

Feyza Ozdemir
Agate Ruelle
Antoine Soubieux

BCPST-1C

TYPE DE BIOLOGIE

2021- 2022

La résistance au sel d'une plante halophile : l'Aster maritime



BANQUE AGRO-VETO session 2022

T.I.P.E.

Maximum 6 à 10 pages (illustrations comprises), 20 000 caractères maximum, Times New Roman 12 ou Arial 10, interligne simple espaces compris.

IMPORTANT : n'inscrire sur cette couverture aucune référence à l'établissement scolaire.

TITRE : La résistance au sel d'une plante halophile, l'aster maritime

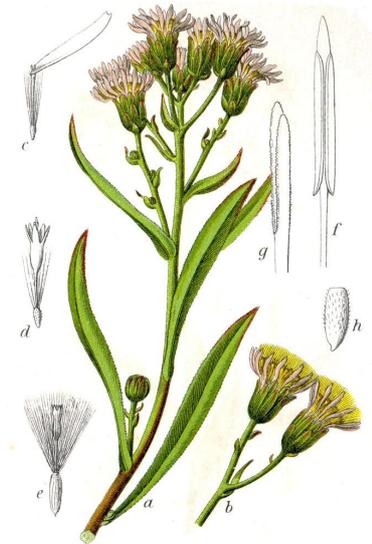
Nombre de caractères (espaces non compris) : 19 448

Le document, constitué uniquement de feuilles blanches A4, sera **simplement agrafé**, avec en couverture cette présentation.

Aucune couverture de couleur, cartonnée, rhodoïd ou autre.

Il ne sera surtout pas relié avec une spirale, ou une réglette.

La résistance au sel d'une plante halophile, l'Aster maritime

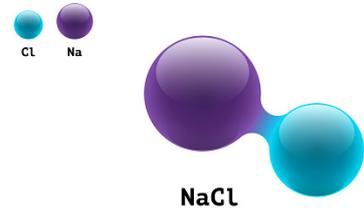


Introduction :

Dans certaines zones géographiques du globe, on peut trouver des végétaux se développant proche du niveau de la mer. C'est le cas de nombreuses plantes dites halophiles, signifiant qu'elles s'accroissent ou ont besoin du sel pour vivre. Prenons l'exemple de l'Aster maritime, que nous avons prélevé dans son milieu naturel et analysé durant plusieurs mois. Notre étude va donc se focaliser sur cette espèce : *Tripolium pannonicum*.

Celle-ci fait partie de la famille des Astéracées et pousse en effet sur les littoraux. A certains moments de la journée, elle est tellement proche de l'eau salée qu'elle en est même recouverte à marée haute. Or la plupart des plantes subsistent habituellement avec de l'eau douce. On va donc étudier l'effet qu'à une forte concentration de sel sur sa croissance, et les comportements qui en résultent.

Une telle quantité de sel apportée à l'Aster est-elle vraiment prolifique ? La plante résiste-t-elle à cet apport conséquent en ion sodium (NaCl) ? Pour répondre à ces interrogations, nous verrons les mécanismes cellulaires et biochimiques réalisés par notre plante supposée comme halophyte, et une plante témoin, dans des conditions expérimentales à deux variables : la salinité de l'eau et le type de milieu.



Problématique :

Quels sont les mécanismes de l'Aster maritime pour résister au sel présent dans son milieu ?

Plan :

I. Milieu de vie des asters maritimes

- 1) Le schorre et le bord de la Rance
- 2) La salinité de l'eau de la Rance

II. Observation de la résistance au sel des asters maritimes

- 1) Le témoin : du blé
- 2) Expérience principale : croissance de l'Aster maritime dans différents milieux et arrosées à l'eau de différentes concentrations en sel

III. Les mécanismes des asters maritimes pour tolérer le sel

- 1) Les inconvénients et conséquences de l'absorption du sel
- 2) Les adaptations contre le sel

I. Milieu de vie des asters maritimes

1) Le schorre et le bord de Rance

Les Asters maritimes ont été récoltés en Bretagne au bord de la Rance (latitude: 48.555860 / longitude: -1.962779). Elles vivent au niveau du bas schorre, lieu marécageux qui est près du niveau de la mer et qui est recouvert d'eau à chaque marée haute. On peut la retrouver sur tout le littoral français comme



la baie du Mont Saint Michel et la baie de Somme. Ainsi, la plante est confrontée à des concentrations en sel inhabituelles. C'est pourquoi nous avons décidé d'étudier l'Aster et son milieu de vie.

A marée haute, l'eau recouvre la zone où vivent les Aster quatre fois par jour pendant environ deux heures et à marée basse, elles sont à l'air libre.

