

Revue de la Potasse

Communications mensuelles de l'Institut International de la Potasse, Berne (Suisse)

Section 3

Biologie, humus, santé des populations
26^e suite

Mars 1968

Etude d'une carence induite en calcium observée chez la tomate «Groseille rouge» cultivée sur des milieux relativement riches en potassium et pauvres en calcium

Par Mlle D. Scheidecker

Laboratoire de Physiologie végétale de la Sorbonne, Paris

Introduction

Au cours de recherches* sur la nutrition minérale de la tomate «Groseille rouge» (14, 15, 16, 17, 18) nous avons observé chez les plantes cultivées sur un milieu relativement riche en potassium et pauvre en calcium ($K^+/Ca^{++} = 9,6$; $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++}) = 5,8$) des troubles graves d'origine manifestement physiologique. Cette observation nous a conduit d'abord à préciser la nature et l'origine des symptômes, puis à entreprendre une étude plus approfondie de l'action du potassium sur l'absorption, le transport et l'accumulation du calcium.

I. Conduite générale des expériences et techniques

La tomate «Groseille rouge», *Lycopersicon racemigerum* Lange, a été cultivée en aquiculture au sens strict, en serre, dans la région parisienne, ou en plein air, sous ombrage, à Béni-Abbès (Sud algérien). Les solutions nutritives 1 et 2 ont été utilisées pour toutes les expériences. Elles diffèrent par les proportions des trois principaux cations, dont les concentrations équivalentaires variaient à l'intérieur d'une somme constante (18,3 méquiv) dans les rapports (en %) :

| | K^+ | Ca^{++} | Mg^{++} |
|------------|-------|-----------|-----------|
| Solution 1 | 30 | 45 | 25 |
| Solution 2 | 85 | 9 | 6 |

Les concentrations des autres ions (NH_4^+ , NO_3^- , $PO_4H_2^-$, SO_4^-) étaient identiques pour les deux solutions. Les proportions choisies pour la solution 1 correspondent à ce qu'on peut considérer, d'après les résultats d'expériences préliminaires, comme un optimum relatif.

* Travaux faits, de 1959 à 1961, au laboratoire de Physiologie végétale du CST de l'ORSTOM, à Bondy, sous la direction de Monsieur le Professeur Lavollay; de 1962 à 1966, au laboratoire de Physiologie végétale de la Sorbonne, sous la direction de Monsieur le Professeur Heller, et au laboratoire de Recherches sahariennes du CNRS à Béni-Abbès (Algérie).

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 29.694.exp 1

Cote : B

Pour pallier les difficultés d'interprétation évidentes, inhérentes à la méthode d'expérimentation à somme constante, une des expériences a comporté six autres traitements, numérotés de A à F. Les concentrations en calcium et en magnésium ont été maintenues identiques pour les six traitements, leurs valeurs étant celles choisies pour la solution 2. La concentration en potassium variait de 1205 mg/litre pour le traitement A à 34 mg/litre pour le traitement F. Aucune méthode ne permet d'obtenir de telles variations de la concentration en potassium sans variations concomitantes des concentrations d'autres éléments dans le milieu. Le tableau l'indique les quantités d'éléments apportées par litre de solution nutritive pour chacun des traitements.

Le pH des différentes solutions était compris entre 5,8 et 6,2. Les quantités d'oligo-éléments ajoutées ont été les mêmes pour tous les traitements. L'aération, discontinue, était assurée soit par un courant d'air comprimé, soit par des pompes d'aquarium. Le volume des solutions et leur rythme de renouvellement (deux à cinq jours suivant les expériences et le stade de développement) ont été calculés pour assurer un apport suffisant en valeur absolue de tous les éléments et la constance approchée du milieu nutritif.

Les jeunes plantes étaient âgées de six à huit semaines au moment de la mise en expérience. Elles avaient auparavant été élevées sur sable et uniformément alimentées avec la solution 1. La tige principale n'a pas été taillée. Seules les pousses axillaires ont été enlevées régulièrement.

Chaque résultat de mesure ou de dosage est obtenu à partir de lots de quatre à six plantes.

Les plantes récoltées ont été séchées à l'étuve à 70–80° C. Dans certains cas, elles ont été analysées entières, racines comprises; dans d'autres, les différents organes ont été étudiés séparément.

Le matériel végétal sec, finement broyé, était calciné à une température ne dépassant pas 450°.

A partir de la liqueur chlorhydrique de reprise des cendres, le calcium a été dosé soit par complexométrie (titrage direct par le versénate en présence soit de murexide, soit de réactif de Patton et Reader), soit par photométrie de flamme (spectrophotomètre Eppendorf). Le potassium a toujours été dosé par photométrie de flamme, le magnésium par complexométrie (dosage de la somme calcium + magnésium par titrage direct au versénate en présence de noir d'ériochrome T).

