

L'importance du silicium

Interview du Professeur Dirk Van Den Berghe

Le Silicium : l'élément manquant

Alors que l'importance du Silicium (Si) en agriculture est médiocrement acceptée, elle le sera pleinement lorsque les conséquences d'ajout de silicium dans les sols seront correctement comprises ! Dans le passé tout le monde pensait que le silicium était peu utile et qu'il n'était qu'un constituant ordinaire du sol. À présent il est lentement en train d'être accepté comme un élément important et bénéfique au sein des plantes pour leur bon fonctionnement.

Le silicium arrive au deuxième rang des éléments les plus abondants à la surface de la planète. Il est tout autour de nous sous forme de sable, de brique de construction, de verre, etc... Il est présent partout dans les sols et dans l'eau. Acidifié par l'acide carbonique et les acides organiques dégagés par les micro-organismes du sol et les racines des plantes, les silicates présents dans le sol sont lentement dégradés et libèrent de l'acide orthosilicique (**OSA**) – $\text{Si}(\text{OH})_4$

L'OSA est soluble dans l'eau et est généralement présent dans les sols en très faibles concentrations. L'acide silicique est une très petite molécule et n'est biologiquement active que sous forme d'OSA. Il est absorbé par les végétaux à de très faibles concentrations, mais qui ont un impacte très important sur la croissance des plantes (et la santé des animaux). Les organismes vivants ont besoins d'OSA, pas de silicates.

Cycle du silicium et cycle du carbone

Le cycle du silicium est directement apparenté au cycle bien mieux compris du carbone. Sans silicium (Si) il n'est pas de vie possible. Les organismes dépendants du silicium tels que les diatomées et les flagellés de silicium qui peuplent les couches supérieures des océans comptent pour plus de 50% de la fixation organique du carbone à la surface du globe.

Le cycle du silicium est directement apparenté à celui du carbone et l'élément qui les relie est l'OSA. Les diatomées en tirent leurs solides exosquelettes protecteurs. Lorsqu'elles meurent, elles coulent au fond de l'eau et leur lente décomposition finit par former un type de sédiment de diatomées. Ce sédiment est lentement dissous par acidification et libère de faibles concentrations d'OSA qui remontent à la surface des océans. Alternativement les diatomées sont consommées par d'autres organismes et le silicium (Si) pénètre dans la chaîne alimentaire. Les diatomées sont parmi les premiers organismes ayant existés sur terre et de nombreux scientifiques étudient maintenant le cycle du silicium. Comparativement, des milieux marins grouillants de vie comme la mer de Béring contiennent de très hauts niveaux d'OSA alors que le niveau d'OSA est très bas dans des milieux appauvris comme la mer Baltique.

Le silicium est en première ligne dans l'évolution de la vie. Les polymères d'acide silicique sont compatibles avec tous types de molécules des sucres aux protéines à l'ADN et à l'ARN, aux lipides, aux structures de membranes et aux macromolécules. Les premières protéines furent créées avec le concours de polymères d'acide silicique. Chez l'é et les animaux le silicium (Si) est fondamental dans la synthèse des tissus conjonctifs ayant pour eux une fonction protectrice essentielle.

Aujourd'hui, le silicium peut être décrit comme « un élément essentiel à la survie ». Il protège l'ADN et soutient les tissus reproductifs. Chez la femme enceinte le niveau de silicium (Si) est très bas car il passe entièrement dans la croissance du fœtus. Chez les végétaux, la plus haute concentration de silicium s'observe dans les graines et l'OSA contribue de manière significative à la production des graines et à leur viabilité, concourant ainsi à l'amélioration de la germination.

Toutes les plantes ont besoin de silicium

Les plantes ont été classées par rapport à leurs capacités à accumuler l'OSA. Des plantes monocotylédones, telles la canne à sucre, fixent fortement le silicium. Il est intéressant de noter que les plantes qui tirent le meilleur bénéfice de l'accumulation de silicium sont les cultures qui ont survécu à travers les âges pour nourrir le monde (blé, maïs). Ce phénomène s'observe également dans une variété de plantes dicotylédones telles l'*equisetum* et l'*urtica* qui sont peu affectées par les insectes nuisibles grâce à leurs feuilles à la surface plus robuste. L'OSA est également très important pour les agrumes. D'autres plantes telles les tomates – répertoriées comme n'étant pas accumulatrices de silicium (Si) – poussent néanmoins beaucoup mieux en présence d'OSA. Il rend les plantes plus fortes, et elles font montre d'une croissance et d'un rendement uniformément meilleur, et la peau des fruits est affermie. Presque toutes les plantes sont capables d'accumuler de l'OSA – mais de différentes façons.