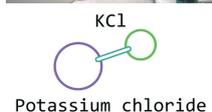
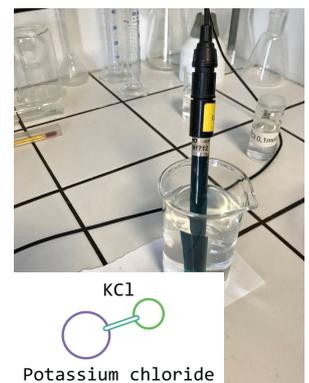
Doc 1 : vue du schorre de la Rance, à marée haute et basse

2) La salinité

Tout d'abord, nous avons travaillé sur la salinité de l'eau de la mer environnant notre Aster dans un labo de chimie, grâce à un conductimètre. Nos résultats ont été mis dans le tableau ci-dessous (*Doc 2*) :

	marée basse	marée haute	eau du robinet	solution KCl
conductivité σ (mS/cm)	48.2	48.6	0.65	51.5
K	0.9359	0.9437	0.0126	1
concentration de sodium (g/Kg)	32.76	33.03	0.44	35.00

Le conductimètre nous permet d'obtenir la conductivité σ . Cette dernière mesure la facilité des charges électriques à traverser une solution. Elle dépend de la température: plus il fait chaud, plus elle est favorisée. Elle dépend aussi de la concentration d'ions d'après la loi de Kohlrausch où la conductivité est proportionnelle à la concentration d'ions en solution. Ce dernier point nous permet donc d'obtenir la concentration de NaCl. (Remarque : 1g de halite NaCl par kg d'eau est égal à 1 unité de salinité psu). La solution de KCl est réalisée avec 100 mL d'eau distillée et 3.24g de KCl.



Le rapport $\sigma_{\text{eau}} / \sigma_{\text{solution KCl}}$ nous permet d'obtenir K_{eau} , puis on obtient la concentration du sodium par proportionnalité. Il n'y a pas une différence significative entre la concentration de sodium de l'eau à marée basse et celle à marée haute. Donc les aster vivent dans un milieu saumâtre à une concentration d'environ 33 g/kg de sel si on considère que le

sol est à la même salinité que l'eau (on néglige les ions déjà présents dans le sol). Cependant, les plantes sont arrosées naturellement et régulièrement par les eaux de pluie. Les précipitations annuelles à cet endroit sont de 798 mm, une valeur assez élevée comme ailleurs en Bretagne.

Ainsi, l'Aster est certes soumise à des eaux riches en sel par la Rance, mais également à des eaux non salées par la pluie, ce qui contrebalance la salinité moyenne du sol.

II. Observation de la résistance au sel des asters maritimes

1) Le témoin : du blé

Pour étudier des plantes au mode de vie spécifique quant à leur relation au sel, il faut tout d'abord utiliser une plante témoin qui va nous permettre d'identifier le comportement habituel des végétaux face au sodium. Pour cela, nous avons fait pousser, en marge des expériences principales qui vont suivre, du blé (*Triticum*). Les terres irriguées sous des climats chauds peuvent souffrir d'une augmentation de la salinité du sol. Le sel absorbé par les végétaux perturbe alors la photosynthèse, et donc le développement des plantes comme le blé.



Doc 3 : plants de blé dans quatre eaux de concentration en sel différentes, après 1 et 3 semaines

Pour vérifier ce principe biologique, nous avons mis des graines de blé en culture dans un bac dont le fond a été recouvert de coton humide. Après seulement quelques jours, le blé germait et poussait déjà bien. Nous l'avons ensuite disposé dans les mêmes conditions que pour l'Aster qui va suivre, c'est-à-dire dans quatre pots identiques remplis de terre et arrosés régulièrement par quatre eaux de concentrations en sel différentes : 0 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹, 20 g.L⁻¹ et 30 g.L⁻¹. Ces solutions ont été préparées par nos soins en pesant du sel de mer et en l'incorporant en bonnes proportions dans des volumes d'eau du robinet. Le NaCl étant très soluble à l'eau, le mélange a été rapidement homogène. Au bout d'une semaine, des différences de pousse étaient déjà notables : environ 13 cm à 0g et 10g, et environ 11cm à 20g et 30g (un peu jaunis). Au bout de trois semaines, bien que nos brins aient été séchés à cause de la soudaine chaleur début mai, nous avons pu clairement observer une taille des plants corrélés à la présence de sel. Plus la quantité de sel augmente, moins bien le blé a poussé (respectivement 17 cm, 15 cm, 13 cm et 11 cm à la fin de l'expérience).



Ceci est conforme à nos attentes préliminaires pour une plante "commune", mais qu'en est-il de l'Aster, notre plante test halophile ?