Dans les expériences faites en présence de calcium marqué, la solution avait une activité de 0,3 m Ci/litre. Le milieu n'était pas aéré pour les expériences d'absorption

Tableau 1 Composition des milieux nutritifs. (Il est tenu compte de l'apport de potassium par le complexe ferrique.)

| Traitement | Quantités apportées par litre de solution nutritive (méquiv/litre) | | | | | | | |
|------------|--|---|------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| | NO ₃ ⁻ | PO ₄ H ₂ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Cl ⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ |
| 1 | 11,9 | 2,2 | 5,7 | — | 2,1 | 5,7 | 8,1 | 4,4 |
| 2 | 11,9 | 2,2 | 5,7 | — | 2,1 | 15 | 1,6 | 1,1 |
| A | 7,5 | 2,2 | 3,9 | 26 | 6,4 | 31 | 1,6 | 1,1 |
| B | 7,5 | 2,2 | 3,9 | 18 | 6,4 | 23 | 1,6 | 1,1 |
| C | 7,5 | 2,2 | 3,9 | 10 | 6,4 | 15 | 1,6 | 1,1 |
| D | 7,5 | 2,2 | 3,9 | 2,7 | 6,4 | 7,8 | 1,6 | 1,1 |
| E | 5,5 | 1,6 | 3 | — | 5,3 | 2,7 | 1,6 | 1,1 |
| F | 3,6 | 1,1 | 2,1 | — | 3,5 | 0,9 | 1,6 | 1,1 |

Revue de la Potasse

Communications mensuelles de l'Institut International de la Potasse, Berne (Suisse)

3/26

de courte durée (une à trente heures). Les mesures de radioactivité ont été faites directement sur le matériel végétal sec réduit en poudre fine. Les précautions nécessaires ont été prises pour limiter les erreurs entraînées par l'autoabsorption à l'intérieur des échantillons. Les comptages ont été faits avec un compteur de Geiger à fenêtre. Le coefficient de variation des résultats des comptages, faits sur trois coupelles différentes préparées à partir d'une même poudre végétale et exprimés en coups minute et par milligramme de matière sèche, est de l'ordre de 5%.

Les différentes formes du calcium ont été extraites par macérations successives dans l'eau, l'acide acétique à 5% et l'acide chlorhydrique à 5%, les liquides d'extraction étant séparés du résidu solide par centrifugation. Le calcium a été dosé dans les extraits par photométrie de flamme.

II. Comportement de la tomate cultivée sur un milieu témoin et sur un milieu relativement riche en potassium et pauvre en calcium

Des tomates «Groseille rouge», issues de lots de graines différents, ont été cultivées sur les milieux 1 et 2, au cours de quatre étés successifs, dans des conditions climatiques très différentes; la solution nutritive était aérée de 2 à 12 heures par jour, suivant les expériences.

La taille des plantes et les poids de récolte ont été très différents d'une expérience à l'autre, mais, quelles que fussent les conditions, rien ne distinguait extérieurement les tomates des deux traitements pendant au moins trois semaines. Pendant les premières semaines de l'expérience, elles avaient toujours sensiblement même poids, même taille, même aspect. Dès ce moment, les taux du potassium, du calcium et du magnésium dans la plante entière étaient pourtant déjà différents, comme le montre le tableau 2.

Ce n'est qu'au bout de quatre à sept semaines, suivant les expériences, qu'apparaissent des anomalies de comportement chez les tomates du traitement 2. Les symptômes observés sont toujours les mêmes: arrêt de la croissance, dessèchement des pousses et des inflorescences, nécrose caractéristique des fruits (blossom-end-rot).

Le tableau 2 montre ce que fut, pour l'une des expériences, l'évolution au cours du temps des taux du potassium, du calcium et du magnésium des plantes entières. Les tomates 2 sont nettement plus riches que les témoins en potassium et nettement plus pauvres en calcium et, à un degré moindre, en magnésium.

Tableau 2 Taux du potassium, du calcium et du magnésium dans la plante entière en fonction du temps (g pour 100 g de matière sèche). (Résultats obtenus en serre à Paris; l'âge des plantes est compté à partir du semis; mise en expérience: 55^e jour).

| Traitement | K | | | | Ca | | | | Mg | | | |
|------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | Jours | | | | Jours | | | | Jours | | | |
| | 76 | 99 | 117 | 132 | 76 | 99 | 117 | 132 | 76 | 99 | 117 | 132 |
| 1 | 5,47 | 3,95 | 3,99 | 3,75 | 2,40 | 1,80 | 2,11 | 2,27 | 0,44 | 0,43 | 0,47 | 0,44 |
| 2 | 6,54 | 5,71 | 6,30 | 6,10 | 1,66 | 0,96 | 0,80 | 0,84 | 0,34 | 0,27 | 0,24 | 0,29 |

Ces différences ne font qu'augmenter avec le temps: en effet, alors que les plantes témoins accumulent de plus en plus de calcium et de magnésium dans leurs tissus et ont un taux de potassium de plus en plus faible, les tomates 2 voient au contraire leurs taux de calcium et de magnésium diminuer régulièrement, ce qui correspond à une évolution tout à fait anormale.

Si, d'une expérience à l'autre, les valeurs des taux et des rapports des trois principaux cations ne sont pas les mêmes à un stade donné de la vie de la plante, les relations entre les deux traitements et leur évolution en fonction du temps restent sensiblement identiques, comme l'indiquent les chiffres suivants (taux du potassium et du calcium dans les tomates 2 par rapport à celui des tomates 1, en fin d'expérience):

| | K_1/K_2 | Ca_1/Ca_2 |
|-----------------|-----------|-------------|
| Paris 1959 | 0,54 | 2,9 |
| Béni-Abbès 1964 | 0,55 | 2,7 |

III. Origine des troubles observés

Il était quelque peu délicat de déterminer l'origine des troubles observés. En effet, quelle que soit la méthode choisie pour l'expérimentation, les résultats ne peuvent jamais, en toute rigueur, être mis en relation avec une seule variable. Quand on maintient constante la somme des ions, on a l'avantage de conserver, pour tous les milieux étudiés, une valeur sensiblement constante du pH et, dans le cas présent, des valeurs rigoureusement identiques des concentrations en azote, phosphore et soufre, mais les concentrations des trois cations varient en même temps. En recourant à la méthode factorielle, il devient possible de ne faire varier que la concentration d'un seul cation en maintenant rigoureusement identiques d'un traitement à l'autre celles des autres cations, mais il est impossible d'obtenir ce résultat sans variations concomitantes des concentrations des anions.

