[sels]_{\text{Solution}} \nearrow \rightarrow [ions]_{\text{apoplaste.}} \nearrow \gg \searrow \Psi_{\text{osmotique}} \gg \searrow \Psi_{\text{hydrique}}$

→ Perte d'eau par plasmolyse et déshydratation des cellules

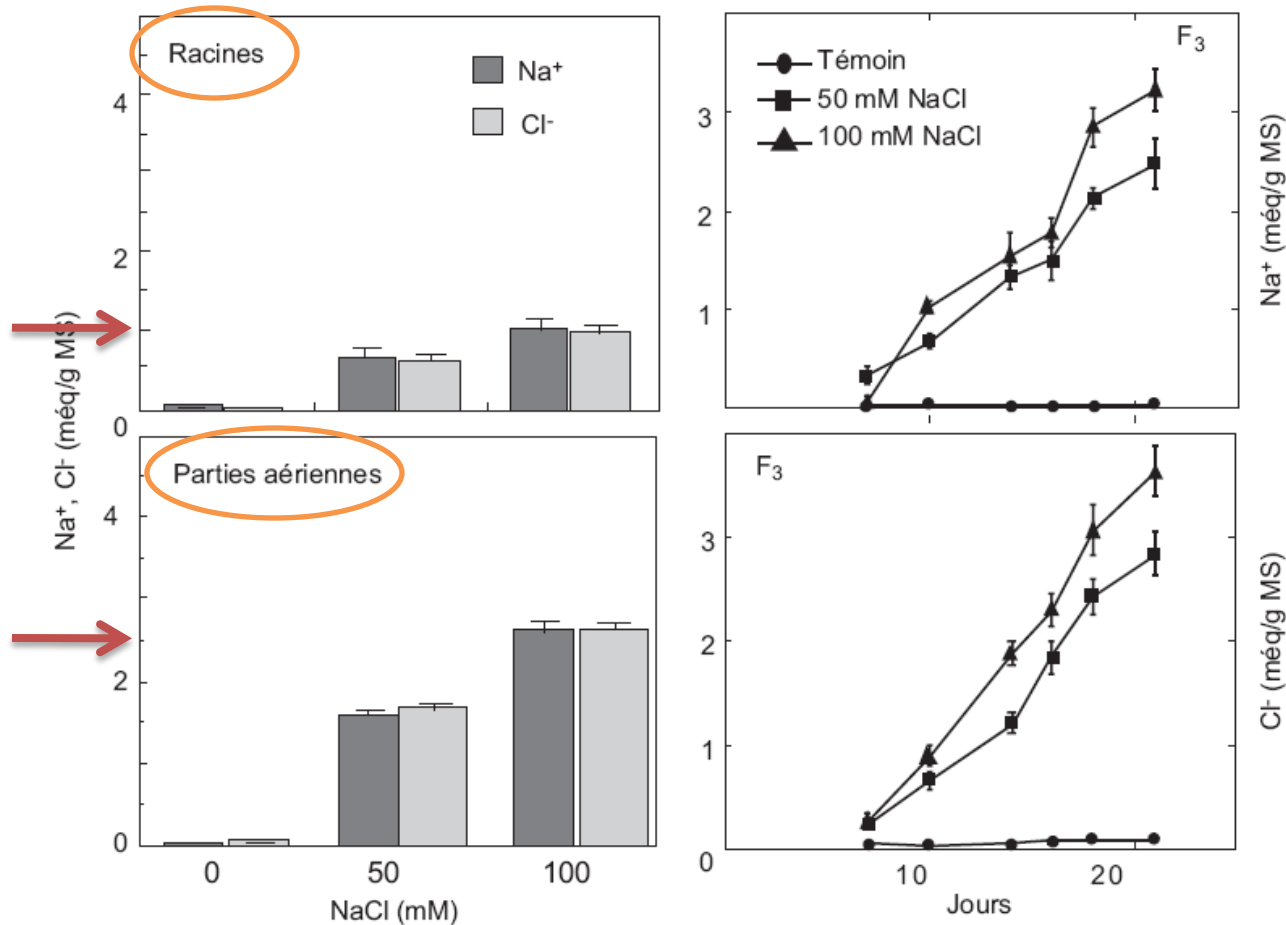
(Flowers & Yeo., 1986; Munns, 2002)

Plasmolyzed cell: $\psi_{w \text{ external}} = -2.5 \text{ MPa}$



Maintien de la turgescence et l'entrée d'eau ds la cell → Maintien de la croissance

✓ Toxicité métabolique (stress ionique)

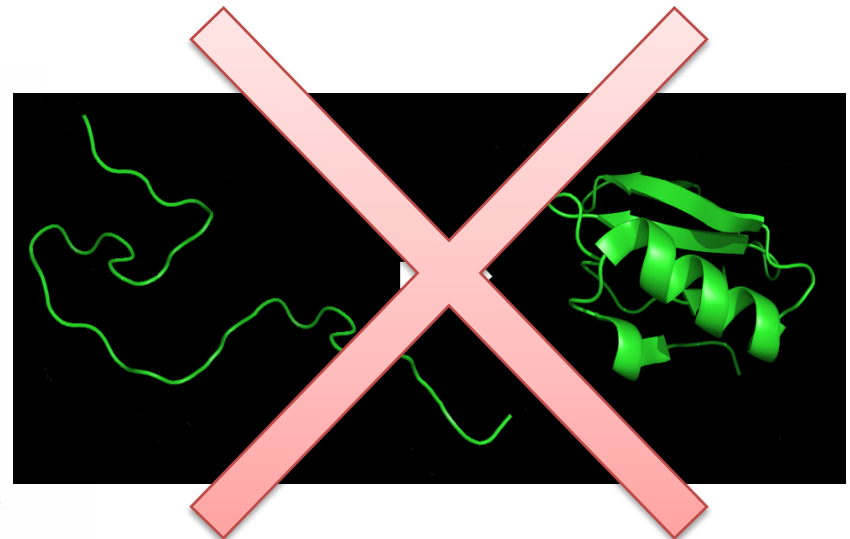
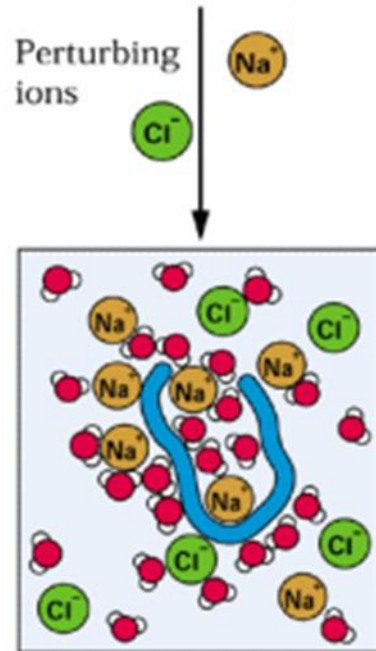
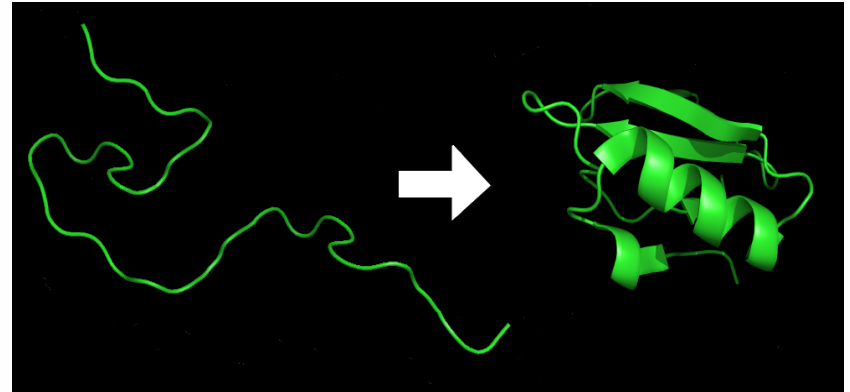
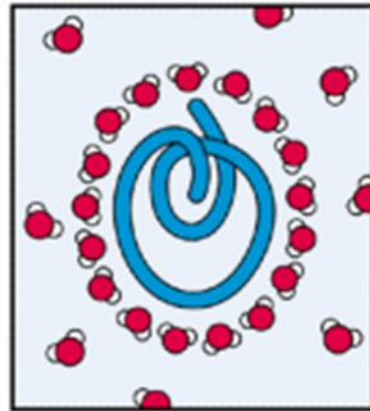


Accumulation préférentielle de Na⁺ (et Cl⁻) dans parties aériennes

Exemple (Chez le riz) : Analyses réalisées par des rayons X → [Na⁺] dans l'apoplaste foliaire ~ 600 mM dans les conditions d'un stress salin modéré (Flowers et al., 1991)

$[Na^+]_{cyt} \uparrow \uparrow \uparrow \rightarrow$ inhibe l'activité de beaucoup enzymes et protéines

Exemple :



Disrupted protein (Fewer ordered H₂O molecules bound to protein, entropy high)

Compétition Na^+ - K^+ pour sa fixation sur des enzymes et des protéines importantes

+ de 50 enzymes nécessitent K^+ pour être actives (Na^+ ne peut pas assurer la même fonction)

(Bhandal and Malik, 1988)

Or K^+ est vital pour :

- La synthèse de certaines protéines (inhibée par la présence de Na^+)
- Osmorégulation
- Maintien de la turgescence des cellules
- Stimulation de la photosynthèse
- Fixation de ARN_t aux ribosomes (Traduction affectée)

Une faible production d'énergie par la photophosphorylation et photo-respiration

Perturbation des voies d'assimilation de l'azote

→ **Dérèglements métaboliques provoquent la mort précoce des cellules foliaires**

✓ Déficience nutritionnelle

Résultat de la limitation de l'absorption et accumulation d'autres éléments nutritifs

i.e : K^+ , Ca^+ et Mn^{2+}

Na^+ et Cl^- interférant au niveau de transporteurs localisés sur la mb plasmique des racines

exp : Canaux sélectifs de K^+

(Rubio et al., 1995)