L'OSA paraît avoir une importante fonction régulatrice dans l'assimilation d'autres minéraux importants par la plante. Dans la culture du riz, des chercheurs japonais ont démontrés qu'en présence d'OSA l'absorption de phosphates par des plants poussant dans des sols très phosphatés était réduite alors que l'absorption de phosphate était proportionnellement plus importante dans des sols pauvres en phosphate. Cela nous conduit à penser qu'il y a là une forme de mécanisme régulateur à l'œuvre, orchestré par l'OSA.

Effets globaux du silicium sur les plantes

Les effets les plus évidents de l'OSA peuvent être observés dans le renforcement des tissus végétaux. Les polymères d'OSA s'accumulent dans la cuticule et le tégument de la feuille. Le renforcement de la feuille restreint la pénétration des hyphes fongiques et rend les choses plus difficiles pour les insectes nuisibles qui se nourrissent de la lymphe. Les spores fongiques sont partout dans l'air et sur les particules de poussière, elles l'ont toujours été. Mais les cultures agricoles d'aujourd'hui sont plus sujettes aux infections fongiques (et à l'extrême à leur propre anéantissement) parce que l'équilibre entre pathogène et hôte a été affaibli par l'emploi régulier de fongicides et d'autres composés chimiques. Ce fut l'une des premières constatations du Professeur Van Den Berghe il y a dix ans de cela. Lorsque de l'OSA était appliqué à des roses, un effet positif prononcé était observé dans leur croissance et leur développement comparé à nombre de fertilisants.

Les polymères d'OSA renforcent les parois cellulaires des plantes et se déposent sur la matrice extracellulaire. La « siliciumisation » des cellules qui constituent le xylème (tissus vasculaire) est particulièrement importante. Cela garantit que le tissu vasculaire qui achemine eau et minéraux dans toute la plante est raffermi et moins enclin à l'affaissement. Un système vasculaire plus fort assure chez elle une distribution plus uniforme de l'eau et des minéraux. Les plantes tentent de conserver leur contenu minéral stable et complet ; s'il y a une quantité adéquate de calcium dans le sol, plus de calcium sera absorbé par la plante.

L'OSA contribue à réguler cela. De paire avec une accumulation de silicium dans la feuille, l'effet global de l'OSA est de conférer à la plante plus de contrôle sur sa transpiration et sa contenance en eau et par là de lui offrir une résistance accrue aux conditions de stress. Une action de renforcement similaire chez l'homme et l'animal concerne les *tissus conjonctifs*. Très tôt après le début de prise d'OSA et de bore de qualité pharmaceutique, les patients souffrant d'arthrite voient leur douleur diminuer et deviennent plus mobiles.

Régulation de la croissance

Les plantes avec l'OSA adéquate poussent plus naturellement et plus densément. La floraison et la production de fruits tendent à être légèrement retardés mais au bénéfice d'une floraison plus généreuse et d'un niveau de sucre supérieur dans les fruits. Il y a de nombreux bénéfices spécifiques dans l'emploi d'OSA pour l'agriculture et la production horticole.

Dans une certaine mesure l'OSA modifie le cycle de l'eau et la plante ne peut grandir molle et flasque. Il a été découvert qu'une dose trop forte d'OSA sur des lilas en interrompt complètement la croissance. Parfois une dose exagérée brûlera les feuilles mais en aucun cas ne fera mourir la plante. Et lorsque sa croissance régénérée reprend, elle est exceptionnellement saine et robuste. Il semble que l'OSA s'accumule quelque part dans les racines pour être utilisée dans la poussée juvénile qui s'ensuit.

Effets métaboliques

Des travaux récents au Japon révèlent l'existence d'une molécule protéinique dans le riz qui transporte activement l'OSA à travers la membrane cellulaire. Ainsi l'introduction d'OSA dans les cellules ne s'opère pas seulement par voie de diffusion. Ceci montre encore une fois l'importance du silicium pour les plantes. Certains systèmes d'enzymes opèrent sous l'influence de l'OSA, mais cela n'est pas encore totalement compris.

Il y a une très forte attraction entre le silicium (Si) et le bore. (OSAB = OSA + bore). Le bore influe également sur d'autres éléments comme le potassium et sur certaines réactions enzymatiques chez les plantes et chez les animaux.

L'OSA paraît avoir un effet inhibiteur sur la production d'éthylène dans les tissus des plantes. Des chercheurs polonais ont observés que les plantes de la famille des chrysanthèmes croissent normalement à de faibles concentrations d'OSA. À des niveaux de concentration plus élevés les plantes produisent plus de boutons de fleurs. La floraison est retardée mais les fleurs sont plus résistantes. Fondamentalement, la croissance est plus lente et plus naturelle sous l'influence de l'OSA. Les plantes sont plus robustes, plus compactes et vivent de façon plus économe.