Nous avons fait deux séries d'expériences, utilisant successivement les deux méthodes et obtenant ainsi des résultats complémentaires.

1. Essais préliminaires (Méthode à somme constante).

Les traitements 1 et 2 diffèrent à la fois par la concentration en potassium et par la concentration en calcium et en magnésium, les trois éléments variant au sein d'une somme constante où le rapport Ca^{++}/Mg^{++} est maintenu approximativement constant.

Il était clair, d'après ce que l'on sait des symptômes de la carence magnésienne (troubles atteignant d'abord les organes adultes) que celle-ci ne pouvait être mise en cause. Bien que la concentration en magnésium du milieu ait été abaissée dans le traitement 2 presque dans les mêmes proportions que la concentration en calcium, nous avons vu que le taux du magnésium dans la plante était nettement moins affecté par cette diminution.

Les troubles observés chez les tomates 2 étaient caractéristiques de la carence en calcium chez la tomate (troubles atteignant d'abord les organes jeunes en voie de croissance) (2, 11, 19).

Il n'était cependant pas prouvé que la concentration du potassium dans le milieu n'était pas par elle-même nocive. Pour démontrer qu'il n'en était pas ainsi, nous avons cultivé des tomates, en même temps et dans le même local, d'une part sur la solution 2, d'autre part sur la même solution diluée 2,8 fois. En ramenant ainsi la concentration en potassium de la solution 2 à la valeur qu'elle avait dans la solution 1,

Revue de la Potasse

Communications mensuelles de l'Institut International de la Potasse, Berne (Suisse)

3/26

témoin voisin de l'optimum nutritif, on ne supprimait ni ne modifiait les manifestations de carence. Ceci permettait d'exclure l'hypothèse d'une toxicité de la concentration du potassium par elle-même.

Les résultats de ces premières expériences montraient donc que nous avions bien à faire – et exclusivement – à une carence en calcium. Cet élément ne s'épuisait en aucun cas dans le milieu, les troubles observés pouvaient être mis en relation soit avec la valeur de la concentration en calcium de la solution nutritive, soit avec celle du rapport K^+/Ca^{++} .

Le peu d'effet sur le comportement et la composition des plantes de la dilution au tiers du milieu 2, l'aspect et la croissance tout-à-fait normale des racines des tomates 2 conduisaient à penser qu'il s'agissait plus probablement d'une carence en calcium d'origine indirecte. L'expérience complémentaire a permis d'établir qu'il en était bien ainsi.

2. *Expérience complémentaire* (Méthode factorielle).

L'expérience, faite à la station de recherches sahariennes du CNRS à Béni-Abbès (Algérie), comportait huit traitements correspondants aux solutions 1 et 2 et A à F (Tableau 1) (18).

Les tomates 2 et A à D manifestèrent des troubles graves tout-à-fait comparables à ceux qui apparaissent habituellement chez les plantes cultivées sur le milieu 2. Ils touchent les extrémités en voie de croissance des organes aériens jeunes. On observe en particulier des déformations suivies d'une nécrose de la pousse sommitale. A ces symptômes correspond une réduction de la croissance, réduction plus sensible pour l'allongement de la tige que pour la croissance pondérale et un abaissement du taux de calcium de la plante entière et des différents organes pris isolément.

Les racines de toutes les plantes, sans exception, étaient en excellent état au moment de la récolte.

Le tableau 3 rassemble les données relatives à la teneur en eau; à la taille et au poids de matière sèche des plantes à la récolte et le tableau 4 celles relatives aux taux du potassium et du calcium dans la plante entière (racine comprise) et dans la racine.

Tous les troubles observés ne peuvent être ici attribués sans discussion à un défaut d'alimentation calcique. Si les symptômes présentés par les tomates A paraissent bien être ceux d'une carence très sévère en calcium, il faut tenir compte du fait qu'ils sont fort probablement aggravés par d'autres facteurs (concentration en chlore de l'ordre de 1 g/litre; concentration en potassium supérieure à 1 g/litre). Il en va sans doute de même, bien qu'à un degré moindre, pour les tomates B. Mais l'aspect et la taille très comparables des plantes cultivées sur les milieux 2 (sans chlore; $K = 0,60$ g/litre), C ($Cl = 0,37$ g/litre; $K = 0,60$ g/litre) et D ($Cl = 0,10$ g/litre; $K = 0,31$ g/litre) indiquent que pour ces traitements les symptômes observés ne peuvent être attribués qu'à une carence en calcium. Sur ces trois milieux, les troubles de carence apparaissent après un délai sensiblement identique (un mois environ) à celui enregistré sur le milieu 2 lors des essais précédents.

Cette expérience montre bien que cette carence en calcium est induite par la concentration relative élevée du potassium dans le milieu et non par la concentration du calcium en elle-même.