2) Expérience principale : croissance de l'Aster maritime dans différents milieux et arrosées à l'eau de différentes concentrations en sel

A présent, il nous faut étudier l'Aster maritime, *Tripolium pannonicum*, qui a été au centre de notre étude tout au long du projet. Nous avons décidé de tester deux conditions expérimentales qui peuvent influencer

sur la tolérance en sel de la plante. Tout d'abord, le milieu dans lequel l'Aster est plantée : à l'état naturel on la trouve dans de la terre, mais elle pourrait peut-être également grandir dans du sable ou de l'eau pure car elle se situe sur les plages de l'Atlantique. C'est pourquoi nous avons voulu la faire pousser dans ces trois milieux. Ensuite, l'eau avec laquelle nous avons décidé d'arroser notre plante est, comme précédemment, un facteur agissant sur la concentration en sel que le végétal reçoit (0g.L^{-1} , 10g.L^{-1} , 20g.L^{-1} et 30g.L^{-1}).



Chaque plant reçoit donc un milieu et une eau spécifique, soit au total $3 \times 4 = 12$ plants étudiés.

Nous avons donc coupé et séparé douze pousses de même taille et du même nombre de pieds à partir d'un gros "bloc végétal" de départ. Chacun a été soigneusement planté dans un récipient. Pour le sable, l'utilisation d'un sable fin siliceux était préférable car contenant peu d'ion sodium. Nous l'avons lavé à l'eau claire plusieurs fois pour éviter tout apport supplémentaire de sel pouvant fausser la réelle quantité apportée aux plantes.

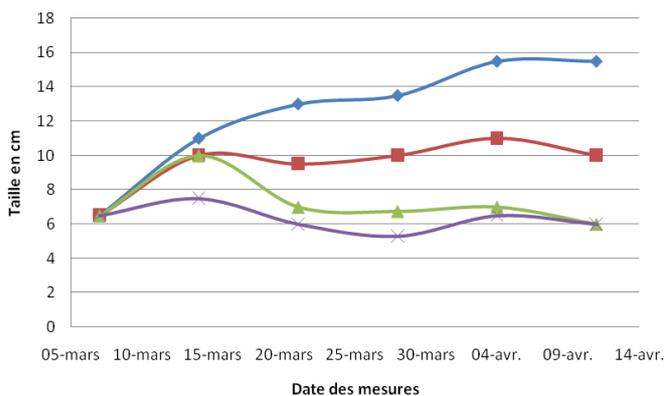
Doc 4 : bac de culture des différents plants d'Asters

Nous avons donc coupé et séparé douze pousses de même taille et du même nombre de pieds à partir d'un gros "bloc végétal" de départ. Chacun a été soigneusement planté dans un récipient. Pour le sable, l'utilisation d'un sable fin siliceux était préférable car contenant peu d'ion sodium. Nous l'avons lavé à l'eau claire plusieurs fois pour éviter tout apport supplémentaire de sel pouvant fausser la réelle quantité apportée aux plantes.

Par la suite et durant plusieurs semaines, nous avons régulièrement arrosé nos Aster et mesuré à intervalles réguliers leurs tailles. Comme avec le blé, des différences significatives de croissance se sont rapidement faites remarquées. Cependant ici les informations sont plus fournies puisque deux réglages étaient en jeu. En notant des tailles liées aux conditions et à une date, nous avons regroupé les données collectées dans un tableau Excel, pour ensuite produire des graphiques (présentés ci-dessous).

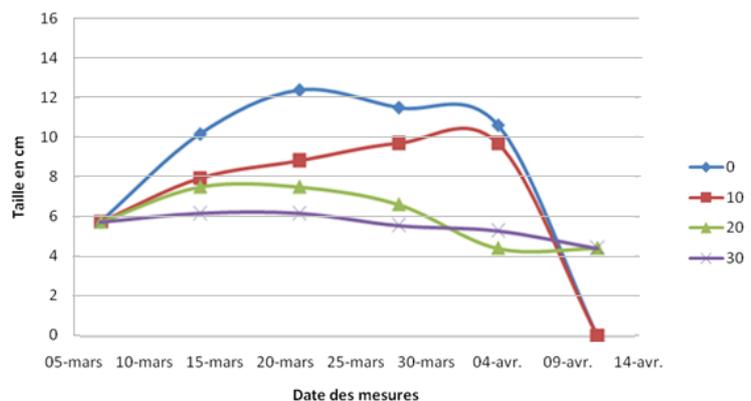
Doc 5 : Taille des Asters en fonction du temps dans différents milieux et concentrations d'eau (0 à 30g.L^{-1})