L'OSA a un effet sur la production des pigments anthocyaniques qui dénote son influence dans le murissement et la coloration des fruits. Au Maroc, les agrumes demeurent souvent jaunes sous l'influence de sols pauvres et salins. Au cours d'un essai contrôlé, après que de l'OSA ait été appliqué, les fruits prirent une couleur orange.

La production de polyphénols, lorsque le tissu de la plante est coupé ou endommagé est toujours associée à la présence d'OSA. Les composés phénoliques ont des propriétés antiseptiques.

La grande question de la nourriture

En URSS, le contenu en vitamines et en minéraux de certains légumes a été mesuré à intervalles réguliers au cours du siècle écoulé. Sur toute la période considérée, jusqu'à l'année 2000, le contenu en minéraux et en vitamines des variétés en question avait chuté jusqu'à 90%. Aux USA, entre 1963 et 2002 les résultats montraient une chute de 40% dans les variétés surveillées. Il nous est impossible de compenser cela par l'ingestion d'une quantité supplémentaire de fruits et de légumes pour obtenir la même quantité de vitamines et de minéraux qu'auparavant !

L'effet d'une présence moindre en vitamines et minéraux dans les légumes a un impacte négatif sur la santé. Il est reconnu que la quantité de vitamines nécessaires à une bonne santé chez l'homme a été gravement sous évaluée. Ce manque n'est pas compensé de manière adéquate par des suppléments vitaminiques.

Résidus toxiques

L'agriculture et l'horticulture produisent des végétaux contaminés par des résidus et des pesticides qui ont un énorme effet sur notre santé par accumulation et combinaison. Nous avons des lois qui limitent la concentration maximale de produits chimiques individuels dans les produits agricoles, mais aucune compréhension ou législation à propos de la concentration maximale autorisée des composés créés par leur interaction chimique. Ainsi, pour respecter la législation existante en France, les vignes sont pulvérisées avec de nombreux produits chimiques différents qui font qu'il y a une multiplication de fongicides et de pesticides dans le raisin de table que nous mangeons sans même considérer les substances créées par interactions chimiques. Nous créons ainsi des substances chimiques qui ont un effet désastreux sur la santé de l'homme et des animaux.

Contamination des sols

Agriculture et horticulture sont en train de créer un environnement sol-eau totalement dénaturé et contaminé par des produits chimiques. La plupart des sources naturelles de calcium utilisé en agriculture sont contaminées par du plomb qui entre alors dans l'ensemble de la chaîne alimentaire. Il est possible d'éliminer le plomb (pour les compléments alimentaires, par exemple) mais le procédé de purification est onéreux. De façon générale, la présence de calcium dans les légumes décline progressivement.

La présence naturelle de bactéries dans les sols concoure à leur fertilité et agit en symbiose avec la racine des plantes. Cette présence de bactéries dans les sols a beaucoup diminué car la plupart des bactéricides et des fongicides utilisés ne sont pas sélectifs et tuent aussi les micro-organismes utiles.

Une légère concentration d'OSA dans le sol est essentielle. Sous cette forme il peut être absorbé par la plante avec l'eau et d'autres minéraux. Mais dans les sols de l'agriculture d'aujourd'hui nous avons des fertilisants, des fongicides, des pesticides et d'autres composés qui entravent la bio-disponibilité de l'OSA et son transit vers la racines des plantes. Plus de 50 000 composés de silicium artificiels nés de la main de l'homme sont aujourd'hui utilisés dans le monde. Nombre de produits « siliciumisés » et de Si synthétisé se retrouvent dans le sol et interfèrent avec l'absorption d'OSA par la racine des plantes.

Les fertilisants phosphatés (P) dans le sol entrent en compétition avec l'OSA et inhibent l'absorption de l'OSA par la racine des plantes. Dans le passé ce problème existait à peine car, comme les silicates, presque tous les phosphates existaient en tant que polyphosphates qui se décomposaient seulement très lentement en monophosphates et diphosphates. Il a été prouvé par des scientifiques de l'université de Floride que l'application de fertilisants phosphatés à la production de canne à sucre peut être réduite par 5 en ajoutant des silicates dans le sol. L'utilisation massive de fertilisants phosphatés provoque l'écoulement de phosphates dans les cours d'eau et les rivières, favorisant l'eutrophisation. Les algues en surabondance produisent de puissantes neurotoxines qui se retrouvent dans les poissons et on en observe les symptômes chez les humains qui les mangent.