Tableau 3 Teneur en eau, longueur de la tige et poids de récolte.

| Traitement | Nombre plantes | Eau % mat. sèche pl. entière | Longueur (cm) | | | Poids matière sèche Racine | | | Plante entière | | |
|------------|----------------|------------------------------|---------------|------|--------|----------------------------|------|--------|----------------|------|--------|
| | | | \bar{x} | s | c.v. % | \bar{x} | s | c.v. % | \bar{x} | s | c.v. % |
| | | | 1 | 6 | 642 | 97,8 | 3,87 | 3,99 | 2,8 | 0,21 | 7,50 |
| 2 | 5 | 703 | 78,6 | 5,7 | 7,22 | 3,2 | 0,33 | 10,3 | 19,5 | 1,41 | 6,10 |
| A | 6 | 520 | 37,2 | 12,4 | 33,5 | 0,93 | 0,18 | 20 | 4,2 | 1,52 | 36,2 |
| B | 6 | 820 | 60,3 | 5,62 | 9,37 | 2,1 | 0,35 | 16,7 | 14,3 | 2,26 | 15,8 |
| C | 6 | 687 | 76,7 | 4,56 | 5,90 | 2,5 | 0,22 | 8,80 | 18,2 | 2,25 | 12,4 |
| D | 5 | 664 | 78,2 | 12,8 | 16,4 | 2,8 | 0,22 | 7,86 | 20,2 | 1,17 | 5,79 |
| E | 6 | 631 | 96,8 | 8,12 | 8,35 | 2,4 | 0,62 | 25,8 | 20,9 | 1,40 | 6,70 |
| F | 6 | 621 | 96,7 | 5,51 | 5,68 | 2,9 | 0,34 | 11,7 | 22,2 | 1,08 | 4,87 |

\bar{x} = moyenne arithmétique des mesures individuelles

s = écart-type

c.v. = coefficient de variation des mesures individuelles (estimation de l'écart-type rapporté à la moyenne)

Tableau 4 Taux du potassium et du calcium dans la plante entière et dans les racines. (grammes pour 100 g de matière sèche).

| Traitement | Plante entière | | | | | | Racine | | | | | |
|------------|----------------|------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|--------|
| | K | | | Ca | | | K | | | Ca | | |
| | \bar{x} | s | c.v. % | \bar{x} | s | c.v. % | \bar{x} | s | c.v. % | \bar{x} | s | c.v. % |
| 1 | 3,49 | 0,10 | 2,79 | 2,03 | 0,10 | 0,50 | 5,40 | 0,11 | 1,96 | 0,77 | 0,03 | 4,20 |
| 2 | 6,51 | 0,09 | 1,33 | 0,75 | 0,05 | 6,86 | 7,10 | 0,21 | 2,89 | 0,49 | 0,02 | 4,33 |
| A | 9,81 | — | — | 0,59 | — | — | 12,31 | — | — | 0,28 | — | — |
| B | 7,57 | 0,44 | 5,79 | 0,52 | 0,03 | 4,90 | 7,91 | 0,46 | 5,82 | 0,42 | 0,01 | 2,90 |
| C | 5,75 | 0,16 | 2,80 | 0,61 | 0,03 | 4,33 | 6,25 | 0,63 | 10,10 | 0,40 | 0,03 | 8,10 |
| D | 4,18 | 0,13 | 3,23 | 0,86 | 0,03 | 3,95 | 5,06 | 0,56 | 11,10 | 0,48 | 0,04 | 7,93 |
| E | 2,87 | 0,26 | 8,98 | 1,16 | 0,03 | 2,79 | 3,86 | 0,27 | 7,04 | 0,54 | 0,02 | 3,93 |
| F | 2,40 | — | — | 1,41 | — | — | 3,42 | 0,29 | 8,33 | 0,54 | 0,02 | 4,34 |

En effet:

1° Cette concentration a la même valeur dans les milieux E et F que dans ceux qui provoquent la carence. Or les tomates E et F atteignent la même taille que les tomates témoins II, et les tomates F ont sensiblement le même poids que les témoins.

2° Le calcium ne s'épuisant à aucun moment, dans aucun milieu, l'intensité des troubles, le taux du calcium dans la plante entière (Fig. 1) et la croissance (Fig. 2) peuvent être mis en relation avec la concentration du potassium dans le milieu.

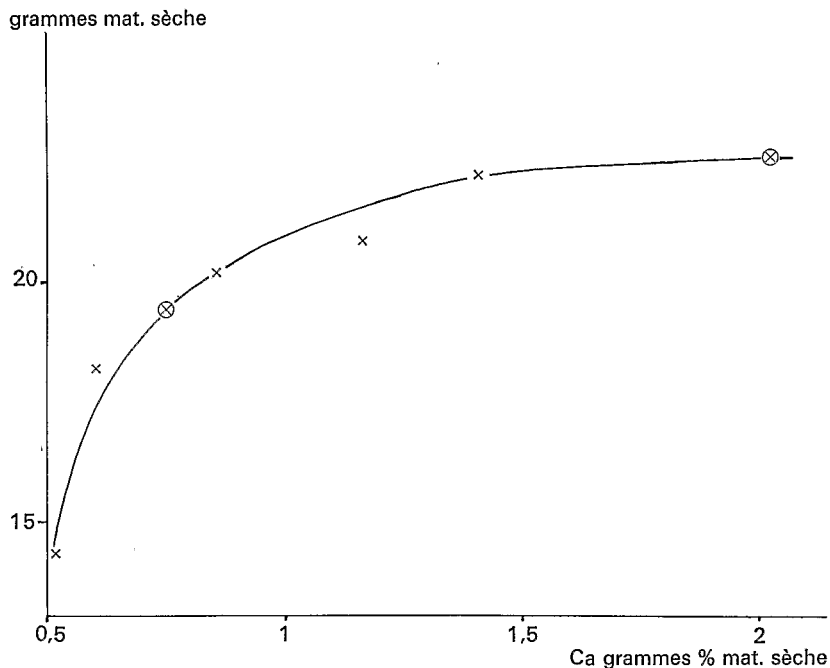
3° A aucun moment, dans aucun milieu, les racines ne présentent de symptômes de déficience, or ce sont les premiers organes touchés dans les cas de carence primaire en calcium (5)

Revue de la Potasse

Communications mensuelles de l'Institut International de la Potasse, Berne (Suisse)

3/26

Figure 1. Poids de récolte en fonction du taux du calcium (plante entière).