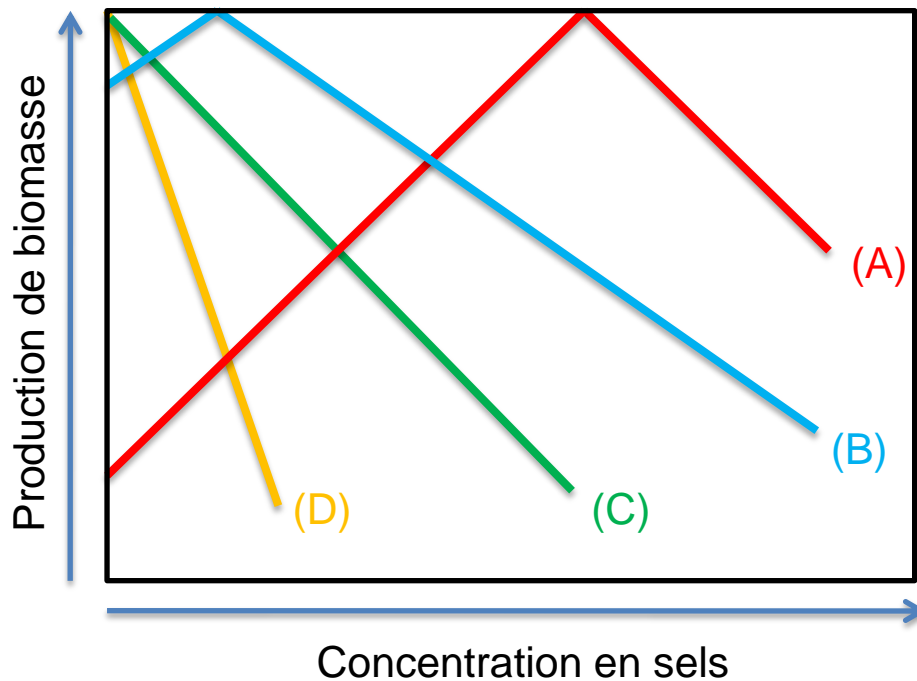
Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités l'absorption des éléments nutritifs du sol

(Tester & Davenport, 2003)

Qu'est-ce qu'une plante sensible et une plante résistante à la salinité ?

Les plantes ne sont pas égales face au stress salin ...

4 Grandes tendances = fct production biomasse en présence de sel



Adapted from Hagemeyer, 1996

- 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

Exemples de plantes halophytes

genre *Salicornia* : la salicorne



Le palétuvier



Le genre *Suaeda* : la soude



Cakile maritima : cakilier maritime
ou Roquette de mer

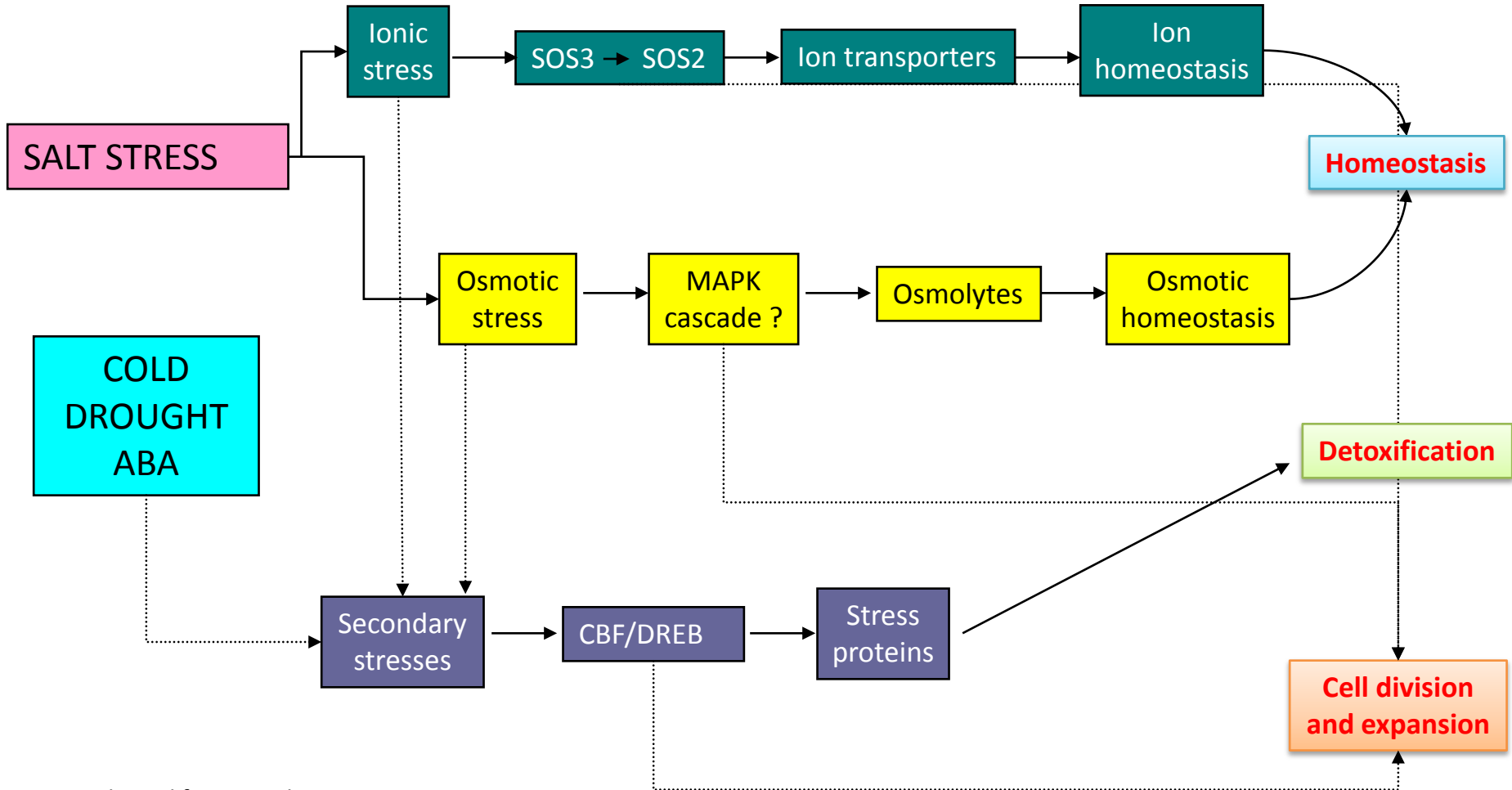


genre *Spartina* : les spartines ,

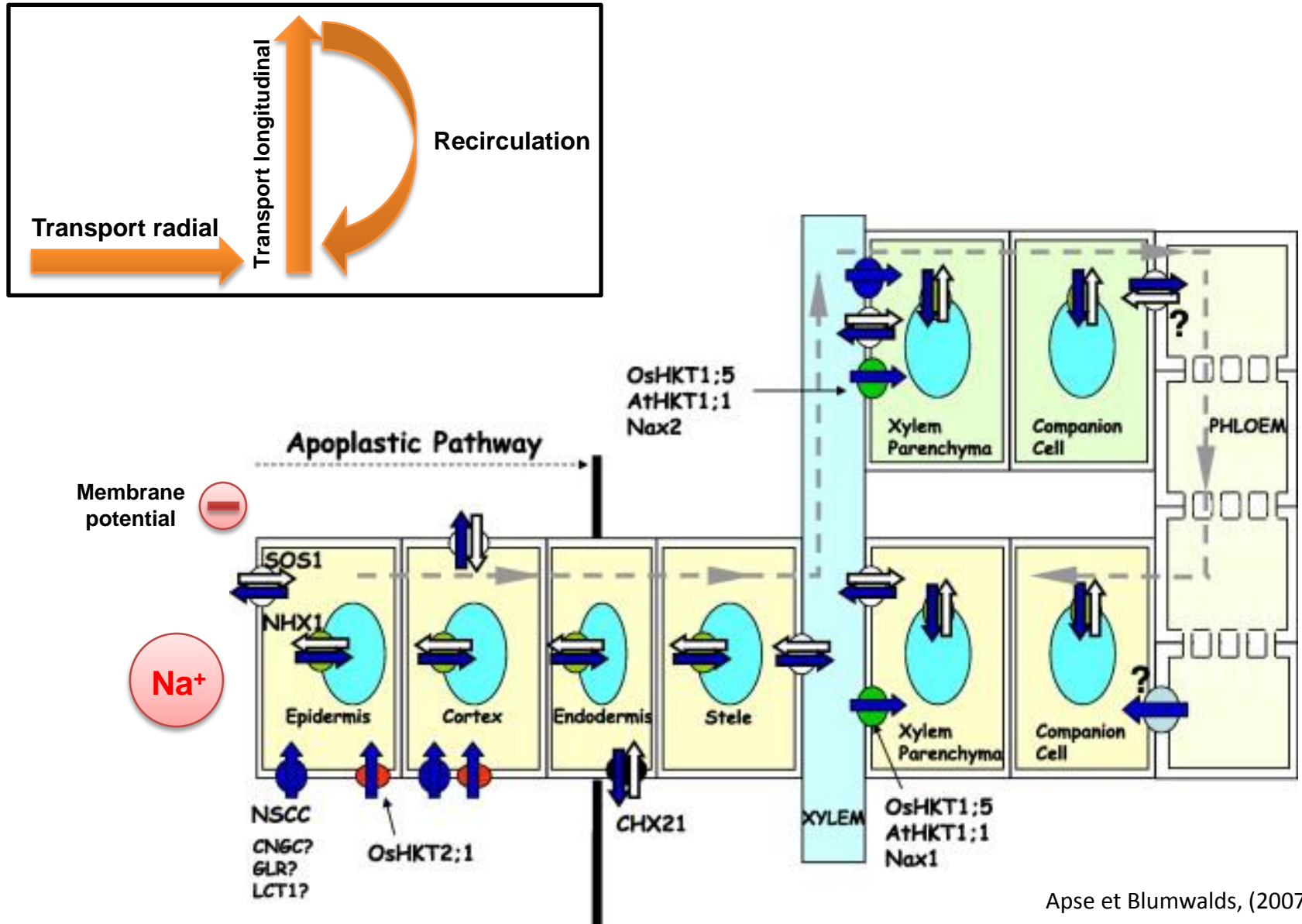


Aspects de la tolérance à la salinité chez les plantes

- Les 3 aspects : - **La détoxification**
- **Rétablir l'homéostasie**
- **Le contrôle de la croissance**