Les sols contenant des métaux lourds comme l'aluminium peuvent être décontaminés par des plantes accumulatrices d'OSA. Mercure et plomb se combinent également au silicium dans une certaine mesure.

Aujourd'hui les consommateurs veulent des aliments propres.

Les consommateurs veulent des aliments plus sains et sont prêts à payer pour cela. La pression des consommateurs est telle aux États-Unis que, sous l'égide de l'USDA (le département de l'agriculture des États-Unis), la plupart des universités importantes conduisent depuis longtemps des programmes de recherches et de développements concernant les aliments biologiques. Ceux-ci requièrent une approche très différente des pratiques agricoles ordinaires. D'autres universités travaillent sur les problèmes de santé liés à la nourriture et blâment les ingénieurs agronomes pour leur si mauvais travail concernant la culture de légumes malsains de qualité inférieure et pour un élevage tout aussi dénaturé. Les agronomes sont sous pression pour découvrir de nouveaux produits et de nouvelles techniques de production et l'élément oublié – le silicium – est au centre de ces programmes. Le problème ne peut être résolu qu'à travers des pratiques agricoles réformées et optimisées.

Le silicium dans l'agriculture.

L'agriculture et l'horticulture qui utilise l'OSA sont une police d'assurance pour une production de qualité et une utilisation plus efficace de produits chimiques tels que fongicides et fertilisants. D'après le Professeur Dirk Van Den Berghe, l'OSA est essentiel à la culture biologique. Les cultures traitées à l'OSA ont moins besoin de phosphates et pousseront mieux et plus naturellement dans un environnement plus équilibré. En utilisant l'OSA, il est possible de cultiver pomme de terre et pomme avec une réduction de 50% de l'application de produits chimiques. La production est meilleure et les résidus toxiques très inférieurs.

Nous ne connaissons pas encore le moment optimum pour l'application de l'OSA, comment l'appliquer au mieux et de quelle façon. Cela différera aussi suivant les sols et les cultures. Cependant les engrais au calcium ont été appliqués aux sols depuis des siècles en dépit du fait qu'il est compris peu de choses encore sur la disponibilité du calcium dans le sol et de son absorption par les plantes.

L'OSA aide à réguler la concentration relative de sels minéraux variés absorbés par la plante, y compris le magnésium, le sodium et le potassium. Le cuivre et le zinc sont également importants pour les plantes, bien que seulement 2% environ en soit absorbé – le reste demeurant dans les sols comme polluant. En présence d'OSA, les quantités de cuivre et de

zinc nécessaires à la plante sont réduites. Lorsque du calcium est appliqué au sol il y a une meilleure absorption par la plante en présence d'OSA. On assiste également à une absorption plus élevée de potassium. Il est intéressant de noter que l'OSA augmente toujours l'absorption de potassium. Le potassium est souvent utilisé pour raffermir le fruit et contribuer à son mûrissement. Dans le cas de pommiers traités à l'OSA, les pommes mûrissent parfaitement sans pulvérisation de potassium. Le Professeur Van Den Berghe considère que la quantité de tous les minéraux disponibles dans le sol requis par la plante peut être réduite en appliquant plus d'OSA.

L'OSAB est normalement utilisé en pulvérisation foliaire. Cependant, il est aussi absorbé par les racines de la plante en raison de l'écoulement des gouttelettes et de l'imprégnation du sol. Plus d'essais sont à conduire pour déterminer des protocoles d'utilisation s'adressant plus précisément à des sols ou des cultures spécifiques.

Il peut être associé à la plupart des produits chimiques et des engrais. Acides humiques et fulviques sont des produits de dégradation toujours associés à de larges quantités de silicium. Si des acides humiques et fulviques sont ajoutés à des sols contenant de l'OSA, ces acides se lieront à l'OSA et en conséquence ces nutriments sont rendus plus accessibles à la plante.

L'application de fertilisants Si sous la forme de sels de silicate ou mieux d'OSA/OSAB est particulièrement efficace en agriculture, là où les conditions de cultures sont loin d'être idéales. Ils jouent un rôle majeur dans la dynamique du stress chez les plantes en aidant la plante à tolérer ou à résister à un stress environnemental (abiotique) et biologique (biotique). Dans le premier cas, des recherches substantielles sont conduites visant à permettre des cultures agricoles là où l'eau est de qualité médiocre, salée ou contaminée.

Le Professeur Dirk Van Den Berghe a été le premier à produire, il y a une dizaine d'années, un acide silicique stabilisé (OSA), alors qu'il professait à la faculté de pharmacie de l'université d'Anvers en Belgique.