X = B à F ⊗ = 1 et 2 (Tab. 1).

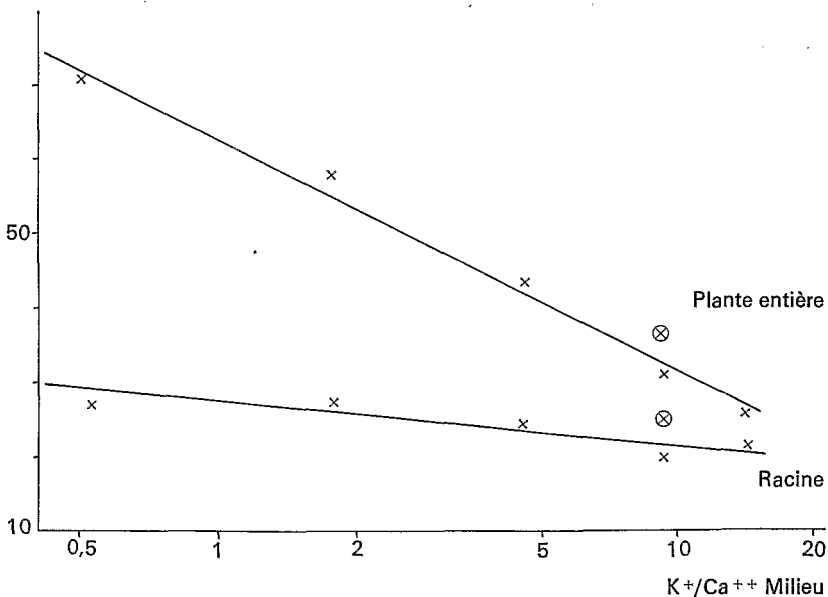
Nous pouvons conclure que, pour la tomate «Groseille rouge», et pour une concentration du calcium dans le milieu de l'ordre de 30 mg/litre (1,5 mequiv.), la valeur du rapport K^+/Ca^{++} – ou mieux du rapport $(K^+ + NH_4^+)/Ca^{++}$, l'ion NH_4^+ exerçant également une action dépressive sur l'absorption et l'accumulation du calcium (6) – doit être voisine d'un. Des valeurs supérieures provoquent l'apparition de troubles de carence induite en calcium. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par *Tiedjens et Wall* (20) avec une autre espèce de *Lycopersicum*; les conditions des expériences de ces auteurs ne permettaient pas de séparer l'effet des quantités en valeur absolue de celui des rapports.

Travaillant sur le pois, *Barbier et Coïc* (4) ont pu atteindre, en solution coulante, des valeurs du rapport K^+/Ca^{++} supérieures à dix sans observer aucun symptôme de déficience en calcium.

La tomate se révèle donc très sensible à ce type de carence, ce qui en fait un matériel spécialement intéressant pour l'étude des effets du potassium sur l'absorption, le transport et l'accumulation du calcium.

Figure 2. Taux du calcium dans la plante entière et dans la racine en fonction de la valeur du rapport K^+/Ca^{++} dans le milieu.

Ca^{++} m. equiv.



X = B à F ⊗ = 2 (Tab. 1)

IV. Action du potassium sur l'absorption et le transport du calcium

Entreprenant une étude plus poussée de ces effets du potassium, il paraissait intéressant d'une part de préciser la répartition du calcium accumulé entre les différents organes chez les plantes carencées et de comparer cette localisation à celle du potassium, d'autre part d'obtenir des informations sur l'absorption et le transport du calcium par le moyen des éléments marqués (16, 17).

Ce travail a été fait, pour des tomates cultivées sur solution 1 et 2, à deux stades différents :

1° Trois semaines environ après l'application des traitements, quand rien ne distingue encore extérieurement les deux catégories de plantes.

2° Deux mois environ après l'application des traitements, après l'apparition des signes visibles de carence.

Les résultats des expériences d'absorption en présence de calcium marqué et l'analyse des différentes catégories d'organes montrent que :

1° La vitesse d'absorption du calcium dans les racines est réduite dans le cas du traitement 2, mais cette diminution est relativement faible par rapport aux plantes normalement alimentées (40% environ au bout de 24 ou 30 heures) (Fig. 3).

Revue de la Potasse

Communications mensuelles de l'Institut International de la Potasse, Berne (Suisse)

3/26

2° La réduction du taux de calcium est nettement moins marquée dans les racines que dans les organes aériens des plantes 2 (Ca = 0,84% pour les tomates 1 et 0,68% pour les tomates 2, au 117^e jour). Ce résultat est en bon accord avec des observations anciennes de *Johnston* et *Hoagland* (7).

3° Les quantités de calcium transportées vers les organes aériens et la vitesse avec laquelle cet élément se déplace le long de la tige et vers les feuilles sont réduites dans une proportion nettement plus importante que l'absorption dans les racines (Fig. 4 et Tab. 5).

Figure 3. Solutions 1 et 2: Absorption du calcium en fonction du temps (mg de calcium absorbés par gramme de matière sèche).