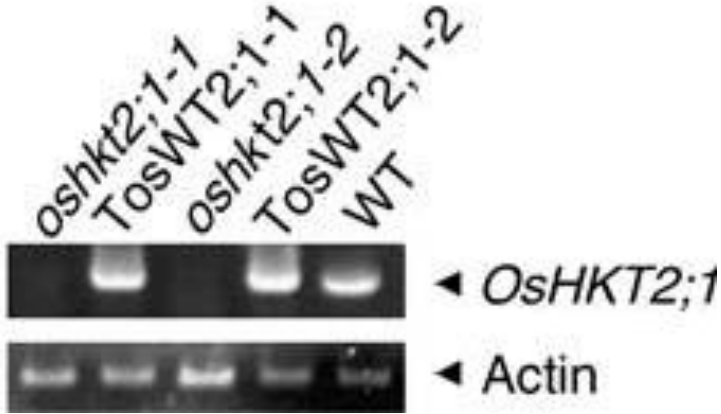
Entrée et mouvements de Na⁺ dans la plante



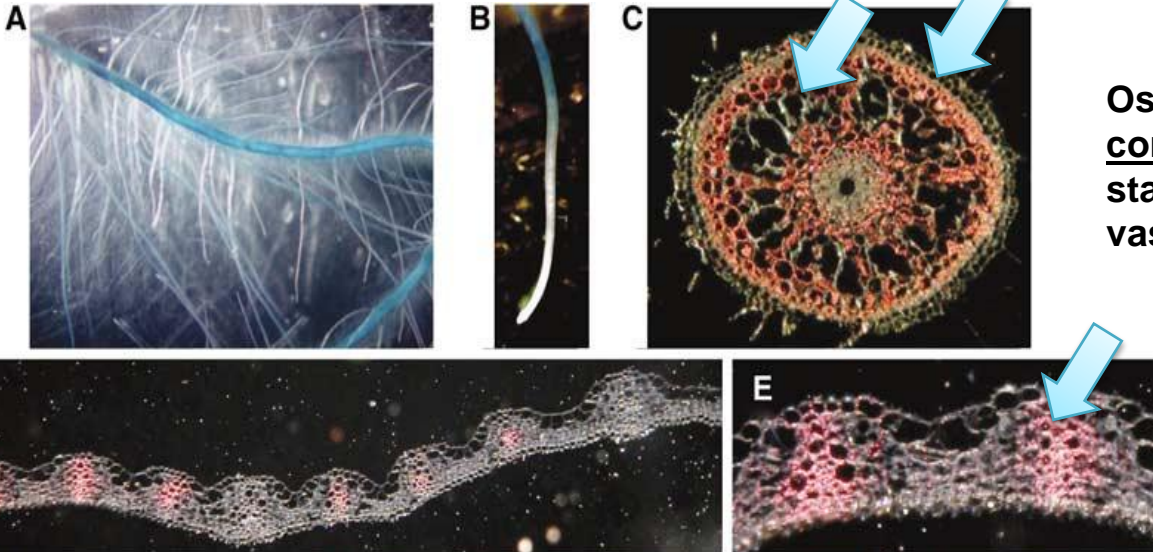
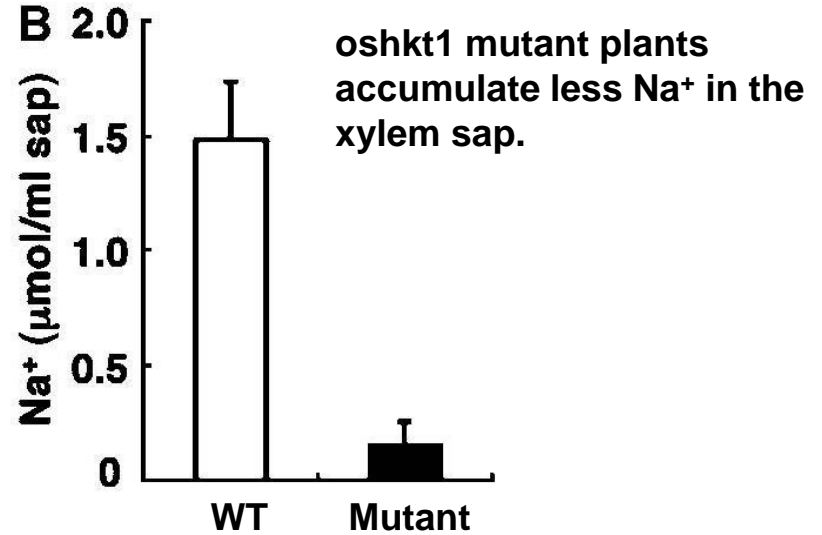
Exp : Implication des HKT dans l'entrée et les mouvements de Na⁺ dans plante

Cas d'OsHKT2;1

B



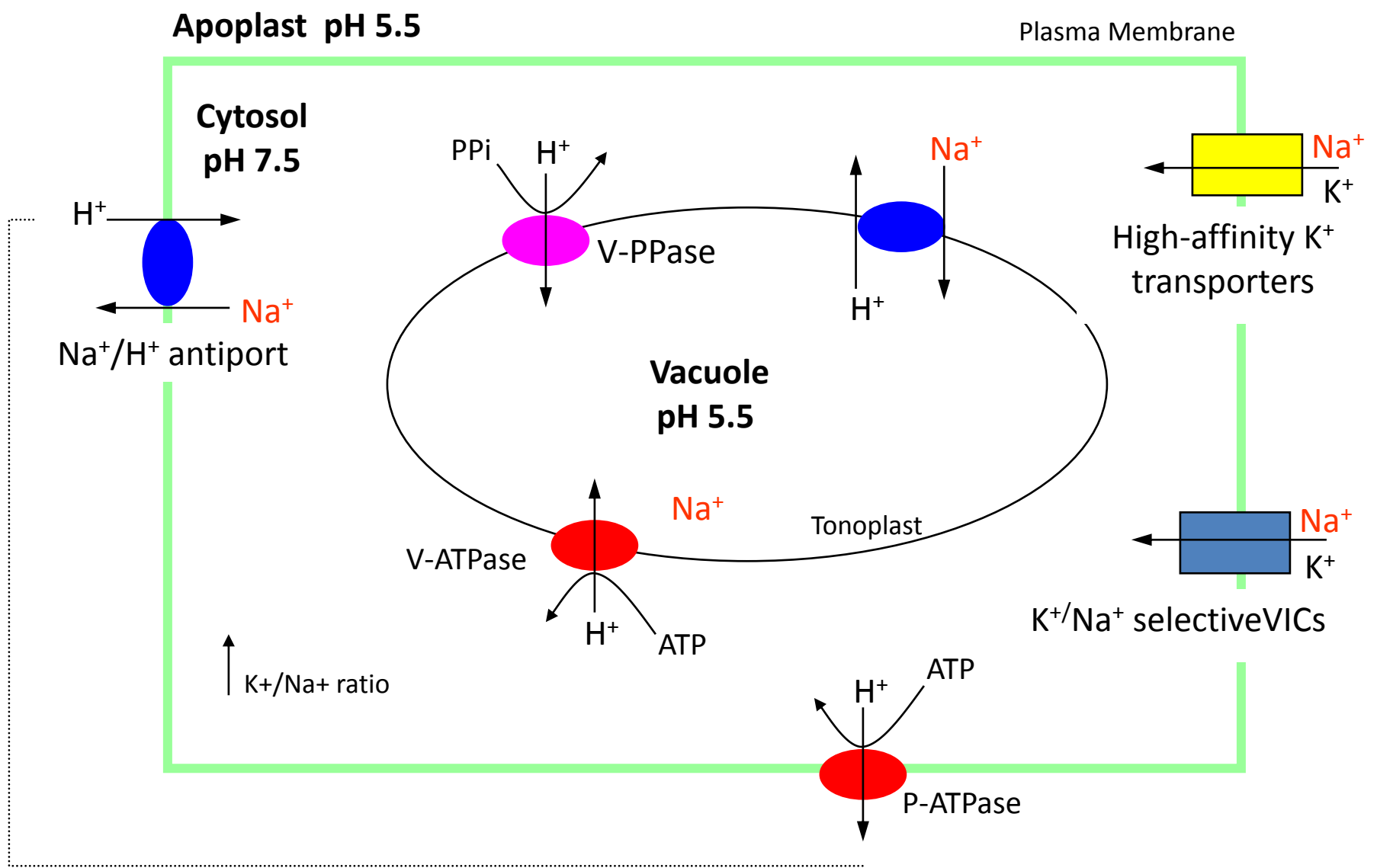
Isolation of homozygous Tos17 insertion mutants in the *OsHKT1* gene



OsHKT1 gene expression in the cortex and endodermis of K⁺-starved roots and in leaf vascular bundles

Mécanismes de la tolérance des plantes au sel

✓ L'exclusion et la compartimentation de Na⁺



(Adapted from Mansour et al. 2003)

Compartmentation = La stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na^+ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme

Acteurs : ***Echangeurs vacuolaires Na^+/H^+ + gradient de H^+ (H^+ -ATPase , H^+ -PPase)***

Chez l'orge, la tomate, la tulipe → Activité Na^+/H^+ (racines) ↗ en réponse à Na^+

(Gabarino & Dupont, 1989 ; Wilson & Shannon, 1995 ; Ballesteros et al., 1997)

Surexpression d'OsNHX1 améliore la tolérance à la salinité chez le riz

(Chen et al., 2007)

