

La salinité due au chlorure de sodium et les végétaux supérieurs.

Ph. MORARD et M. GARCIA*

LA SALINITE DUE AU CHLORURE DE SODIUM
ET LES VÉGÉTAUX SUPERIEURS

Ph. MORARD et M. GARCIA

Fruits, avril 1977, vol. 32, n°4, p. 263-267.

RESUME - Malgré son importance, le problème posé par la salinité due au chlorure de sodium est encore mal connu. A son action non spécifique sur la pression osmotique, s'ajoutent les effets joués par chacun des ions constitutifs de ce sel sur le métabolisme végétal. Le sodium se révèle soit nécessaire, soit favorable, soit toxique. Le chlore peut être inclus, pour certaines plantes, dans la catégorie des éléments indispensables. Lorsqu'ils sont absorbés en quantité appréciable, ces deux éléments ont un rôle dans l'équilibre cations-anions des végétaux supérieurs.

Lorsque l'on parle de «salinité», il faut tout d'abord définir ce que l'on entend par là : si du point de vue chimique ce terme ne peut présenter aucune ambiguïté, il n'en est pas de même dans son sens commun (proportion de sel dissous dans l'eau des mers et des océans). C'est pourquoi il y a lieu d'être plus précis en indiquant : «salinité due au chlorure de sodium» ou «salinité due au sulfate de magnésium» ... Du point de vue agronomique la salinité d'un milieu correspond à une surcharge en sels minéraux de la solution du sol ou de la solution nutritive.

Certains végétaux possèdent la capacité d'effectuer leur cycle complet de développement dans un environnement salé (JENNINGS, 1968) : ces plantes sont appelées collectivement «halophytes», concept d'origine écologique qui ne correspond à rien de précis en botanique systématique.

L'effet le plus connu de la salinité est la répercussion sur la pression osmotique des solutions alimentant la plante. Une teneur en sel trop élevée augmente la pression osmotique du milieu nutritif, ce qui peut gêner ou empêcher la

pénétration de l'eau dans le végétal. La pression osmotique du suc cellulaire des racines étant de 2 à 5 atmosphères, le ralentissement de la croissance intervient dès que la pression osmotique du milieu externe atteint 2 atmosphères et les accidents sont visibles à partir de 3 à 4 atmosphères (DUTHIL, 1973).

Cette action de la salinité n'est pas spécifique, car la pression osmotique d'une solution est fonction de la température et de la concentration en corps dissous (dans le cas des électrolytes, il s'agit des concentrations totales en ions présents additionnés des molécules non dissociées). C'est pourquoi, à concentration pondérale égale, la pression osmotique varie selon la nature du sel ajouté à la solution : ainsi, le chlorure de sodium, en raison de sa faible masse moléculaire d'une part et de sa constante de dissociation très élevée d'autre part, entraîne une augmentation de pression osmotique plus importante que la plupart des autres sels.

Dans la présente étude, nous nous intéressons exclusivement à la salinité due au chlorure de sodium. En plus des effets précédents non spécifiques, il faut considérer le rôle du chlore et celui du sodium dans la physiologie de la

* - Laboratoire de Physiologie végétale appliquée, Ecole nationale supérieure agronomique, 145, avenue de Muret - 31076 Toulouse Cedex

nutrition des végétaux. Pendant longtemps on a considéré que ces deux éléments n'étaient pas indispensables et responsables, à concentration élevée, de la toxicité du chlorure de sodium. De plus, on a souvent associé indistinctement les effets des ions Na^+ et des ions Cl^- . Des études récentes permettent de mieux situer le rôle de ces deux éléments dans la nutrition des végétaux cultivés.

LE SODIUM

En se référant à la classification dichotomique classique entre éléments minéraux indispensables à la vie des végétaux et ceux qui ne possèdent pas cette propriété, il est bien difficile de ranger le sodium. En effet, cet élément n'est pas, en général, reconnu comme indispensable sauf pour certains végétaux halophytes comme *Atriplex vesicaria* (BROWNELL et WOOD, 1957, 1965), *Halogeton glomeratus* (WILLIAMS, 1960), *Suaeda macrocarpa* (BOUCAUD, 1970).