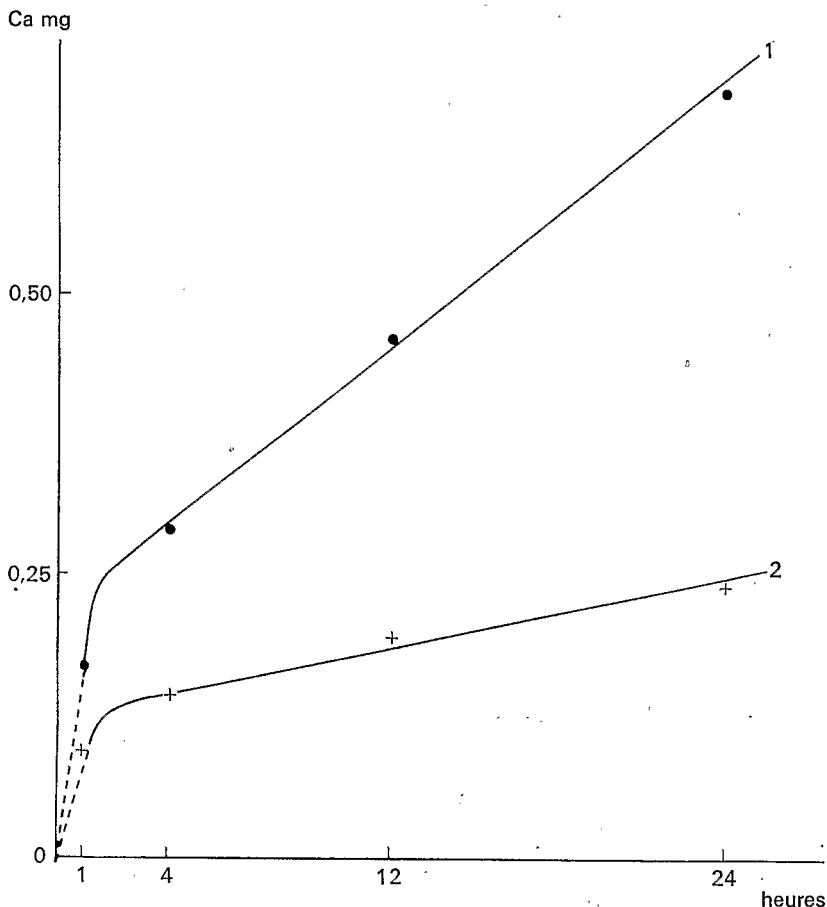
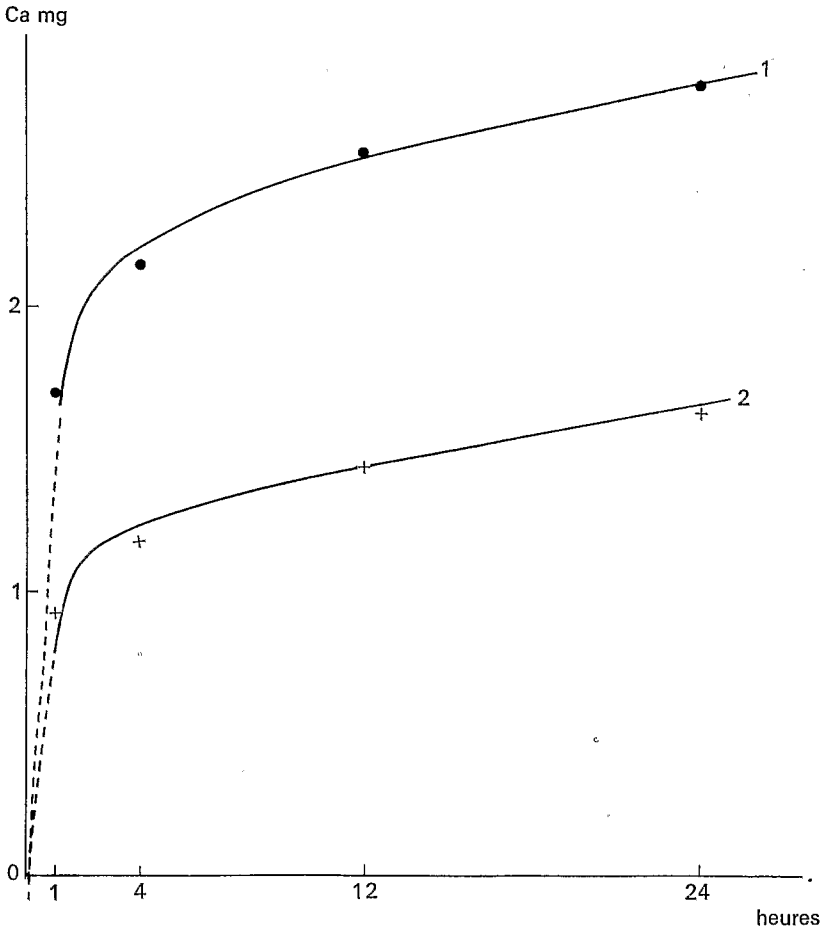


Figure 4. Solutions 1 et 2: Pénétration et accumulation du calcium dans les racines en fonction du temps. (Résultats exprimés en mg de calcium et rapportés à un gramme de matière sèche.)



4° Au moment où apparaissent les troubles, la diminution du taux de calcium chez les plantes 2 est nettement plus marquée dans les feuilles de la pousse sommitale que dans les autres organes (Ca = 0,27 % pour les plantes 2 et 0,80 % pour les plantes 1; K/Ca = 19,7 et 5,1).

Ces résultats permettent de comprendre la localisation des symptômes de carence aux organes aériens jeunes en voie de croissance, les plus éloignés des racines, et indiquent que les troubles observés doivent être attribués à un ralentissement du transport du calcium des racines vers et dans les parties aériennes plus qu'à un défaut d'absorption par les racines.