Mêmes résultats :

chez Arabidopsis

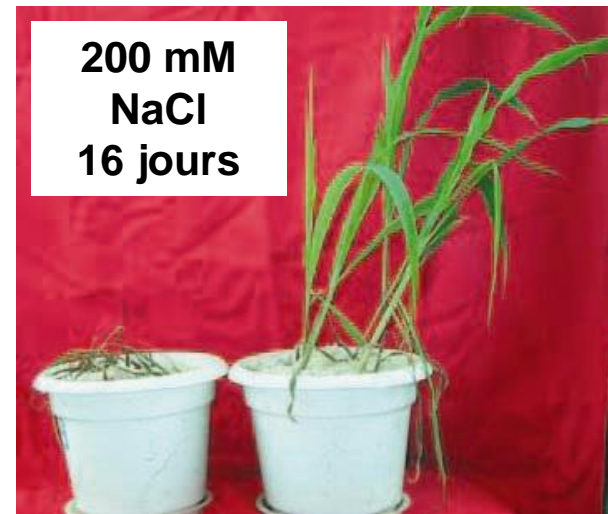
(Apse et al., 1999)

chez la tomate

(Zhang & Blumwald, 2001)

chez Brassica napus

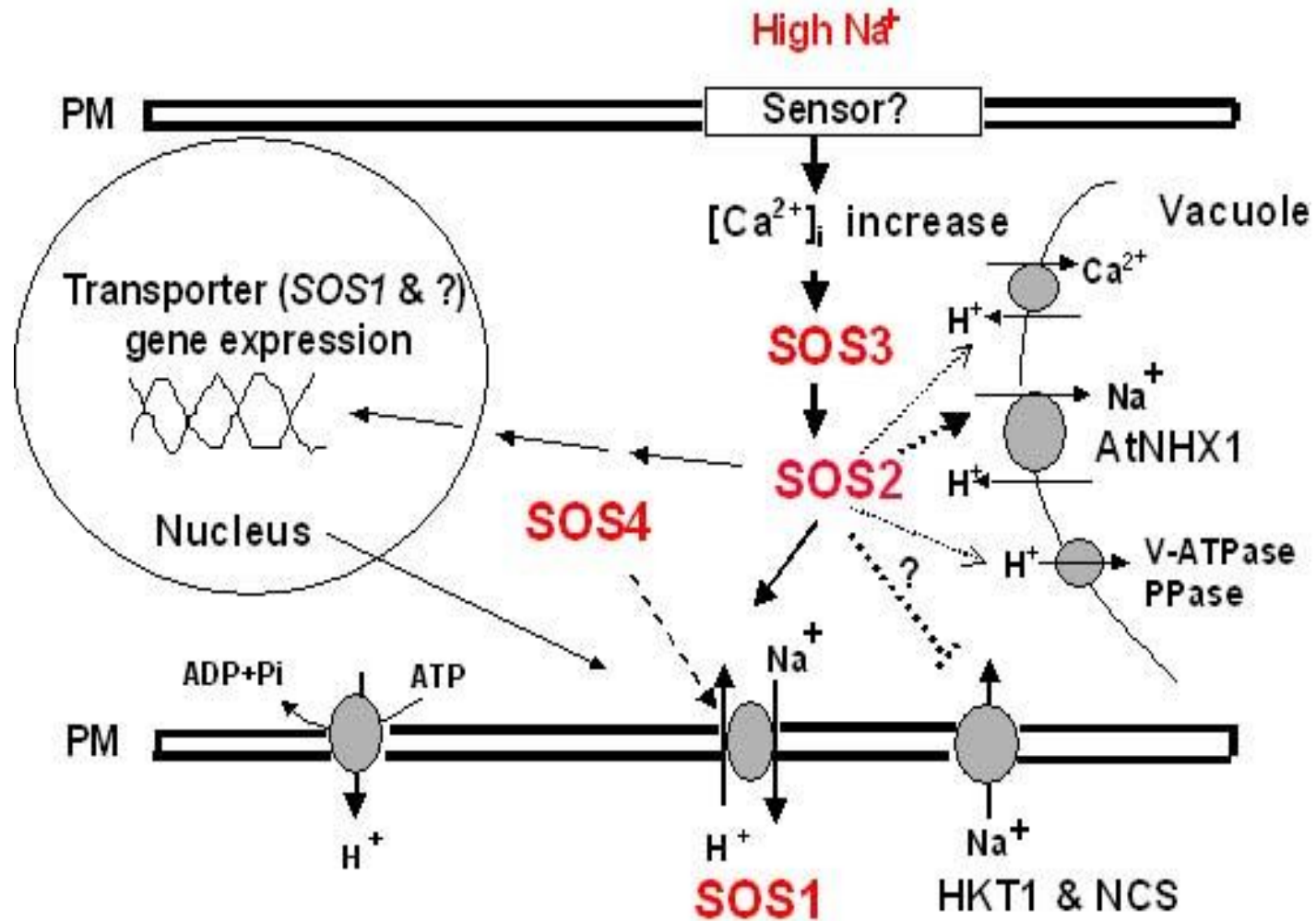
(Zhang et al., 2001)



WT

**Transgenic
plant -
OsNHX**

✓ Régulation de l'homéostasie ionique : la voie SOS (Salt Overly Sensitive)



✓ Ajustement osmotique : composante importante de la tolérance à la salinité chez les végétaux

Stratégie d'adaptation universelle bactéries, plantes ou animaux (Yokoi *et al.*, 2002)

Chez les plantes : L'accumulation de Na^+ dans la vacuole \rightarrow baisse locale du $\Psi_{\text{osmotique}}$

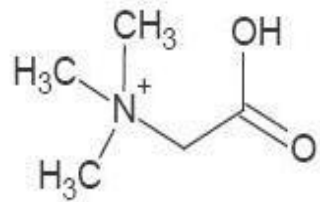
Objectif : Maintenir de l'éq. $\Psi_{\text{osmotique}}$ entre la vacuole et le cytoplasme, éviter l'efflux de H_2O depuis le cytoplasme

Solution : Synthèse et accumulation d'osmoprotecteurs dans le cytoplasme qui n'inhibent pas les réactions biochimiques importantes.

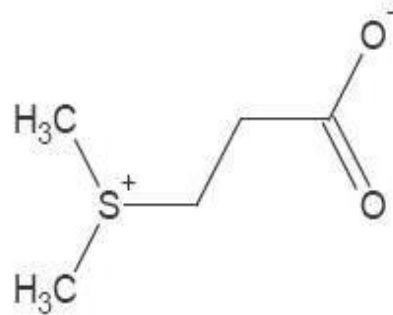
les osmoprotecteurs synthétisés varient suivant les espèces

1^{ère} Catégorie (majeure) : -Sucres simples (fructose, glucose),
-Les polyols (glycérol, mannitol, inositol méthylé)
-Les sucres complexes (tréhalose, raffinose, les fructanes)

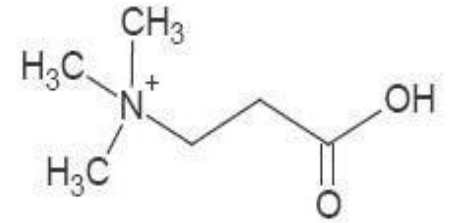
2^{ème} Catégorie: -Dérivés AA III^{aires} (proline, glycine bêtaïne, β -alanine bêtaïne, proline bêtaïne),
-Dérivés AA III^{aires} (1,4,5,6-tétrahydro-2-méthyl-4-carboxyl pyrimidine)
-Composés sulfoniums (choline o-sulfate, dimethyl sulfonium propionate)



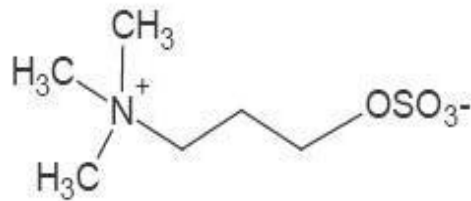
Glycine betaine



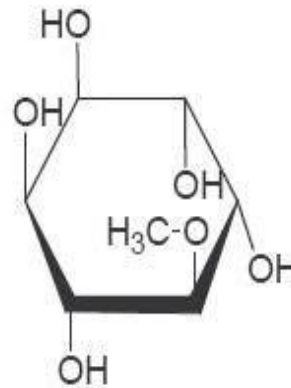
3-Diméthylsulfonylpropionate (DMSP)



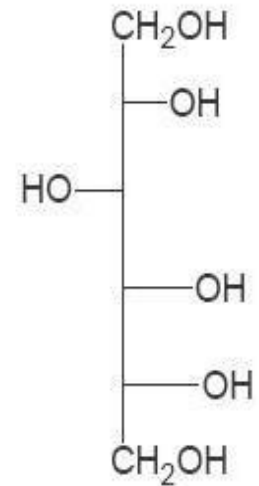
β-Alanine betaine



Choline-O-Sulphate



Pinitol



Sorbitol

Figure 1.1 : Exemples d'osmorégulateurs synthétisés par les Végétaux (d'après LARCHER, 1996)

Propriétés des osmoprotecteurs

- Préserver l'activité des enzymes dans les solutions salines (Yokoi et al., 2002).
- Stabilisation de la structure des protéines
- Détoxification des ROS (reactive oxygen species) (Bonhert & Jensen, 1996).

La Glycine bétaine → Mécanisme de protection autre que l'osmorégulation...

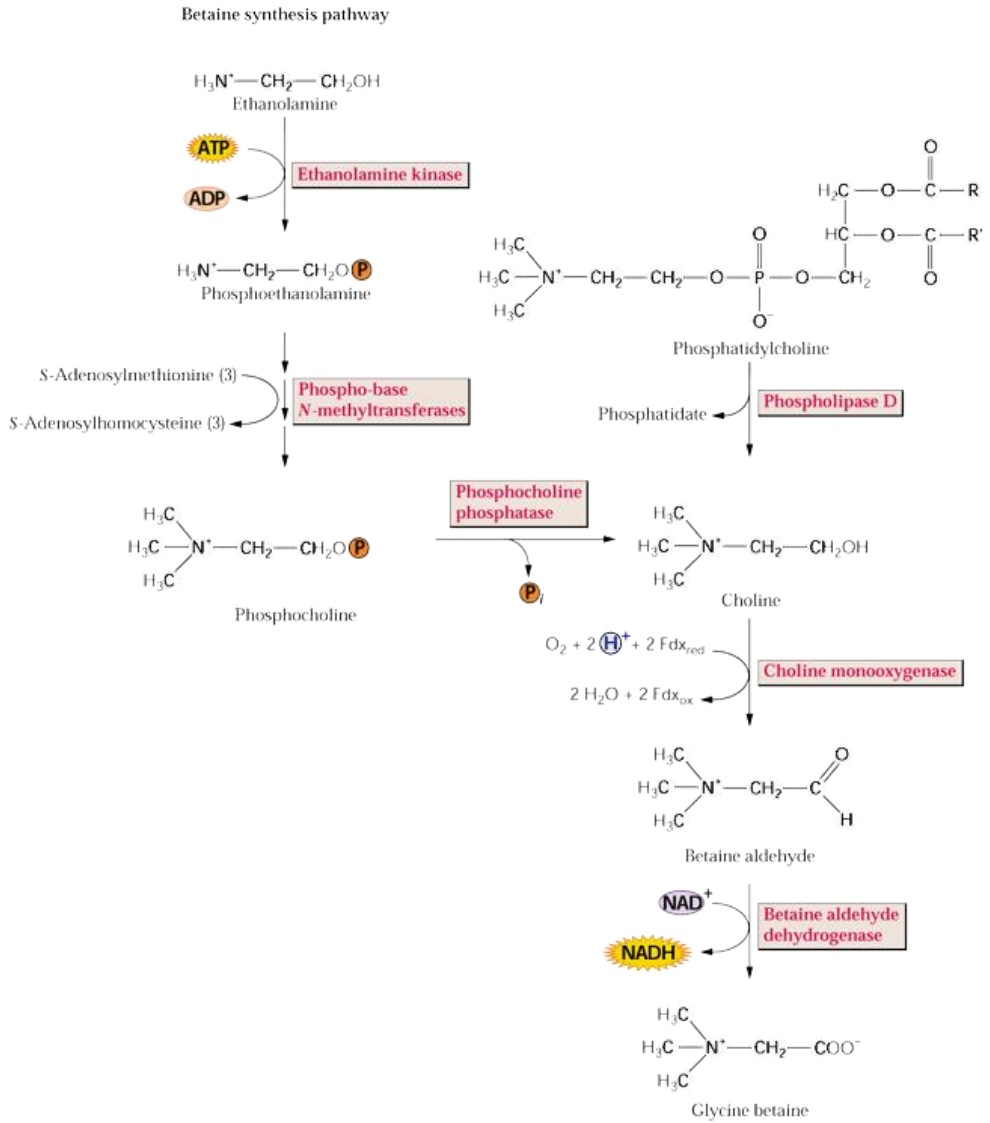
- Préserve l'intégrité des mb. thylakoïdes et plasmiques après un stress salin, du gel et de la haute température (Rhodes & Hanson, 1993)