En réalité, le problème est plus complexe : pour certaines plantes cultivées, et bien que le sodium ne soit pas essentiel à leur développement, il a été prouvé, de manière indubitable, que la présence de cet élément entraînait une augmentation significative du rendement en matière végétale, notamment pour la betterave (LEHR, 1953), l'épinard, et à un degré moindre pour le sorgho (GULLO et al., 1972), le coton, la tomate ...

Même pour les plantes pour lesquelles cet élément a une action bénéfique, on connaît mal le rôle physiologique précis du sodium dans la nutrition végétale. On peut supposer que l'ion Na^+ interviendrait dans l'équilibre interne cations-anions. Pour accréditer cette hypothèse il y a lieu de considérer une propriété caractéristique de cet élément : il semble que pour certaines plantes, comme le sorgho (GULLO et al., 1972), le ray-grass, le trèfle blanc, la luzerne (WHITEHEAD et JONES, 1972) ..., et dans des conditions de déficience potassique (YOSHIDA et CASTANEDA, 1969), le sodium puisse remplacer partiellement le potassium. Au premier abord, cette substitution semble être difficile à admettre si on prend comme définition d'un élément majeur indispensable le fait même qu'il ne peut être remplacé. Or, en suivant BEAR et PRINCE (1945), on peut considérer que les cations majeurs ont deux types de fonctions dans les plantes : une spécifique et l'autre générale ; c'est dans le cas de cette dernière que l'on peut envisager une substitution partielle du potassium par le sodium qui interviendrait dans ce cas comme un ion positif monovalent (MORARD, 1974). On peut développer un autre argument en faveur de cette hypothèse : lorsqu'il est présent dans la plante en quantité appréciable, le sodium s'associe au potassium pour jouer un rôle dans l'antagonisme assez général qui existe entre les cations monovalents (K^+ , Na^+) et les cations divalents (Ca^{++} , Mg^{++}) (GARCIA, 1975). C'est aussi vraisemblablement la raison pour laquelle le

calcium joue un rôle aussi important dans la réponse des végétaux au sel, à la fois pour les plantes tolérantes et pour les plantes sensibles : une augmentation de la concentration en calcium du milieu nutritif rend le haricot capable de supporter des doses de sel plus élevées (LA HAYE et EPSTEIN, 1969).

Pour les plantes sensibles au sodium, la présence de cet élément dans le milieu entraîne une diminution de taille. Pour certaines cultures, l'accumulation même modérée de sodium produit des lésions qui prennent habituellement la forme de surfaces nécrotiques apicales internervaires (LUNT, 1966). De ce fait, le sodium doit être considéré comme un élément relativement toxique notamment pour les agrumes (cf. mise au point récente dans EMBLETON et al., 1973 ; ZID, 1975), l'avocatier (AYERS et al., 1951) et les fruitiers tempérés à noyaux (BERNSTEIN et al., 1956). Il en est de même pour le bananier, chez lequel les lésions prennent la forme d'une frange périphérique (LACOEUILHE et al., 1966).

Enfin, un autre fait remarquable concerne les différences de comportement des plantes vis-à-vis de leur capacité à accumuler cet élément : certaines en contiennent des quantités élevées (plusieurs p. cent de matière sèche) tandis que d'autres l'excluent presque complètement de leurs parties aériennes (COLLANDER, 1941). On remarque, en effet, que la répartition du sodium n'est pas homogène dans les différents organes : chez les espèces qui l'excluent des tiges et surtout des feuilles, on observe que cet élément s'accumule en quantité importante dans les racines (GARCIA et al., 1975). Pour expliquer ce mécanisme de régulation on a fait appel à l'existence de barrières physiques (TRUOG et al., 1953) ou chimiques (MAC LEAN, 1956) au niveau du collet. Plus simplement, on pourrait plutôt admettre l'hypothèse de BARBIER et CHABANNES (1951) que nous avons reprise pour le sorgho (MORARD, 1973), selon laquelle le sodium rapidement distribué dans tous les organes redescendrait s'accumuler dans les racines. Ce phénomène d'exclusion est important car on en déduit plusieurs conséquences écologiques et même agronomiques :