Revue de la Potasse

Communications mensuelles de l'Institut International de la Potasse, Berne (Suisse)

3/26

Sans préjuger de la nature exacte des mécanismes en cause, on peut penser que ce sont des phénomènes actifs intervenant dans l'absorption et surtout dans le transport du calcium qui sont le plus fortement restreints en présence d'une quantité relative importante de potassium. Le tracé de certaines de nos courbes peut déjà le laisser supposer. Les résultats d'autres auteurs tendent à établir que si la pénétration du calcium dans les racines paraît dépendre surtout de phénomènes physiques, son transport vers et dans les organes aériens mettrait en jeu des phénomènes métaboliques (3).

V. Utilisation du calcium par des plantes normalement alimentées et carencées

Le moment où la quantité de calcium parvenant aux organes jeunes cesse d'être suffisante pour assurer leur croissance, peut aussi en partie dépendre de la manière dont la plante utilise cet élément. Plus en est grande la proportion immobilisée dans les tissus adultes sous des formes insolubles ou fortement liées, moins il en reste disponible pour l'élaboration de nouveaux tissus. On pouvait se demander si, le taux du calcium total diminuant, la part de cet élément plus ou moins définitivement immobilisé diminuerait ou non.

Pour une première étude, nous avons dosé les différentes formes du calcium dans les différents organes de la tomate «Groseille rouge», âgée de 97 jours et cultivée depuis 36 jours sur les solutions 1 et 2 à Béni-Abbès.

Tableau 5 Répartition dans les différents organes du calcium absorbé (Durée d'absorption: 30 heures. Résultats rapportés à une plante et exprimés en mg de Ca)

| Organes | | | Traitement | |
|----------|---------|----------------|------------|------|
| | | | 1 | 2 |
| Racines | | | 13,5 | 8,66 |
| Tiges | Numéro | Hauteur (cm) | | |
| | 1 | 0- 50 | 8,18 | 2,25 |
| | 2 | 50-100 | 6,44 | 0,52 |
| | 3 | 100-150 | 4,21 | 0 |
| | 4 | 150-200 | 2,79 | 0 |
| | 5 | 200-250 | 1,65 | 0 |
| | 6 | 250-300 | 0,57 | 0 |
| | 7 | 300-350 | 0 | 0 |
| 8 | 350-400 | 0 | 0 | |
| Feuilles | | Numéro de tige | | |
| | 1 | 1 | 0,78 | 0 |
| | 2 | 2 | 0,79 | 0 |
| | 3 | 3 | Traces | 0 |
| | 4 | 4 | Traces | 0 |
| | 5 | 5 | 0 | 0 |
| | 6 | 6 | 0 | 0 |
| | 7 | 7 | 0 | 0 |
| 8 | 8 | 0 | 0 | |

Les symptômes habituels de carence étaient apparus depuis une semaine environ chez les tomates 2.

Le tableau 6 rassemble les résultats obtenus.

Tableau 6 Taux des différentes formes du calcium dans les différents organes (grammes pour 100 g de matière sèche)

| Traitement | Organe | Extrait par H ₂ O | Extrait par CH ₃ COOH | Extrait par HCl | Total Addition | Dosage | |
|------------|----------|------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------|--------|------|
| 1 | Racines | 0,095 | 0,40 | 0,32 | 0,82 | 0,77 | |
| | Tiges | Inf. | 0,075 | 0,34 | 1,05 | 1,47 | 1,46 |
| | | Sup. | 0,060 | 0,33 | 0,50 | 0,89 | 0,86 |
| | Feuilles | Inf. | 2,16 | 0,77 | 0,83 | 3,76 | 3,69 |
| | | Sup. | 0,58 | 0,55 | 0,45 | 1,58 | 1,55 |
| 2 | Racines | 0,045 | 0,27 | 0,19 | 0,51 | 0,49 | |
| | Tiges | Inf. | 0,025 | 0,16 | 0,31 | 0,50 | 0,53 |
| | | Sup. | 0,040 | 0,21 | 0,045 | 0,30 | 0,26 |
| | Feuilles | Inf. | 0,28 | 0,44 | 0,60 | 1,32 | 1,38 |
| | | Sup. | 0,050 | 0,22 | 0,20 | 0,47 | 0,45 |

On peut considérer que l'extrait aqueux à froid contient le calcium des sels facilement solubles, l'extrait acétique celui des sels peu solubles et le calcium lié à des molécules organiques (10, 13) et l'extrait chlorhydrique celui des sels insolubles (pectates et oxalates en particulier) (8, 12).

Nous avons déjà observé que le taux du calcium total diminuait nettement moins dans les racines que dans les organes aériens des tomates 2. Nous avons constaté ici que, de plus, les racines des plantes carencées paraissent utiliser leur calcium de la même manière que les racines témoins: la répartition de cet élément entre les trois formes dosées est pratiquement la même dans les deux cas. *Maynard* et *Gentile* (9) ont obtenu un résultat comparable avec des racines de Carotte isolées.

En revanche, dans les organes aériens, l'influence du traitement 2 se traduit non seulement par une réduction plus sévère du taux du calcium total, mais encore par une distribution tout-à-fait différente de cet élément entre les trois formes dosées.

Nous observons ici que la réduction du taux est plus marquée pour le calcium soluble dans les feuilles 2 et pour le calcium extrait par l'acide chlorhydrique dans les tiges 2.

Les feuilles des tomates normalement alimentées contiennent beaucoup de calcium soluble, surtout les feuilles adultes, quatre fois plus riches que les feuilles jeunes. *Abutalybov* (1) avait noté au contraire, chez le cotonnier, une diminution du taux de calcium soluble en fonction de l'âge de la feuille.

La réduction considérable, par rapport au témoin, du taux du calcium soluble des feuilles 2 – même des feuilles adultes, d'apparence parfaitement normale – conduit à penser qu'une partie du calcium soluble des feuilles 1 pourrait correspondre à une accumulation de luxe dans les vacuoles.