Biosynthèse des osmoprotecteurs et tolérance des plantes à la salinité...

Exemple : Voie de biosynthèse de la Glycine bêtaïne

Analyse de mutants *At t365*

K.O. gène S-adénosyl-L-méthionine phosphoéthanolamine N-méthyltransférase (PEAMT)



Phosphoéthanolamine

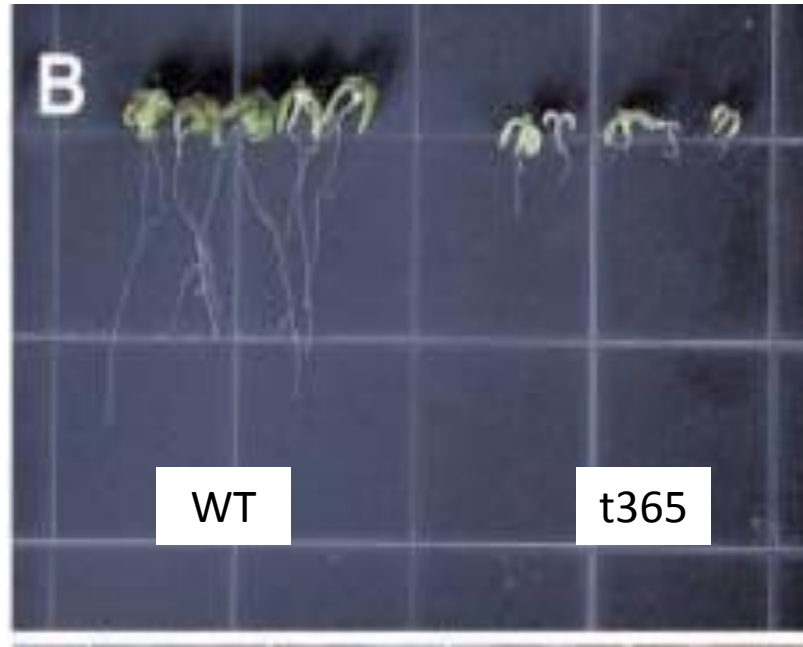
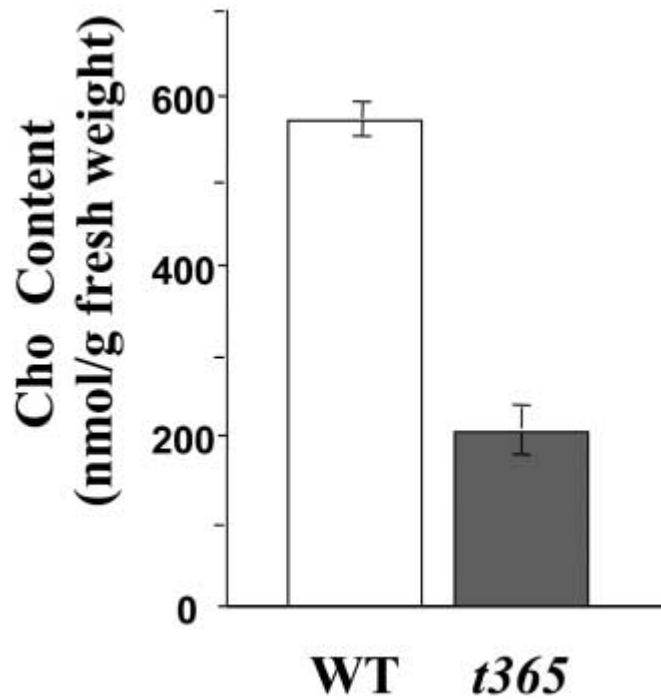


Enzyme PEAMT

Phosphocholine



Glycine bêtaïne



Morphology of Wild-Type and *t365* Mutant Plants Exposed to High-Salt Stress. (100 mM) NaCl – 3 days

Le mutant *t365* produit très peu de choline et présente une sensibilité accrue à la salinité

(Mou et al., 2002).

Autres études montrent que :

Amélioration par voie biotechnologique de l'accumulation des osmoprotecteurs

- Activation de la synthèse,
- Inhibition du catabolisme ou
- Inhibition du transportant dans les tissus cibles

→Meilleure tolérance aux stress abiotiques.

Exemples : Gènes impliqués dans la synthèse de

- Mannitol (Tarczynski et al., 1993 ; Karakas et al., 1997 ; Sheveleva et al., 1997 ; Shen et al., 1997),
- glycine bêtaïne (Holmstrom et al., 2000; Hayashi et al.,1997; Sakamoto et al., 1998; Kishitani et al., 2000; Prasad et al., 2000)
- Proline (Kishor et al., 1995 ; Zhu et al., 1998 ; Nanjo et al., 1999 ; Hong et al., 2000).

Récemment :

Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses

Ajay K. Garg*, Ju-Kon Kim†, Thomas G. Owens‡, Anil P. Ranwala§, Yang Do Choi¶, Leon V. Kochian‡||, and Ray J. Wu*,**

PNAS, 99 (2002)

✓ Contrôle et réparation des dégâts provoqués par le stress salin

Protéines induites par le stress salin

Les protéines de type LEA (Late Embryogenesis Abundant)

- Les fonctions exactes inconnues
- Expression dans les graines pendant la maturation + Conditions de stress
- Rôle (*putatif*) : Fixation d'eau et stabilisateurs des membranes et des protéines

Protéines de type Hsp (Heat-Shock Proteins)

- Chaperonnes moléculaires
- En conditions normales → impliquées ds synthèse, adressage, maturation et + dégradation des protéines
- En conditions de stress → Participation à la stabilisation des prot. et mb + « réparation » de la structure des prot.

✓ Gestion du stress oxydatif

Les résidus réactifs oxydatifs (ROS) Reactive Oxygen Species) : O_2^- , H_2O_2 et OH^-

Conditions de stress (en particulier salin) → Production ROS ↗

Excès de ROS → Dégâts au niveau

- Lipides membranaires,
- Protéines
- Acides nucléiques.

Chez les plantes → Stratégies d'anti-oxydation pour détoxifier les ROS.

Les antioxydants :

- Enzymes : catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, glutathione reductase
- Molécules non enzymatiques : Ascorbate, le glutathione, le tocophérol, les carotenoïdes, les anthocyanines.

A Recessive Arabidopsis Mutant That Grows Photoautotrophically under Salt Stress Shows Enhanced Active Oxygen Detoxification

Kazuo Tsugane,^a Kyoko Kobayashi,^a Yasuo Niwa,^a Yasushi Ohba,^b Keishiro Wada,^b and Hirokazu Kobayashi^{a,1}

Mutants *Arabidopsis pst1* (pour photoautotrophic salt tolerance 1) = tolérants à NaCl

→ Meilleure performance que les témoins en conditions de stress oxydatif.

Stress salin, pas de différences entre mutants /contrôle : [Na⁺, K⁺ et proline]

En revanche : Activités enzymatiques de la superoxide dismutase et l'ascorbate peroxidase chez les mutants sont plus élevées que chez les contrôles

Augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes a amélioré la tolérance à la salinité.

Stratégies d'adaptation à la salinité dans le contexte de la plante entière

- ✓ Contrôle de l'entrée de Na^+ dans les cellules épidermiques et corticales des racines**
- ✓ Contrôle de l'entrée de Na^+ dans le xylème**
- ✓ Retrait de Na^+ de la sève du xylème**
- ✓ Retranslocation de Na^+ dans le phloème**
- ✓ Accumulation de Na^+ dans les parties aériennes spécifiques**
- ✓ Excrétion de Na^+ sur la surface foliaire**
- ✓ Contrôle de la transpiration**

Contrôle de l'entrée de Na⁺ dans les cellules épidermiques et corticales des racines

Vitesse d'influx Na⁺ ds les racines : 0,5 à 2 $\mu\text{mol g}^{-1}$ racine f.wt min⁻¹
(en présence de 50 mM NaCl) (blé, riz et At) (Tester et Davenport., 2003)

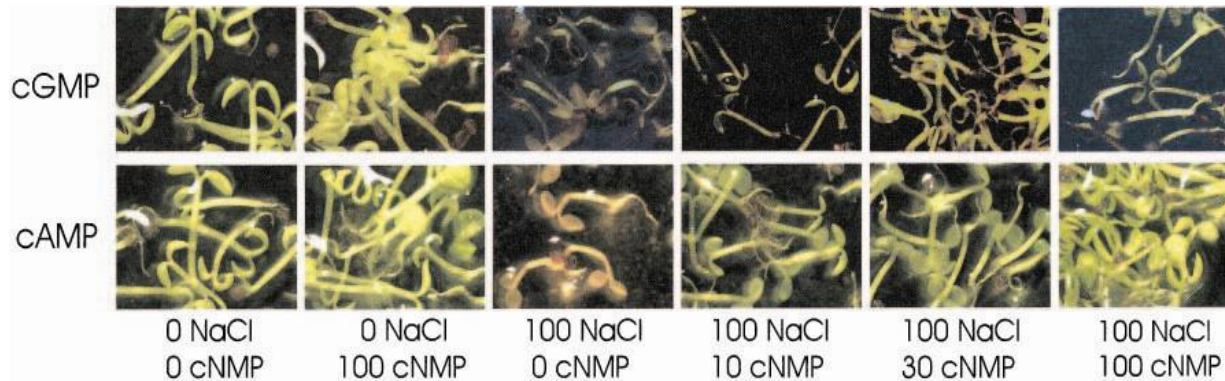
$V_{\text{influx Na}^+}$ halophytes \lll $V_{\text{influx Na}^+}$ non-halophytes

La régulation de l'entrée initiale de Na⁺ dans les cellules corticales des racines est donc importante pour la tolérance des plantes à la salinité.