1. il semble que la migration du sodium vers les parties aériennes soit un caractère spécifique de chaque espèce (POZUELO et FELIPE, 1972),
2. la distribution du sodium dans la partie aérienne a été liée aux problèmes de tolérance ou de sensibilité des plantes au sodium (BERNSTEIN et PEARSON, 1956 ; PEARSON et BERNSTEIN, 1958).
3. La réponse positive de certaines cultures à une fertilisation sodique a été reliée à la capacité des plantes à assurer la migration du sodium vers les parties aériennes (WYBENDA, 1957).

LE CHLORE.

Le chlore est, comme le sodium, un élément difficile à situer. Pendant longtemps, on a considéré qu'il n'était pas indispensable aux végétaux en se basant sur les critères suivants : l'absence de chlorures dans les solutions hydroponiques n'empêche pas les plantes d'effectuer leur cycle végétatif complet, d'autre part, on n'observe pas de carence en chlore dans des conditions normales. Il est, en effet, difficile d'obtenir des milieux rigoureusement purs étant donné l'omniprésence de cet élément dans les eaux, les sols et l'atmosphère. De plus, les feuilles absorbent bien le chlore à l'état gazeux et les chlorures en aérosols.

Ce n'est qu'à une époque récente que le chlore a été introduit dans la catégorie des éléments essentiels : les symptômes de carence ont pu être établis par BROYER et al. (1954) sur tomate, puis par ULRICH et OHKI (1956) sur betterave, en culture sur solutions nutritives dépourvues de chlorures et sous atmosphère sévèrement contrôlée.

En réalité, il semble que l'importance de cet élément pour la nutrition est variable selon les espèces végétales considérées. Pour BROYER et al. (1954), le chlore est un élément mineur. De fait, chez de nombreuses plantes, la toxicité propre du chlore - indépendamment des effets éventuels du sodium - intervient à des concentrations de quelques parties pour mille de matière sèche : ananas (SIDERIS et al., 1954, 1955), agrumes (EMBLETON, et al., 1973 ; ZID, 1975), avocatier (AYERS et al., 1951), etc.

D'autres auteurs, à la suite des travaux sur palmier à huile et cocotier de OLLAGNIER et OCHS (1971), confirmés par UEXKÜLL (1972), DANIEL et MANCIOT (1973), n'hésitent pas à le classer parmi les éléments majeurs indispensables et suggèrent même que certains effets bénéfiques d'engrais potassiques ou magnésiens épandus sous forme de chlorures ne seraient pas dus aux cations associés (si ceux-ci se trouvent déjà à une teneur suffisante) mais à l'action bénéfique et complémentaire du chlore (DANIEL et OCHS, 1975). De même, les symptômes foliaires de toxicité attribués au «chlorure de sodium», voire «aux chlorures», sont parfois dus au seul sodium ; ainsi, certains végétaux peuvent présenter des teneurs élevées en chlore sans atteindre le seuil de toxicité, comme dans les feuilles de bananier où le taux de chlore peut s'élever à plusieurs p. cent de matière sèche (MARTIN-PRÉVEL et al. 1976). D'autre part, on a obtenu une augmentation sensible du rendement par addition de chlorures aux milieux nutritifs pour quelques espèces cultivées : notamment la betterave (BOLIN, 1913), le coton (TISDALE et NELSON, 1955), l'orge (GREENWAY, 1965), le maïs (BAEYENS, 1967), la tomate (CADAHIA, 1968), le tabac (LOCHE et CHOUTEAU, 1968), le cocotier et le palmier à huile (OLLAGNIER et OCHS, 1971) ...