Croissance des plantes dans le sable

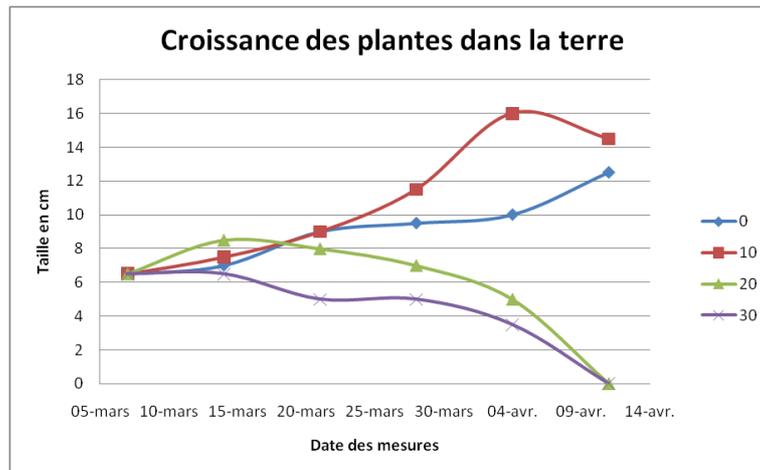


Graph 1 : sable

Croissance des plantes dans l'eau



Graph 2 : eau



Graph 3 : terre

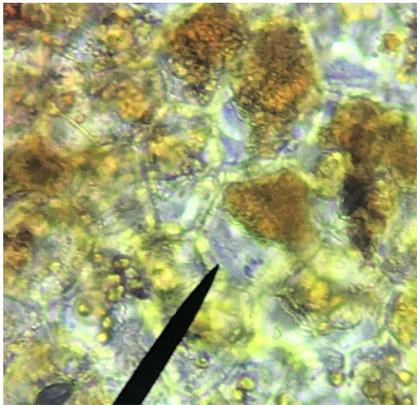
Nous observons ici plusieurs points intéressants. Dans les trois graphes, la tendance générale se dégagant est une meilleure croissance avec des arrosages à l'eau non salée ou légèrement (0 ou 10 g.L⁻¹). Ceci annonce donc déjà que l'Aster est une plante n'aimant pas les trop fortes concentrations en sel. Regardons plus précisément chaque document. Dans le milieu entièrement aqueux, pour commencer, les résultats sont les moins satisfaisants. La meilleure plante a seulement atteint une hauteur de 12 cm à l'eau du robinet, et entre 6 et 8 cm aux eaux très salées (20 et 30 g.L⁻¹). Au bout d'un mois, elles ont presque toutes dépériées car séchées. On apprend donc que notre végétal ne peut pas vivre totalement submergé par l'eau de mer. Ceci peut être expliqué par les marées (précédemment mentionnées) qui ne recouvrent la plante que pendant quelques heures chaque jour sans la noyer en permanence. Ainsi les racines doivent pouvoir se développer dans un sol meuble et parfois sec. Dans le sable, peu d'interprétations à tirer, l'Aster a assez bien tenu sur la durée avec une pousse régulière mais plutôt faible. Ce milieu n'est donc pas défavorable à la pousse, cependant il est sûrement moins riche en ions et minéraux qu'une terre. En effet, la croissance en terre a été assez spectaculaire : au bout de deux semaines, la pousse s'est nettement accélérée jusqu'à atteindre 16-17cm. Et surprise, ce n'est pas dans le pot arrosé d'eau du robinet mais dans celui recevant 10g.L⁻¹ de sel dans son eau que la plante a le mieux vécu ! Le 4 avril (1 mois après le début de l'expérience), il y avait même 6 cm d'écart avec la plante en terre à 0 g.L⁻¹, c'est à dire 5 cm de moins qu'en sable à 0g.L⁻¹ aussi. Le couplage eau légèrement salée, ou plus salée mais moins longtemps, dans la terre, semble donc être les conditions de vie préférées de *Tripolium pannonicum*, étant donc une halophyte.

Donc est-elle vraiment halophile, c'est-à-dire a-t-elle vraiment besoin du sel pour vivre ? Nos résultats vont dans ce sens puisque sans sel, l'Aster pousse moins bien dans son sol naturel, la terre. Quels sont les mécanismes utilisés par la plante pour obtenir une certaine résistance au sel et celle-ci a-t-elle cependant des limites ?

III. Les mécanismes des asters maritimes pour tolérer le sel

Prenons l'exemple d'une salière dans une maison humide. On observe que le sel absorbe l'eau, donc on peut imaginer ce même phénomène chez les plantes qui vivent au bord de la mer. Ainsi la salinité d'un sol entraînerait le dessèchement de la plante. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons réalisé une étude microscopique de feuilles d'Aster arrosées avec de l'eau salée et non salée. Dans ce but, nous avons réalisé une technique de coupe végétale avec une lame de rasoir. L'échantillon du végétal était placé entre

deux morceaux de polystyrène pour imiter la coupe à la moelle de sureau. Une fois les tranches fines découpées, elles ont été placées dans un verre de montre puis recouvert de quelques gouttes de colorant rouge neutre, servant à faire ressortir la vacuole des végétaux en histologie. Nous avons donc ensuite préparé des lamelles à étudier au microscope optique.