Les mécanismes (voies) d'influx Na⁺ ds les racines :

- **Canaux sensibles à Ca²⁺** (exprimés ds les racines)
Les mieux caractérisés : CNGC (Cyclic Nucleotide Gated Channels) et GLR (Glutamate-activated Channels)
- **Canaux insensibles à Ca²⁺** : HKT (High affinity K⁺ Transporter)
- «Fuite » apoplastique
(Rappel) flux d'eau et de petites molécules dans le xylème sans n'avoir jamais passé de membrane

Voie 1 : Canaux sensibles à Ca^{2+}



Maathuis et Sanders., 2001.

La présence de cGMP ou cAMP améliorent la tolérance au sel chez *At*

Ajout d'analogues de nucléotides cycliques → Inhibe l'influx de Na^+ (Maathuis et Sanders.,2001)

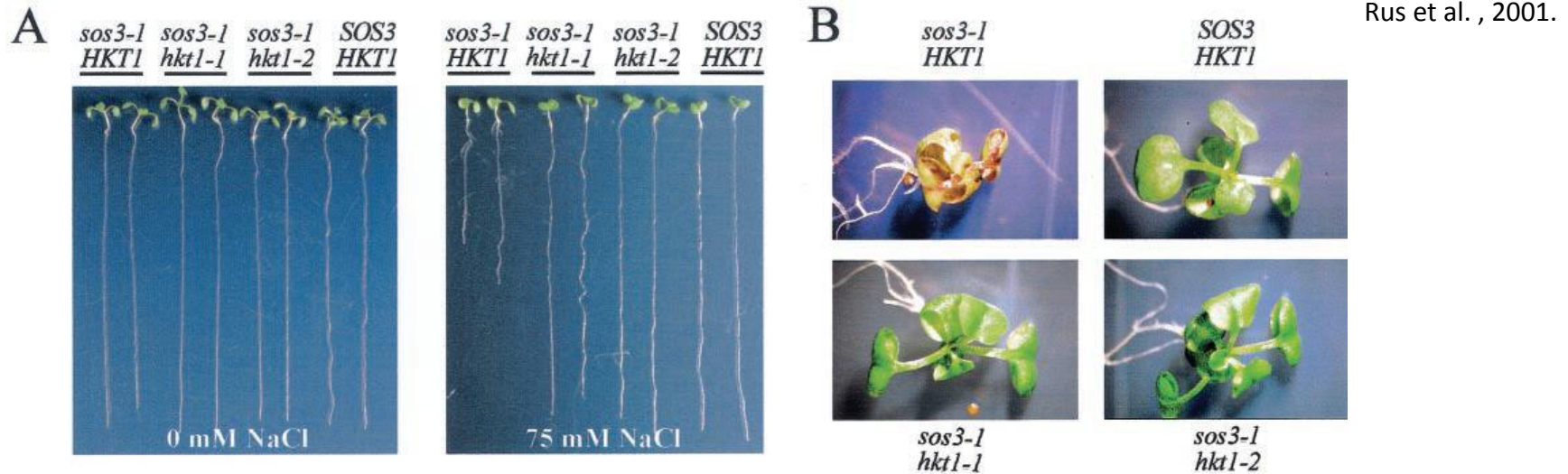
→ Implication des CNGC ds l'influx de Na^+ **Cyclic Nucleotide Gated Channels**

De la même façon :

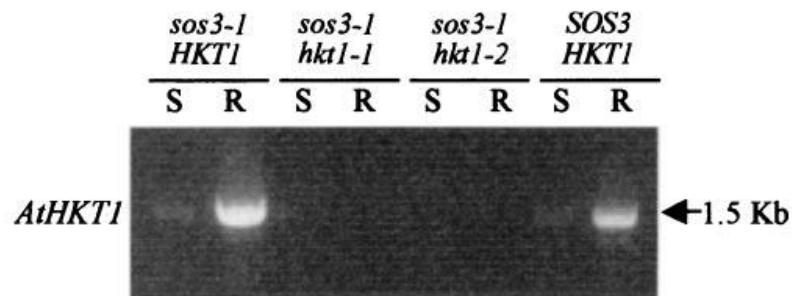
Ajout de glutamate → Augmente l'influx de Na^+

→ Implication des GLR ds l'influx de Na^+ (Tester & Davenport, 2003) **Glutamate-activated Channels**

Voie 2 : Canaux insensibles à Ca²⁺ : HKT (High affinity K⁺ Transporter)



The *hkt1-1* and *hkt1-2* mutations suppress the NaCl hypersensitive phenotypes of *sos3-1*



AtHKT1 transcript abundance is greater in the root (R) than the shoot (S) of Col-0 wild-type plants,

AtHKT1 est un déterminant de la tolérance à la salinité chez At...

→ Contrôle de l'entrée de Na⁺ dans les racines

Voie 3 : «Fuite » apoplastique

Particulièrement importante chez le riz Yeo et Flowers (1985)

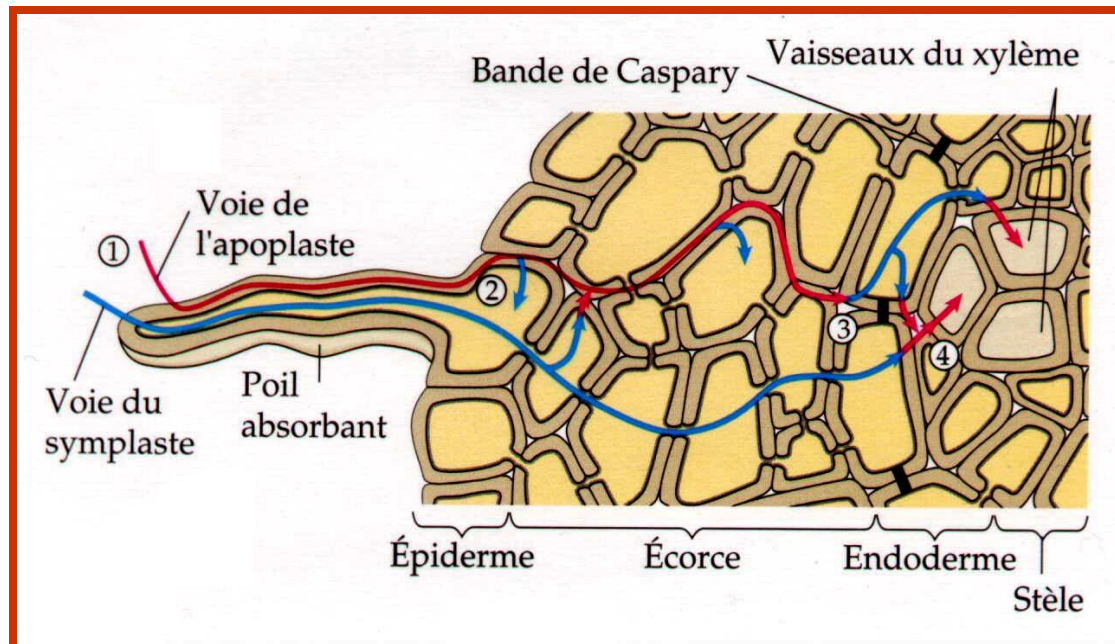
Mise en évidence par sonde fluorescente apoplastique (Yadav et al. (1996) et Yeo et al. (1999))

Variétés sur-accumulant Na^+ dans les feuilles → Fuite apoplastique très importante.

Fuite à l'endoderme des racines contournant le passage symplastique à travers la membrane des cellules racinaires.

Points de branchement des racines latérales et apex des racines avant la différenciation complète de rhizoderme et endoderme

(Yeo et al., 1999).



Efflux de Na⁺ à partir des racines dans le milieu

Vitesse influx de Na⁺ ds racines → 0,5 à 2 μmol g⁻¹ racine f.wt min⁻¹.

Cependant, pas d'accumulation rapide de Na⁺ dans les plantes.

[Na⁺] racines stable durant le stress salin / [Na⁺] feuilles augmente lentement

(Tester & Davenport, 2003)

→ Sys d'efflux de Na⁺ à travers mb plasmiques des Cell. racinaires

Accumulation réelle Na⁺ ds Cell. racinaires = Influx Na⁺ - Efflux de Na⁺.