Le rôle physiologique du chlore, pour les végétaux auxquels cet élément paraît indispensable, est difficile à préciser : pour BOVÉ et al. (1963), il jouerait un rôle dans la photosynthèse et pour UEXKÜLL (1972), il pourrait aider le mouvement du potassium lors de l'ouverture ou de la fermeture des stomates.

On pourrait aussi supposer que le chlore, absorbé par les plantes sous forme de chlorures, interviendrait comme élément monovalent électronégatif, hypothèse accréditée par le fait que l'on observe, d'une manière assez générale, un effet antagoniste avec les nitrates : une fumure azotée sous forme NO_3^- déprime l'assimilabilité du Cl^- et réciproquement. De plus, des conditions salines élevées entraînent une diminution de l'acidité due aux acides organiques (BERNSTEIN et al., 1956 ; GARCIA, 1975) : il semble donc que les chlorures jouent un rôle dans l'équilibre interne acido-basique.

Enfin, le chlore, qui est absorbé et se retrouve dans la plante sous forme de chlorures, est caractérisé par son extrême mobilité dans le végétal. Contrairement à ce que l'on observe pour le sodium, le chlore a tendance à s'accumuler dans les parties aériennes et dans les organes les plus jeunes (GARCIA, 1975).

CONCLUSION

La salinité due au chlorure de sodium joue un rôle de grande importance dans les relations sol-plante, notamment dans les régions arides et semi-arides ; cette action varie largement entre les espèces et même entre les variétés d'une même espèce.

Outre l'action du chlorure de sodium sur la pression osmotique du milieu nutritif, il faut considérer le rôle de chacun des ions constitutifs de ce sel sur le métabolisme des végétaux.

Des études récentes ont permis de nuancer l'affirmation du rôle non indispensable et même toxique du chlore et du sodium :

- le sodium, selon les plantes et selon le niveau de son absorption, est un élément qui peut être considéré comme :
 - . nécessaire à la nutrition (halophytes),
 - . facteur influençant positivement le rendement (betterave, épinard, céleri ...),
 - . inutile et même toxique à faible dose (arbres fruitiers de zone tempérée, agrumes, avocatier, bananier ...).
- pour le chlore, des données récentes permettent de l'inclure souvent parmi les éléments indispensables (à faible dose : tomate, betterave ; à forte dose : cocotier, palmier à huile). Mais, selon la plante et le niveau atteint, il peut aussi se montrer toxique (ananas, agrumes, avocatier, fruitiers tempérés, ...). Certaines plantes peuvent enfin en

renfermer des teneurs élevées sans manifestations de toxicité mais sans que l'on sache encore si cela correspond à un besoin (bananier).

Cependant, quelle que soit l'importance de leurs rôles, ces deux ions, lorsqu'ils sont absorbés par un végétal, jouent un rôle dans la physiologie de la nutrition et influencent l'équilibre cations-anions.