*cellule de l'Aster plasmolysée
(vacuole occupant la moitié de l'espace)*

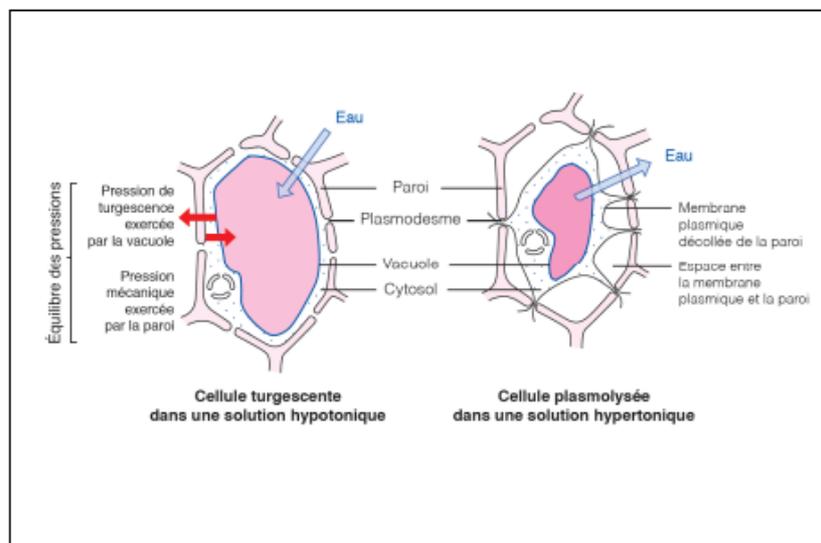
Doc 6 :
observation
microscopique
Grossissement
x 40



*cellule de l'Aster en état turgescet
(vacuole occupant tout l'espace)*

La première photo (à gauche) présente une cellule à l'état plasmolysé, c'est-à-dire que le potentiel osmotique des cellules végétales est plus élevé que celui du milieu extérieur donc l'eau a tendance à sortir des cellules. La plasmolyse se produit lorsqu'un flux d'eau sort par osmose de la vacuole et de la cellule végétale. On voit alors la membrane se détacher de la paroi pecto-cellulosique et la vacuole se coincer ici contre un bord de la cellule. La diminution de pression qui s'ensuit provoque le ratatinement des parties molles de la plante (tiges, feuilles, pétales), qui ne sont plus soutenues par la pression de turgescence. A l'inverse, sur la seconde photo (à droite), les cellules sont turgescetes et l'eau reste dans ces dernières.

Ainsi, les cellules d'une plante soumise à une sécheresse ou à une eau trop concentrée en sels perdront leur eau et seront en plasmolyse. Les parties molles se ratatineront alors et la plante mourra de détresse hydrique si la situation ne lui permet pas rapidement de réabsorber de l'eau. La salinité du milieu apporte donc tout de même, en trop forte concentration, une difficulté à la plante pour absorber l'eau.



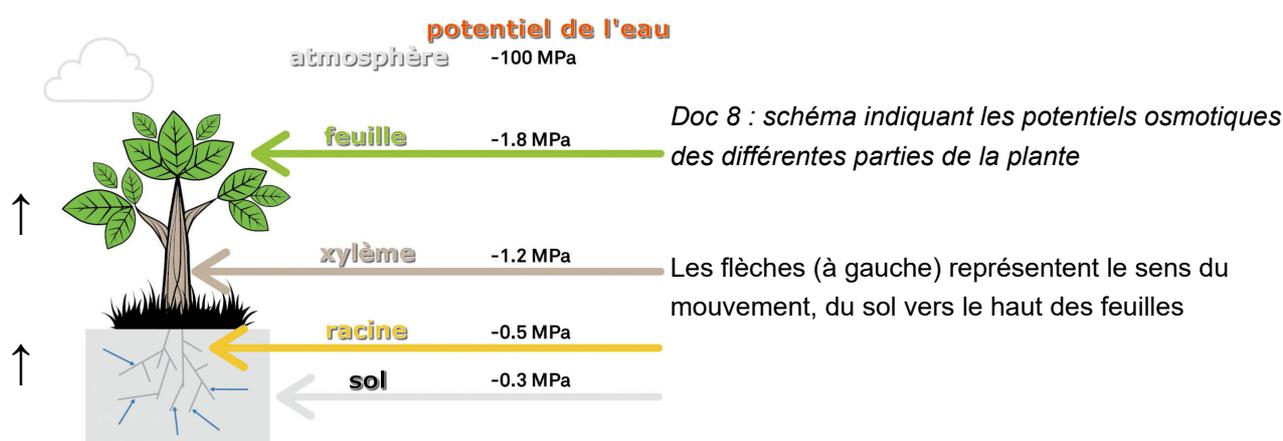
Doc 7 :

