Chapitre IV **BESOINS EN ELEMENTS MINERAUX**

Jadis considérée comme une question résolue, la détermination des besoins des cultures reste toujours d’actualité avec l’avènement de nouvelles techniques de production, la création de nouvelles variétés à haut rendement et les questions de protection de l’environnement.

**IV.1. Notions d’équilibre nutritionnel**

De manière simplifiée, nous pouvons distinguer trois états impliquant la plante dans sa relation avec son apport d’éléments nutritifs : la carence, l’état d’équilibre et la toxicité. Ces états sont schématisés à la figure 11.3.

Ces états se traduisent dans la composition des tissus par une relation d’allure semblable.

**. Les carences.** La carence (ou **déficience)** est une situation d’insuffisance d’un élément caractérisée par l’apparition de symptômes. On distingue les carences « vraies » et les carences « induites ».

La **carence vraie** est le résultat d’un manque d’élément dans le sol. Cette insuffisance peut être naturelle ou consécutive à l’action épuisante des cultures qui s’y sont succédées. Les éléments majeurs, requis en plus grande quantité sont, davantage que les éléments mineurs, affectés par ce premier type.

La **carence « induite »** survient lorsque l’élément est présent en quantité suffisante mais que la plante se trouve dans l’impossibilité d’en faire l’absorption. Les causes peuvent se trouver dans les conditions physico-chimiques qui prévalent dans le sol. Ce sont principalement : - trop forte fixation par le sol ; - pH excessif ; - antagonismes ou compétition entre éléments.

Les sols à texture sableuse et grossière fixent mal les fertilisants et sont sensibles à la perte par lessivage. Les éléments N, K, Ca et Mg disparaissent du profil, ce qui augmente le risque de carences vraies. De surcroît, la perte des éléments Ca et Mg est associée également à une acidification du sol qui peut, à son tour, réduire la disponibilité d’autres éléments. Les éléments P, K, Ca, Mg, S et Mo sont donc particulièrement sensibles à cet égard (Marynard. 1979).

**. Les interactions.** Les éléments peuvent s’influencer mutuellement d’une manière défavorable à l’absorption. Citons quelques exemples : - carence en Mg par excès de K ; - carence en Zn par excès de P ; - carence en Mn après chaulage ; - carence en K par excès de Ca ou Mg.

Le bicarbonate (HCO3-) peut pénétrer la racine et y augmenter le pH. Dans ces conditions, le fer que contient la racine devient inutilisable et des symptômes de carence se manifestent. Ce phénomène est connu sous le nom de « **chlorose reliée à l’application de chaux** ». Des mécanismes ont été identifiés qui permettent à certaines espèces ou variétés de surmonter cette difficulté. Une première stratégie consiste à stimuler la production d’acides organiques pour rétablir l’acidité des cellules, excréter des protons dans la rhizosphère et ainsi solubiliser le fer. Une seconde stratégie fait intervenir l’excrétion de chélates qui permettent la récupération du fer dans les zones de pH alcalins (Ferdenegg et al., 1986).

**IV.2. Besoins qualitatifs**

La plupart des problèmes reliés à la nutrition des cultures peuvent être associés aux situations suivantes : sols sableux (sujet au lessivage), sols organiques (histosols), sols acides, sols alcalins, erreurs humaines ou mécaniques (Maynard, 1979). Egalement, certaines conditions doivent être réunies avant que la culture puisse satisfaire ses besoins en éléments nutritifs.

**. La température.** L’effet de la température sur la capacité d’absorption de la plante peut être masquée par son influence indirecte sur la disponibilité des ions dans le sol (Barrow, 1992). Selon Cornillon (1977), l’absorption du phosphore est gênée par les températures froides alors que l’inverse se produit pour l’ammonium (NH4+). En période froide, des carences en phosphore sont fréquemment constatées sur les graminées.

**. Le pH.** Fréquemment, le retour à un pH optimal est de nature à solutionner un problème de déséquilibre nutritionnel (Mayard, 1979). Dans ce cas, c’est son influence sur la disponibilité des éléments qui favorise la nutrition.