BIBLIOGRAPHIE

- AYERS (A.D.), ALDRICH (D.G.) et COONY (J.J.). 1951.
Sodium and chloride injury of Fuerte avocado leaves.
Calif. Avoc. Soc. Yearbook, 36, 174-178.
- BAEYENS (J.). 1967.
Nutrition des plantes de culture.
B. Nauwelaerts ed., Paris, 678 p.
- BARBIER (E.) et CHABANNES (J.). 1951.
Accumulation de sodium dans les racines des plantes.
Ann. agron., 2, 545-546.
- BEAR (F.E.) et PRINCE (A.L.). 1945.
Cation equivalent constancy in alfalfa.
J. amer. Soc. agron., 37, 217-222.
- BERNSTEIN (L.), BROWN (J.W.) et HAYWARD (H.E.). 1956.
The influence of rootstock on growth and salt accumulation in stone-fruit and almonds.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 68, 86-95.
- BERNSTEIN (L.) et PEARSON (G.A.). 1956.
Influences of the exchangeable sodium on the yield and chemical composition of plants. I. Green beans, garden beet, clover and alfalfa.
Soil. Sci., 82, 247-258.
- BOLIN (P.). 1913.
Comparative fertilizer tests of common salt and potash salt.
Heddel centralanst Forskv JARDKUXSOMRADET, 82, 16 p. d'après E.S.R. 30, 4-28.
- BOUCAUD (J.). 1970.
Action du chlorure de sodium sur la protéogénèse de *Suaeda macrocarpa*. Essai d'interprétation de l'halophilie de cette espèce.
C.R. Acad. Sci., 270, 1571-1574.
- BOVE (J.M.), BOVE (Colette), WHATLEY (F.R.) et ARNON (D.I.). 1963.
Chloride requirement for oxygen evolution in photosynthesis.
Z. Naturforsch., 18, 683-688.
- BROYER (T.C.), CHARMON (A.B.), JOHNSON (C.M.), STOUT (P.R.). 1954.
Chlorine, a micronutrient element for higher plants.
Plant Physiol., 29, 526-532.
- BROWNELL (P.F.) et WOOD (J.G.). 1957.
Sodium as an essential micronutrient for *Atriplex vesicaria*.
Nature, 179, 635-636.
- BROWNELL (P.F.) et WOOD (J.G.). 1965.
Sodium as an essential micronutrient element for a higher plant *Atriplex vesicaria*.
Plant Physiol., 40, 460-468.
- CADAHIA (C.). 1968.
El análisis de savia como índice de la influencia de los Cl⁻ en la nutrición de los tomates.
II Col. Europea y Mediterraneo, Sevilla, 717-732.
- COLLANDER (R.). 1941.
Selective absorption of cations by higher plants.
Plant Physiol., 16, 691-720.
- DANIEL (C.) et MANCIOT (R.). 1973.
La nutrition en chlore des jeunes cocotiers aux Nouvelles Hébrides.
Oléagineux, 28, 71-72.
- DANIEL (C.) et OCHS (R.). 1975.
Amélioration de la production des jeunes palmiers à huile du Pérou par l'emploi d'engrais chloré.
Oléagineux, 30, 295-298.
- DUTHIL (J.). 1973.
Éléments d'écologie et d'agronomie.
Baillière et Fils, ed., tome III, 391 p.
- EMBLETON (T.W.), REITZ (H.J.), JONES (W.W.), LABANAUSKAS (C.K.) et REUTHER (W.). 1973.
Citrus fertilization and leaf analysis.
in : *The Citrus Industry*, vol. 3, ed. Univ. of California, 122-210.
- GARCIA (M.). 1975.
Influence de la salinité due au chlorure de sodium sur l'équilibre acido-basique du sorgho-grain.
Thèse doct. spécialité, Université de Toulouse, 84 p.
- GARCIA (M.), MORARD (P.) et BERDUCOU (J.). 1975.
Effet de la présence de chlorure de sodium dans le milieu sur la croissance, le développement, la répartition du chlore et du sodium chez le sorgho-grain (*Sorghum dochna* F.).
Bull. Hist. Nat. Toulouse, 111, 153-159.
- GULLO (J.L.), MORARD (P.) et BERDUCOU (J.). 1972.
Influence de la substitution progressive du potassium par le sodium sur la composition minérale du sorgho-grain.
Agrochimica, 16, 310-318.
- GREENWAY (H.). 1965.
Plant response to saline substrates. VII. Growth and ion uptake throughout plant development in two varieties of *Hordeum vulgare*.
Aust. J. Biol. Sci., 18, 763-779.
- JENNINGS (D.H.). 1968.
Halophytes, succulence and sodium in plants. A unified theory.
New Phytol., 67, 899-911.
- LACOEUILHE (J.J.), MOREAU (B.) et MARTIN-PREVEL (P.). 1966.
Brunissure du limbe en Équateur : analyse foliaire.
Réunion annuelle IRFA, doc. 86.
- LA HAYE (P.A.) et EPSTEIN (E.). 1969.
Salt tolerance by plants : Enhancement with calcium.
Science, 166, 395-396.
- LEHR (J.J.). 1953.
Exploratory pot experiments on sensitiveness of different crops to sodium : Spinach.
Plant and Soil, 2, 37-48.
- LOCHE (J.) et CHOUTEAU, 1968.
Les interactions potassium-chlore dans l'alimentation de la plante de tabac.
Ann. SEITA Sect., 2, 5, 13-24.
- LUNT (O.W.). 1966.
Sodium.
in : *Diagnostic criteria for plants and soils*.
H.D. Chapman, University of California Division of Agricultural Sciences ed., 409-432.
- MAC LEAN (E.O.). 1956.
Uptake of sodium and other cations by five crop species.
Soil Sci., 82, 21-28.
- MARTIN-PREVEL (P.) et al. 1976.
Enquête par analyse foliaire sur les bananiers de six pays.
Publication en préparation pour *Fruits*.
- MORARD (P.). 1973.
Contribution à l'étude de la nutrition potassique du sorgho.
Thèse doct. ès Sciences, Université de Toulouse, 199 p.
- MORARD (P.). 1974.
Rôles physiologiques du potassium chez les végétaux.
Rev. Potasse, 49, 1-8.
- OLLAGNIER (M.) et OCHS (R.). 1971.
La nutrition en chlore du palmier à huile et du cocotier.
Oléagineux, 6, 367-372.
- PEARSON (G.A.) et BERNSTEIN (L.). 1958.