▲ FIGURE 24. Conséquences de l'osmolarité ambiante sur les cellules végétales.
D'après SEGARRA *et al.* (2014)

1) Les inconvénients et conséquences de l'absorption du sel

L'ion sodium (Na^+) est le principal responsable de la toxicité due au sel en perturbant l'absorption en eau et en nutriments par les racines, la photosynthèse dans les feuilles mais aussi en accumulant des formes activées de l'oxygène conduisant à un stress oxydatif.

Une concentration élevée en sel dans la solution du sol augmente son potentiel hydrique ; cela va perturber la nutrition des plantes en eau et en nutriments par l'intermédiaire des racines. Ce potentiel hydrique est l'énergie qu'il faut appliquer au sol pour libérer 1g d'eau. Le mouvement de l'eau va du potentiel le plus haut vers le potentiel le plus bas. Il est toujours négatif, et est d'autant plus bas que la liaison entre l'eau et le sol est forte. L'eau pure possède un potentiel hydrique de 0 ; mais dans un sol, l'eau n'est pas pure et contient aussi des solutés, responsables de la baisse du potentiel hydrique. Il est donc défini par sa teneur en eau. Ainsi un sol bien hydraté aura un potentiel hydrique avec des valeurs d'environ $-0,1$ MPa, alors qu'un sol sec aura des valeurs d'environ -1 MPa. Il est également défini par la concentration en solutés du sol. Ainsi, cette valeur peut atteindre environ $-0,4$ MPa dans un sol contaminé par une solution saline à 150 mM NaCl. Dans une situation extrême où la salinité du sol serait plus importante, on pourrait assister théoriquement à une sortie de l'eau des cellules racinaires vers le sol salin, et à une déshydratation et la mort des feuilles ou des racines de la plante ! Les dommages dus à l'effet osmotique de la salinité impactent non seulement la turgescence des cellules, mais induisent des changements métaboliques. Par exemple, le stress osmotique a un effet immédiat sur le taux de croissance des plantes.



Du fait de leurs propriétés physico-chimiques similaires, Na^+ entre en compétition avec l'ion potassium (K^+), un élément nutritif majeur chez les plantes. Les plantes réagissent à la présence de Na^+ en plusieurs étapes:

- En se protégeant contre le stress oxydatif ;
- En accumulant des solutés pour contrecarrer l'effet osmotique qu'exerce une quantité trop importante de Na^+ dans le sol ;
- En limitant l'absorption de Na^+ dans la racine, en augmentant son expulsion en dehors des cellules racinaires, le confinant dans la vacuole, et en gérant son transport et son exclusion hors des feuilles. La plante améliore aussi sa nutrition en K^+ .

La plante ne peut empêcher à long terme l'entrée du Na^+ dans ses cellules racinaires et sa translocation vers la partie aérienne, provoquant une intoxication cellulaire généralisée.

Les symptômes visuels des dommages causés par le sel sont la chlorose de la pointe des feuilles, suivie de leur brûlure, du brunissement et de la mort des feuilles. On observe alors une croissance réduite des plantes, des racines qui ne se développent plus, une stérilité et une production de graines réduite.

La photosynthèse est altérée, à cause de la fermeture des stomates, phénomène contrôlé par l'hormone acide abscissique, et l'inhibition de la fixation du CO₂.

2) Les adaptations contre le sel

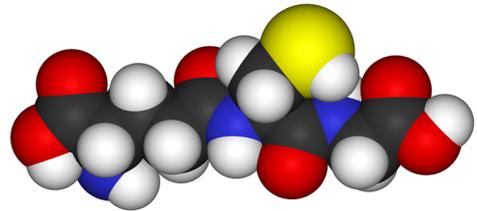
Chez les plantes halophiles, l'excès de sel dans le sol provoque donc un stress ionique (salin), oxydatif et osmotique qu'elles doivent gérer en mettant en place des stratégies pour maintenir les molécules du stress oxydatif à un niveau acceptable, l'équilibre osmotique ainsi que pour maintenir l'homéostasie ionique. Nous allons voir les différentes méthodes utilisées par nos Asters pour résister à l'arrosage à l'eau salée.