**. La salinité.** Pour réaliserl’absorption des éléments nutritifs dont elle a besoin, la plante ne doit pas être soumise à un stress hydrique induit par la salinité du sol.

**. L’aération.** L’aération du sol devient insuffisante lorsque l’importance des pores est limitée par le compactage ou une saturation en eau. Dans un cas comme dans l’autre, l’azote est dénitrifié et soustrait à l’absorption par les racines. Dans un sol compact, les racines croissent avec difficulté et l’absorption de l’ensemble des éléments s’en trouve gênées (Wolkowski, 1990).

**. La forme chimique.** Il est essentiel que l’absorption d’ions de la solution du sol s’effectue de façon à préserver au sein de la plante un certain équilibre des charges électriques positives et négatives (Findenegg, 1987). L’azote, qui a la particularité d’être absorbé sous forme anionique en quantité importante est le principal agent en cette matière. Lorsqu’il est absorbé sous forme nitrate (NO3-), le résultat est l’alcalinisation de la rhizosphère.

Inversement, l’absorption d’ammonium (NH4+) mène à l’acidification de la rhizosphère (Marschner et al., 1986 ; Römheld, 1986). Selon la capacité du sol à réagir aux pressions exercées par la plante sur son pH, la zone d’influence de la rhizosphère peut être plus ou moins grande (Schaller, 1987). L’absorption dans la racine de cations accompagnateurs coïncide généralement avec celle du nitrate. Les plantes alimentées en nitrate contiennent ainsi davantage de cations dans leurs parties foliaires que celles qui absorbent plutôt de l’ammonium.

**IV.3. Synchronisme**

Le rythme d’absorption d’un élément nutritif donné n’est pas constant au cours de la saison. A titre d’exemple, il est rapporté par Beringer (1985) que, à l’hectare, l’absorption de P2O5 par le maïs atteint un maximum environ 60 jours après le semi. Selon Tinker (1985), les percées majeures qu’il faut attendre dans le domaine de la nutrition minérale seront associées à un meilleur synchronisme dans l’espace et dans le temps entre l’apport de fertilisants et les besoins de la culture.

**IV.4. Besoins bruts**

**. Prélèvements.** La quantité d’éléments que la culture intègre dans sa matière vivante à des fins de croissance et de développement est définie par le terme « prélèvement ». Leur appréciation est la méthode la plus simple et la plus sûre pour juger des besoins nutritifs d’une culture.

**. Exportations.** Les « exportations » se rapportent à la partie des éléments nutritifs qui est définitivement retirée du sol lorsque la récolte est consommée. Lorsque, à la suite de récolte, des parties inutilisées de la culture sont retournées au sol pour y être incorporées, une certaines « restitution » des prélèvements en éléments nutritifs est ainsi réalisée. Les « pertes » sont consécutives à l’action érosive du vent et des eaux de ruissellement, à l’évacuation des eaux de drainage et à la migration des éléments à travers le profil de sol jusqu’à la nappe phréatique.

**IV.5. Analyse du sol**

Le sol doit procurer un approvisionnement en élément nutritifs suffisant et bien réparti dans le temps. Les analyses permettent, au moyen de solutions extractives, de simuler sa capacité de fournir l’un ou l’autre des éléments nutritifs, suivant les objectifs poursuivis, la solution extractive peut varier de l’eau distillée aux acides forts. En général, on donne la préférence aux solutions dont la capacité d’extraction se rapproche la plus de celle du système racinaire. On utilise le plus souvent des acides faibles bien tamponnés. Les méthodes différentes essentiellement par le type de solution extractive, le rapport sol / solution extractive et la durée de l’extraction. Les méthodes sont validées en corrélant la quantité extraite au rendement ou, avec plus de succès, à l’absorption de l’élément par la plante.