Dans les tiges des plantes témoins, la majeure partie du calcium est extraite par l'acide chlorhydrique. On peut admettre qu'il s'agit en partie de calcium engagé dans la constitution du squelette membranaire. L'extrême réduction du taux de cette forme de calcium dans la partie supérieure des tiges 2 correspond bien à la nature des troubles de carence observés: affaissement et nécrose de la pousse sommitale, arrêt complet de la croissance de la tige.

VI. Résumé et conclusion

Dans les conditions de nos expériences, on observait chez la tomate «Groseille rouge», cultivée pendant plusieurs semaines sur des milieux où la valeur du rapport K^+/Ca^{++} était nettement supérieure à l'unité, des troubles physiologiques graves. Nous avons établi qu'il s'agissait d'une carence en calcium d'origine indirecte, induite par la concentration relative élevée du potassium. Les troubles observés paraissent devoir être attribués plus au ralentissement du transport du calcium des racines vers et dans les parties aériennes qu'au défaut d'absorption par les racines.

La réduction du taux du calcium ne porte pas de la même manière sur les différentes fractions de cet élément dans les différents organes, sauf dans les racines: dans les feuilles, elle est sensible surtout pour le calcium soluble, qui correspondrait en partie à une accumulation de luxe chez les plantes témoins; dans les tiges, elle touche surtout le calcium insoluble, engagé en partie dans les constituants de structure.

Bibliographie

1. *Abutalybov M.G.*: Distribution du calcium dans les végétaux (en russe). *Fiziol. Rasten. S.S.S.R.*, T. 3, pp. 306-312 (1956).
2. *Ansiaux J.R.*: Les migrations des substances minérales et l'évolution de la composition ionique chez la tomate au cours de la croissance. *An. Physiol. Vég. Un. Brux.*, Vol. 5, Fasc. 2, pp. 19-260 (1960).
3. *Barber D.A., Koontz H.V.*: Uptake of dinitrophenol and its effect on transpiration and calcium accumulation in barley seedlings. *Plant Physiol.*, Vol. 38, pp. 60-65 (1963).
4. *Barbier G., Coïc Y.*: Contribution à l'étude du mécanisme de l'absorption des substances minérales par la plante. *C.R. Ac. Agric.*, T. 27, pp. 729-737 (1941).
5. *Burström H.*: Studies on growth and metabolism of roots. X. Investigations of the calcium effect. *Physiol. Plant.*, Vol. 7, pp. 332-342 (1954).
6. *Jacobsen H.G.M., Swanback T.R.*: Relative influence of NO_3^- and NH_4^+ N upon the uptake of Ca by tobacco plants. *Plant Physiol.*, Vol. 8, p. 340 (1933).
7. *Johnston E.S., Hoagland D.R.*: Minimum potassium level required by tomato plants grown in water cultures. *Soil Sci.*, Vol. 27, pp. 89-108 (1929).
8. *Kertesz Z.I.*: The pectic substances. *Interscience Publ.*, New York, Londres 1951.
9. *Maynard D.N., Gentile A.C.*: The distribution of calcium in cells of the roots of Carrot (*Daucus carotta* L.). *Physiol. Plant.*, Vol. 16, pp. 40-43 (1963).
10. *Mertz D.*: Effect of ethylenediamine-tetraacetic acid (E.D.T.A.) on ion uptake and retention by the protoplasmic particulates. *Physiol. Plant.*, Vol. 14, pp. 844-850 (1961).
11. *Nightingale G.T., Addams R.M., Robbins W.R., Schermerhorn L.G.*: Effects of calcium deficiency on nitrate absorption and on metabolism in tomato. *Plant Physiol.*, Vol. 6, pp. 605-630 (1931).
12. *Pireyre N.*: Contribution à l'étude morphologique, histologique et physiologique des cystolithes. *Rev. Cytol. Biol. Vég.*, Vol. 23, Fasc. 2-3, pp. 93-320 (1961).
13. *Pireyre N.*: Etude de la répartition du calcium dans les feuilles du *Parietaria officinalis* L. *C.R. Ac. Sci.*, Vol. 257, pp. 954-956 (1963).
14. *Scheidecker D., Guenin H.*: Influence des proportions relatives de K, Ca et Mg dans la solution nutritive sur la teneur en cations et la composition de la tomate. *Bull. Soc. Franç. Phys. Vég.*, T. 6, N° 1, pp. 60-63 (1960).

15. *Scheidecker D.*: Influence des proportions relatives de K, Ca et Mg du milieu sur la composition et la croissance de la tomate, dans «Plant analysis and fertilizer problems», Vol. 4, pp. 268–279 (1964).
16. *Scheidecker D.*: Etude d'une carence en calcium observée chez le *Lycopersicum racemigerum* cultivé sur un milieu relativement riche en potassium et pauvre en calcium. C. R. Acad. Sci., T. 259, pp. 3600–3602 (1964).
17. *Scheidecker D.*: Recherches sur la nutrition minérale de la tomate «Groseille rouge». Etude d'une carence induite. Thèse Paris, 119 p. (1965).
18. *Scheidecker D., Connan A.*: Influence de concentrations croissantes du potassium dans le milieu sur l'accumulation et l'utilisation du calcium par le *Lycopersicum racemigerum*. C. R. Acad. Sci., T. 263, pp. 1451–1454 (1966).
19. *Singh Kalra G.*: Responses of the tomato plant to calcium deficiency. Bot. Gaz., Vol. 118, pp. 18–37 (1956).
20. *Tiedjens V.A., Wall M.E.*: The importance of potassium in the growth of vegetable plants. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., Vol. 36, pp. 740–743 (1938).