2.1) Stratégies de détoxification contre le stress oxydatif

Le stress oxydatif, causé par le stress salin, chez l'Aster maritime a été observé principalement dans les racines et les feuilles matures, et dans une moindre mesure dans les jeunes feuilles. Diverses stratégies de détoxification sont alors mises en place.

Premièrement l'augmentation de la teneur en H₂O₂ et des marqueurs de dommages oxydatifs des membranes cellulaires (fuite d'électrolytes et peroxydation lipidique) permet la détoxification.

De plus, l'accumulation dans les cellules de molécules antioxydantes (polyphénols, flavonoïdes, ascorbate, ...) et d'activités enzymatiques antioxydantes (catalase, superoxyde dismutase, peroxydase) permet la détoxification contre le stress oxydatif.



Doc 9 : Glutathion, antioxydant majeur des cellules végétales (atome réducteur en jaune)

Mais il y a aussi l'absorption sélective. Des adaptations anatomiques comme les barrières apoplastiques renforcées faites de subérine empêchant le sel de pénétrer à l'intérieur de la racine et la mise en place de glandes sécrétant du sel hors des tissus foliaires.

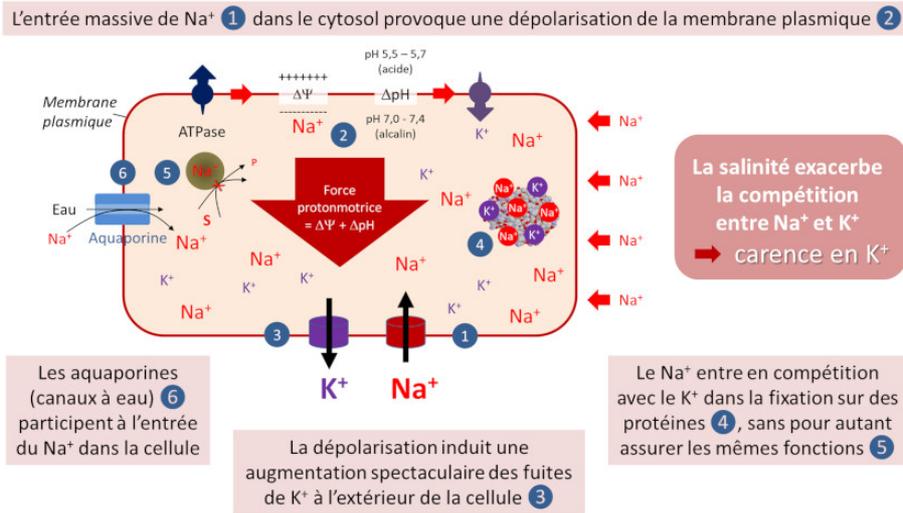
2.2) Le maintien de l'homéostasie hydrique

Le maintien de l'équilibre hydrique dans les tissus de la plante est crucial pour sa croissance et son développement. L'eau est perdue par la transpiration par les stomates et acquise par l'absorption racinaire. L'homéostasie hydrique est donc assurée par l'apport en eau, mais aussi par la capacité des cellules végétales à retenir l'eau.

En conditions de stress osmotique, l'homéostasie hydrique est perturbée, la cellule végétale accumule dans le cytosol des solutés compatibles afin d'équilibrer la pression osmotique.

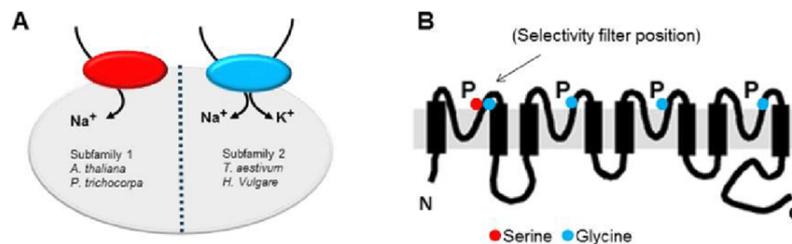
2.3) Le maintien de l'équilibre ionique

Des études sur le génome ont permis d'identifier des gènes responsables de la tolérance à la salinité. L'un d'eux code un transporteur de Na⁺ impliqué dans l'homéostasie entre le K⁺, élément essentiel, et le Na⁺, élément toxique. Cela met l'accent sur l'importance des systèmes de transport de ces deux ions dans le phénomène de tolérance au sel.