Lorsque les analyses ne portent que sur deux éléments (P et K), le risque est grand de négliger d’autres facteurs importants. De même, en règle général, les échantillons sont limités à la couche arable et négligent le fait que les cultures peuvent exploiter une profondeur bien plus grande. Les analyses de sols sont surtout utiles pour apprécier la capacité des sols pauvres à fournir les besoins des cultures. En situation d’agriculture intensive, les sols contiennent généralement des quantités largement suffisantes ou même excessives de fertilisants. Les analyses de sols sont alors utiles pour déceler les excès nocifs pour l’environnement et réaliser des économies d’engrais. Avec les sols riches, on distingue trois attitudes agronomiques (Beriger, 1985) : 1- le comblement des exportations ; 2- l’équilibre des éléments caractérisant la capacité d’échange cationique (C.E.C.), 65 % par le Ca++ , 10 % par le Mg++ , 5 % par le K+ et 20 % qui reste par H+, Na+ et les autres cations 3- le maintien des réserves du sol au niveau duquel aucune augmentation de rendement ne peut être obtenu.

**IV.6. Analyse foliaire**

**. Valeur minimale critique.** Historiquement, les programmes destinés à diagnostiquer les besoins en fertilisants à partir des analyses foliaires ont été basés sur la « valeur minimale critique », définie comme la concentration de l’élément (dans une certaine partie de la plante, et à un stade précis) sous laquelle une baisse de rendement de 5 à 10 % peut être prévue. Cette approche rencontre de sérieuses limitations (Sumner, 1979). Comme pour l’analyse de sol, dès que la valeur minimale critique est atteinte, l’interprétation de la relation entre la concentration de cet élément et la croissance est rendue difficile par la présence d’interactions avec d’autres éléments nutritifs (Beringer, 1985)

**. DRIS.** Le « DRIS » (Diagnosis and Recommendation Integrated System) a été développé avec succès chez plusieurs cultures à partir des rapports d’éléments minéraux qui parviennent le mieux à caractériser les populations à haut rendements (Sumner, 1979 ; Walworth et Sumner, 1987). Les rapports qui unissent les éléments minéraux entre eux sont souvent moins variables que les concentrations individuelles.

**. Coefficient d’absorption.** Dans le cas d’espèces pérennes vivant en association, comme c’est le cas des prairies ou des pâturages, on a montré (Lambet et al., 1972 et Lambet et al.,1973) qu’on pouvait utiliser un coefficient synthétique défini comme le **Coefficient spécifique relatif** (C.S.R. = TS/TSS) qui, pour chaque élément minéral, est égal au rapport entre la teneur de l’espèce considérée (TS) et la teneur de toutes les espèces composant la phytocénose (TSS). Suivant que le coefficient est inférieur égal ou supérieur à 1 on parlera d’espèce épuisante, neutre ou enrichissante pour l’association végétale.

**IV. Perspectives.**

Depuis le virage vers l’agrochimie, et malgré les recommandations d’analyse de sol, l’application d’un excès de fertilisant constitue pour le producteur une sorte d’assurance que les besoins de sa culture soient « rencontrés ». Cette pratique d’application superflue est toutefois de moins en moins tolérable étant donné les impacts sur la compétitivité des entreprises, la pollution diffuse des cours d’eau et induction de déséquilibres nutritionnels. La plante déséquilibrée par un apport immodéré de fertilisant devient plus sensible aux carences induites et aux attaques de ravageurs, ce qui contribue à alimenter le cercle vicieux des pesticides. Ainsi, la question de la nutrition minérale déborde le cadre immédiat de la simple obtention des meilleurs rendements possibles et ses implications rejoignent plusieurs aspects dont la génétique, la protection contre les ravageurs et la valeur alimentaire.

En somme, les méthodes permettant d’estimer les besoins en éléments minéraux sont variés. L’expérience montre que l’agronome doit avoir recours à tous les moyens qui lui permettent de porter un diagnostic sur la fertilité du sol et donc sur les compléments d’engrais minéraux à appliquer pour assurer le rendement optimal. Il utilise parallèlement les résultats fournis par l’analyse des sols et des plantes et les observations de terrains : plantes indicatrices et examen des carences éventuelles. D’autres méthodes utiles font appel au végétal telles que les indicateurs phytosociologiques, les essais à long terme et la méthode des bilans.