Chez At → *SOS1* code un échangeur Na⁺/H⁺ localisé à la mb plasmique (Shi *et al.*, 2002)

Surexpression *SOS1* chez At → Améliore sensiblement la tolérance des plantes à la salinité

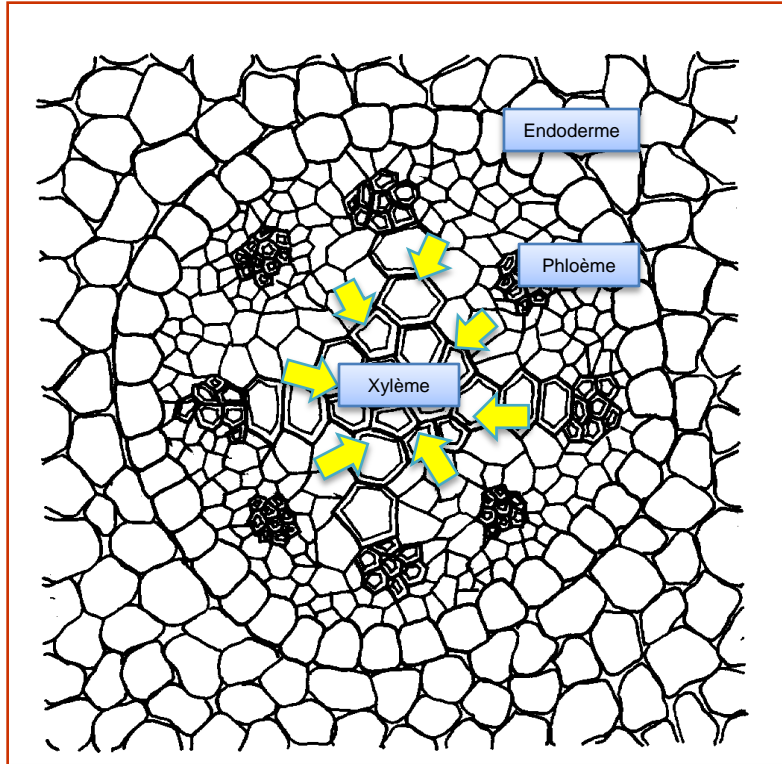
(Shi *et al.*, 2002)

Contrôle de l'efflux de Na⁺ dans les cells racinaires → Adaptation à la salinité

Régulation de l'entrée de Na⁺ dans le xylème

La teneur en Na⁺ des racines est stable durant le stress salin.

l'efflux de Na⁺ à partir des cellules racinaires, dans le milieu extérieur.



Efflux de Na⁺ à partir des cellules parenchymateuses de stèle, dans le xylème.

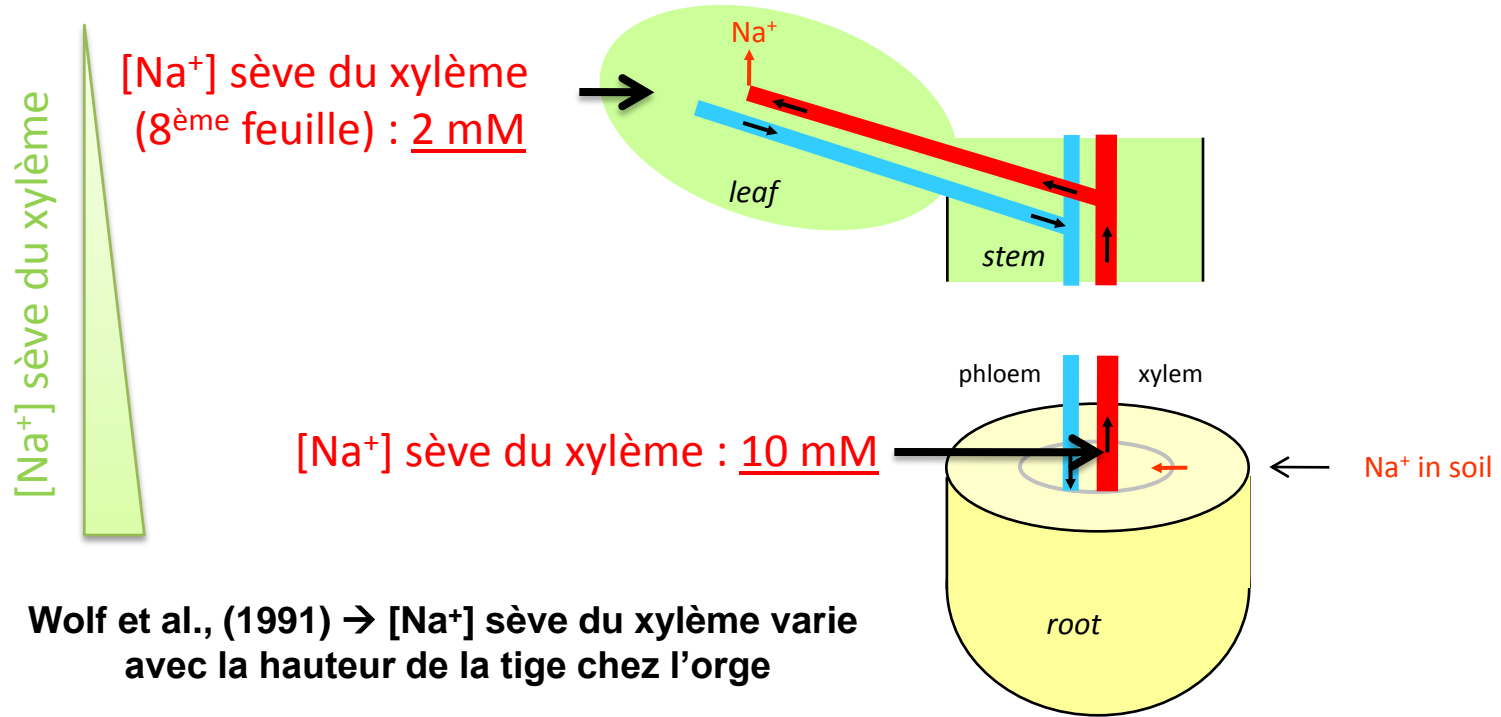
Mécanismes du transport de Na⁺ dans le xylème **ne sont pas connus !!**

Chez *At*, (25 mM de NaCl), mutants *sos1* accumulent moins de Na⁺ dans les parties aériennes que les contrôles sauvages (*Shi et al.*, 2002)

SOS1 exprimé préférentiellement dans les cellules parenchymateuses, autour des vaisseaux du xylème (*Shi et al.*, 2002)

Retrait de Na^+ de la sève du xylème

Retirer Na^+ du xylème avant qu'il atteigne les systèmes foliaires...



Maintenir l'activité photosynthétique des feuilles → Assurer l'émergence et la croissance de nouvelles feuilles.

Mécanismes moléculaires (retirait Na^+ xylème) → **Inconnus**

Retranslocation de Na⁺ dans le phloème

- Observée chez quelques espèces
- Le lupin (Munns et al., 1988)
 - Le poivrier (Blom-Zandstra et al., 1998)
 - Le maïs (Lohaus et al., 2000)

Chez *Lycopersicon pennelli*, (espèce de tomate sauvage et tolérante à la salinité) la retranslocation de Na⁺ dans le phloème est plus importante que la tomate domestiquée

(Perez-Alfocea et al. , 2000)

La retranslocation de Na⁺ ds phloème → Stratégie d'adaptation chez les végétaux

Direction de la retranslocation de Na⁺ → Critique (Racines Vs Tissus juvéniles)

Chez le poivrier → Retranslocation de ²²Na⁺ des parties aériennes aux racines ne se produit que quand Na⁺ est retiré de la solution nutritive

i.e quand il existe un gradient favorable entre phloème et racines (Blom-Zandstra et al., 1998).

Accumulation de Na⁺ dans les parties aériennes spécifiques

Cell. des tissus juvéniles → Petites vacuoles (inadaptés pour la compartimentation)
→ Processus métaboliques sensibles à la présence de Na⁺.

Evitement de l'accumulation de Na⁺ dans les tissus juvéniles en pleine croissance

→ Stratégie d'adaptation à la salinité chez plusieurs plantes

Constat : Dans les tissus juvéniles des plantes → [Na⁺] ↓

Faible vitesse de transpiration
des jeunes feuilles

Accumulation préférentielle de Na⁺ dans
les parties aériennes spécifiques
Exp: Vieilles feuilles

Chez le soja : ³²P peut circuler librement à travers des tissus juvéniles

²²Na ne peut pas entrer dans les parties jeunes de racines et des feuilles.

Excrétion de Na⁺ sur la surface foliaire

Halophytes → structures spécifiques glandes excrétrices du sel

Stratégie :1- Pomper le sel dans un petit volume de l'apoplaste

2- Isoler cet espace du reste de l'apoplaste foliaire

3- Création d'un gradient $\Psi_{\text{osmotique}}$ (Entrée d'H₂O)

4- Pression ↗

5- Force de pression → Flux forcé à travers les structures les plus fragiles entre l'apoplaste et la surface foliaire..

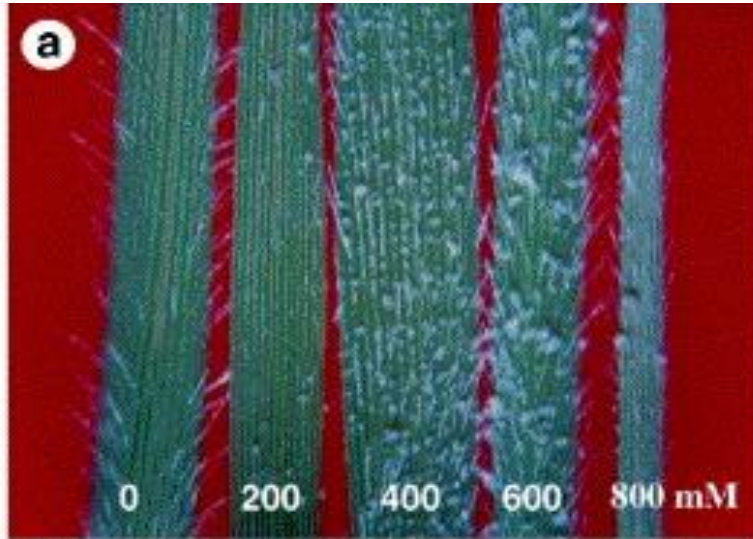
Mise en évidence d'une corrélation entre vitesse d'excrétion de Na⁺ à partir des glandes et la tolérance à la salinité.