Doc 10 : impact du Na⁺ sur le fonctionnement cellulaire des plantes

Pour qu'une plante soit en mesure de tolérer un stress salin, il est important que le rapport K⁺/Na⁺ dans le cytosol des cellules racinaires soit élevé et donc que ces cellules contiennent peu de Na⁺. Différentes stratégies permettent aux plantes d'y parvenir ; elles impliquent des systèmes de transport contribuant à l'homéostasie Na⁺ et K⁺, principalement en expulsant l'excès d'ions Na⁺ hors des cellules épidermiques racinaires vers l'extérieur. Mais aussi en confinant les ions Na⁺ dans la vacuole, une fois qu'ils sont dans le cytosol. De plus, en empêchant la translocation des ions Na⁺ vers les parties aériennes. Ce rôle est dévolu à un transporteur d'influx sélectif de Na⁺. La protéine transporteur de Na⁺, HKT1 est localisée dans le parenchyme du xylème racinaire, elle permet de décharger en Na⁺ la sève xylémienne, en retenant cet ion dans les cellules du parenchyme xylémien. Il est également possible de maintenir l'équilibre ionique en permettant le retour des ions Na⁺ vers les racines. HKT1 est aussi exprimé dans les cellules adjacentes aux vaisseaux du phloème dans les feuilles; cela permettrait la recirculation du Na⁺ des parties aériennes, en chargeant le Na⁺ dans le phloème pour permettre le retour. Pour finir, la plante peut contrecarrer les effets toxiques du Na⁺ grâce à l'implication des systèmes de transport du K⁺. Ces systèmes aident au maintien d'un rapport K⁺/Na⁺ cytosolique élevé.



Doc 11 : Transporteur HKT1

Tous ces complexes à l'échelle moléculaire nous ont permis d'observer des réactions de rejet massif de halite par les feuilles des *Asters maritimes* soumises à une salinité de 20 et 30 psu. Cette dernière concentration a laissé apparaître des cristaux salins de 1 à 2 cm sur les feuilles plasmolysées et les rebords des pots de la plante.



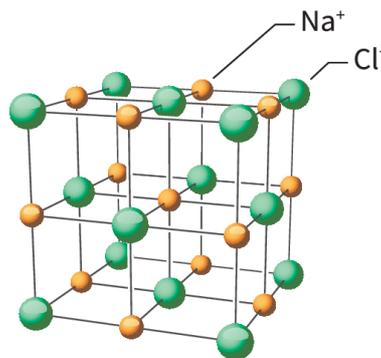
Doc 12 : a) rejet de sel sous forme de cristaux, après plus d'un mois de culture



Doc 12 : b) cristaux de sel en plaques fines (très accrochés au bout de feuille morte)

On pourrait voir au microscope électronique un enchaînement de mailles cristallines élémentaires de la halite (Doc 13 ci-dessous), de forme cubique, où chaque atome de sodium est entouré par 6 atomes de Chlore (site octaédrique).

Il y a par maille autant d'atomes de chaque espèce chimique, ce qui confirme l'équilibre des charges. La cristallisation relativement rapide du sel peut s'expliquer par la présence des charges opposées portées par les deux constituants ainsi que leur taille relativement petite en comparaison de molécules comme le saccharose. Ces deux facteurs interviennent dans la diffusion des atomes hors et autour de nos Asters.



Conclusion :

Finalement, les résultats de nos expériences ont montré qu'un milieu trop salé est parfois défavorable à la croissance des plantes. L'ensemble des graphiques que nous avons obtenus nous ont tout de même permis de constater une croissance optimale de l'Aster dans la terre et arrosée avec de l'eau dont la salinité est de 10 psu. Cette valeur correspondrait à une moyenne de l'eau de la Rance (33 psu) et de l'eau de pluie (0 psu). Elle poussait en effet mieux que celle arrosée avec de l'eau du robinet, contrairement à notre témoin. Nous pouvons donc la considérer comme halophile.

Cependant, lorsqu'une plante est halophile, elle est contrainte par l'apport excessif des ions Na^+ du milieu salin. Ainsi, l'évolution lui permet de s'adapter et de trouver des mécanismes moléculaires pour subsister et croître au mieux. On ne retrouve pas ces espèces de plantes à des altitudes plus élevées, seulement au niveau de la mer. En effet, vivre là où les autres ne le peuvent pas, permet à *Tripolium pannonicum* d'avoir en exclusivité les ions minéraux du sol ainsi qu'un éclairage conséquent.

Bibliographie :

<https://fr.wikipedia.org/>

<https://www.svt-tanguy-jean.com/uploads/1/2/0/4/120408978/bcpst1-7-membranes-fiche.pdf>

<https://www.aquaportail.com/definition-5137-potentiel-de-l-eau.html>

<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/comment-plantes-supportent-regime-sale/>

https://www.researchgate.net/figure/Classification-and-Structure-of-HKT1-proteins-A-HKT1-transporters-are-divided-into_fig1_320227236

<https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/html/minusc/cristaux/html/sel.html>

Remerciements :

Merci à M. Esnault pour ses précieux conseils, à M. Marty pour son aide en salle de TP, et à tout le personnel du laboratoire de biologie / chimie pour le prêt du matériel...