- Influences of the exchangeable sodium on the yield and chemical composition of plants. II. Wheat, barley, oat, rice tall fescue, tall wheat grass.
Soil Sci., 86, 254-261.
- POZUELO (J.M.) et FELIPE (M.R.). 1972.
Absorption and translocation of Na in oats (*Avena sativa*) and safflower (*Carthamus tinctorius*).
An. Edafol. Agrobiol., 31, 289-305.
- SIDERIS (C.P.) et YOUNG (H.Y.) 1954.
Effects of chlorides on the metabolism of pineapple plants.
Amer. J. Bot., 41, 847-854.
- SIDERIS (C.P.). 1955.
Effects of sea water sprays on pineapple plants.
Phytopath., 45, 590-594.
- TISDALE (S.L.) et NELSON (N.L.). 1955.
Soil fertility and fertilizers.
Mac Millan Company, ed., New-York, 694 p.
- TRUOG (E.), BERGER (K.C.) et OTTOE (O.I.). 1953.
Response of nine economic plants to fertilization with sodium.
Soil. Sci., 87, 130-131.
- ULRICH (A.) et OHKI (K.). 1956.
Chlorine, bromine and sodium as nutrients for sugar beet plants.
Plant Physiol., 31, 171-181.
- UEXKÜLL (H.R.). 1972.
La réponse des cocotiers au chlorure de sodium aux Philippines.
Oléagineux, 1, 13-19.
- WHITEHEAD (D.C.) et JONES (L.H.P.). 1972.
The effect of replacing potassium by sodium on cation uptake and transport to the shoots in four legumes and Italian ray-grass.
Ann. Appl. Biol., 71, 81-89.
- WILLIAMS (M.C.) 1960.
Effect of sodium and potassium salts on growth and oxalate content of Halogeton.
Pl. Physiol., 35, 500-505.
- WYBENDA (J.M.). 1957.
A contribution to the knowledge of the importance of sodium for plant life. Investigation with radioactive sodium.
Doctoral thesis, Wageningen, 213 p.
- YOSHIDA (S.) et CASTANEDA (L.). 1969.
Partial replacement of potassium by sodium in the rice plant under weakly saline conditions.
Soil Sci. Plant Nutrition, 15, 183-186.
- ZID (E.). 1975.
Croissance et alimentation minérale du jeune bigaradier cultivé en présence de chlorure de sodium. Effet de variations de la concentration du potassium.
Fruits, 30, 403-410.