Comparaison comportement +eurs P. grasses (sous-famille *Chloridoideae*) (Marcum.,1999)

Excrétion du sel sur la surface foliaire

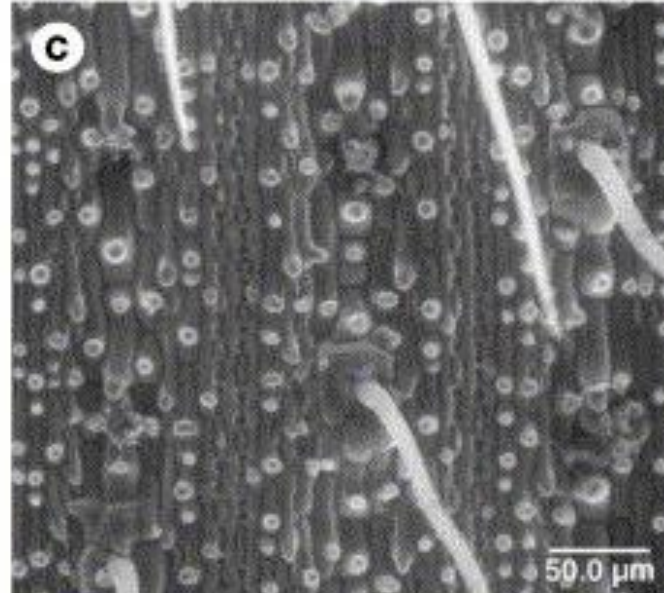
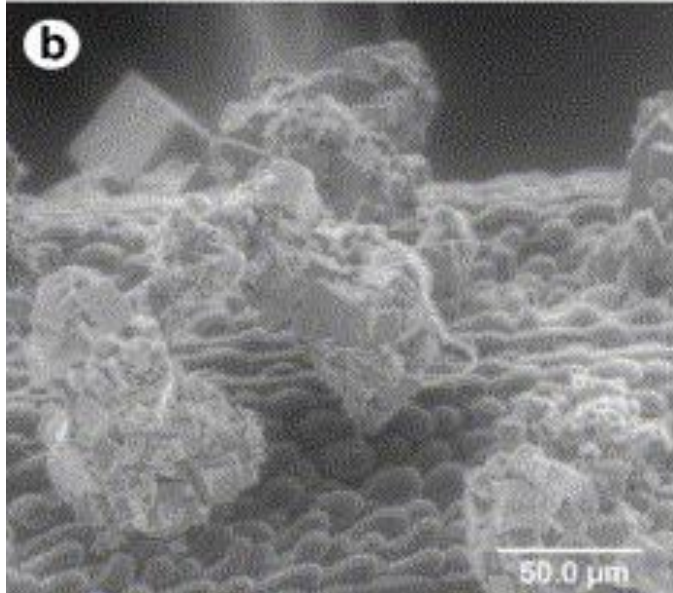
→ Rôle important dans l'adaptation des plantes grasses à la salinité.

Salt secretion glands and bladders on epidermis expel salt from leaves of halophytes



Salt excretion on adaxial leaf side of *Aeluropus littoralis* (Poaceae) plants treated with 0, 200, 400, 600 and 800 mM NaCl observed with a magnifying glass ($\times 4$).

(b) SEM micrographs of salt crystals observed on adaxial leaf surface from 400 mM NaCl treated plants. (c) Adaxial leaf surface of 400 mM NaCl treated plant which was washed and observed 2 h later.



Salt impact on photosynthesis and leaf ultrastructure of *Aeluropus littoralis*. Barhoumi et al., 2007

Contrôle de la transpiration

Transport des sels (essentiellement) → via le courant de transpiration

Régulation de la transpiration → Fermeture ou l'ouverture des stomates

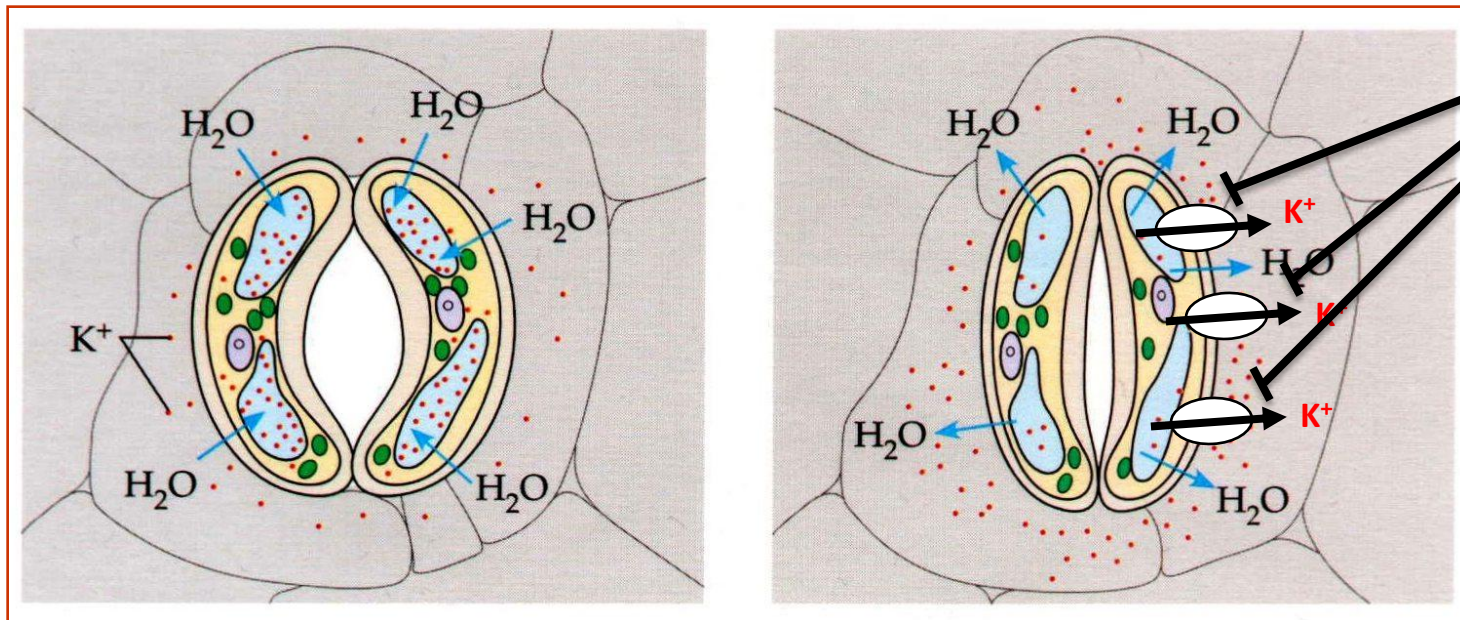
→ Contrôle de l'accumulation des sels dans les parties aériennes.

Glycophytes :

$[Na^+]_{\text{cytoplasme}}$ ↗ Cellules de garde répondent moins bien à l'ABA, CO_2 et l'obscurité

(Robinson et al., 1997 ; Thiel & Blatt, 1991)

→ Stomates restent ouvertes !!!



Chez *Aster tripolium* : halophyte dépourvue de systèmes d'excrétion du sel sur la surface foliaire

→ Ouverture des stomates inhibée par la salinité (Robinson et al., 1997)

Réactions contrastées entre glycophytes et halophytes



Contrôle de la fermeture stomatique (transpiration) en conditions de stress salin

→ Déterminant pour l'adaptation des plantes à la salinité.

Aspects biotechnologiques de l'amélioration de la tolérance à la salinité chez les plantes

Stress salin chez les plantes = combinaison de stress osmotique + stress ionique

Tolérance au sel

→ Amélioration de l'expression gènes impliqués dans la voie de biosynthèse d'osmolytes

et /ou

→ Amélioration de l'expression de gènes impliqués dans la régulation de l'homéostasie ionique = systèmes de transport membranaires (vacuolaires ou plasmiques)

Axe 1 :

3 gènes orthologues HAL3 chez le tabac (*NtHAL3a*, *NtHAL3b*, and *NtHAL3c*)

- Surexpression du gène de tabac *NtHAL3a* dans les cells BY2 augmente le taux de proline
- amélioration de la tolérance à la salinité de ces cells.

Axe 2 :

Amélioration tolérance au stress ionique → Expression du gène de levure ENA1

- Code une pompe d'efflux de Na⁺sodium
(présente chez les champignons, absente chez les végétaux)

Axe 3 :

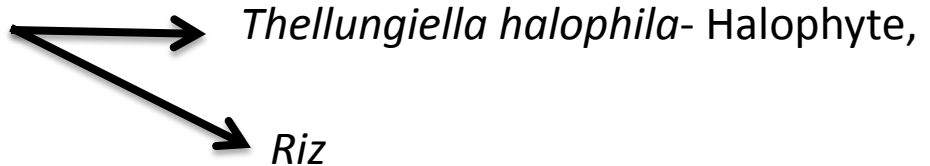
Compréhension des mécanismes moléculaires de l'homéostase de Na⁺ et K⁺ chez le riz

- Transporteurs HKT → différentes propriétés de transport de Na⁺ et K⁺

Les modèles d'étude du stress salin chez les plantes ...

- ✓ Levure...
- ✓ *Mesembryanthemum crystallinum*- (Ice plant) halophyte facultative
- ✓ *Craterostigma plantagineum*- (Resurrection plant) Plante de la résurrection
- ✓ *Arabidopsis sp*- Glycophyte

Révolution post-*Arabidopsis*



En conclusion

L'étude du stress salin chez les végétaux prend, grâce à la biologie moléculaire et le choix des plantes modèles pertinents, un tournant décisif qui sans doute apportera un bon nombre de nouvelles données en biologie fondamentale.

Mais tous ces travaux ne seraient pas motivés de la même manière si derrière ces recherches ne se cachait un enjeu agronomique de taille.

En effet aujourd'hui dans le monde près de 20 % des cultures sont irriguées avec l'eau saumâtre. Si certaines cultures comme la betterave ou l'asperge s'accommodent fort bien d'un sol salé, il n'en est pas de même pour d'autres cultures comme les agrumes ou certaines légumineuses .

Les ressources en eau douce menacent de diminuer dans les prochaines décennies, l'étude des mécanismes de résistance au stress salin présente donc un enjeu important.

Ces connaissances des méthodes d'amélioration des cultures et de valorisation des sols permettront une meilleure production végétale, pour répondre à une demande sans cesse en augmentation

Pour les plus curieux...quelques références...

Mechanisms of High Salinity Tolerance in Plants. Narendra Tuteja. Methods in Enzymology, Volume 428 (2007)

Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. M. Ashraf et al., Environmental and Experimental Botany 59 (2007) 206–216

AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. Rus et al., PNAS, 2001. vol. 98 no. 24150–14155

Genes and salt tolerance: bringing them together. Munns et al., 2005. N. Phytol.167(3):645-63.

Expression of OsNHX1 gene in maize confers salt tolerance and promotes plant growth in the field. Chen et al., 2007. PLANT SOIL ENVIRON., 53, (11): 490–498.