

Diss. ETH No. 13907

**EARLY GROWTH OF ROOTS AND SHOOTS OF MAIZE AS AFFECTED BY
TILLAGE-INDUCED CHANGES IN SOIL PHYSICAL PROPERTIES**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by

André CHASSOT

Dipl. Ing. Agr. ETH-Zurich

born February 5, 1970

citizen of Estavayer-le-Gibloux (FR)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. P. Stamp, examiner

Prof. Dr. E. Frossard, co-examiner

Dr. W. Richner, co-examiner

2000

SUMMARY

No-tillage systems (NT) are used increasingly to alleviate some of the negative effects of conventional tillage (CT) such as soil erosion, energy use, leaching and runoff of agricultural chemicals, and degradation of the soil structure. NT systems are very advantageous for a row crop such as maize because of the large distance between the rows and the initial slow growth of the plant in temperate climates. However, the long-term application of no-tillage systems in these climates leads to a cooler layer of surface soil early in the season, which is associated with increased mechanical impedance. This may lead to stress conditions for the growth of the shoot and root, particularly in the topsoil at the beginning of the growing season. Therefore, maize is subjected to a combination of soil physical stresses during establishment.

The objective of this study was to investigate the effects of the main tillage-induced changes in the physical properties of the soil on above- and below-ground parts of maize seedlings, in terms of growth and function:

- [1] Under field conditions, the lateral and vertical distribution as well as the morphology of the root system of maize at an early growth stage, as affected by tillage intensity, were characterized. Furthermore, attention was paid to the effect of the sidebanding of NP-fertilizer on the distribution and morphology of the roots.
- [2] Under controlled conditions, the physical conditions of the soil under conventional and no-tillage in the field were simulated, whereby combinations of vertically varied soil temperature and soil bulk density were applied.
 - [2a] First, the early growth and performance of the shoot and roots of maize was investigated.
 - [2b] Second, the morphology, distribution and functioning of the roots were studied with regard to shoot growth and the utilization efficiency of phosphorus and nitrogen fertilizer. Phosphorus was used as a model macroelement to determine whether the effects of soil properties on the roots lead to an inadequate supply of nutrients to the shoot.

The results were as follows:

- [1]** In the field, the soil temperature decreased, and the bulk density and penetration resistance of the topsoil increased in the NT compared with the CT system. Shoot growth and development were slower in the NT system. The root length density (RLD) was higher and the mean root diameter smaller in the CT than in the NT system, while the vertical and horizontal distribution of the roots did not change. RLD increased in the fertilizer zone, independent of the tillage system, but the mean root diameter did not change. Higher influx rates of P per unit root length compensated for the reduced extension of the root system in the NT system.
- [2a]** Under controlled conditions, the rate of leaf expansion was drastically reduced, and the roots were concentrated near the soil surface when the bulk density of the topsoil was higher. Thus, intensive use of water and N from the subsoil occurred only in the presence of a uniformly loose soil profile. The bulk density of the topsoil was negatively correlated and temperature of the topsoil was positively correlated with the photosynthetic activity. Both these soil properties acted independently on all the measured plant parameters. The bulk density of the soil was the major growth-limiting factor, both for the shoot and for the roots.
- [2b]** In the second series of growth chamber experiments, the bulk density of the topsoil caused a linear decrease in the length and weight of the roots, an increase in the diameter of the roots both in the top- and in the subsoil, and a decrease in the root:shoot ratio. Shoot and root growth were equally reduced by the decreasing temperature of the topsoil. In general, root length, mean diameter, and vertical distribution were influenced positively by the level of P in the topsoil. Soil temperature and level of P may have had compensatory effects on root growth. Bulk density and temperature of the topsoil acted independently on all the parameters measured but showed some interactions with P.

It is concluded that the lower temperature of the topsoil in spring was the main limiting factor for the early growth of NT maize in temperate climates. However, good soil management, particularly the avoidance of soil compaction and an adequate supply of nutrients to the maize seedlings, through a local application of starter fertilizer, must be ensured.

RÉSUMÉ

Le semis direct est une technique largement utilisée pour pallier aux effets négatifs des méthodes conventionnelles de travail du sol tels que l'érosion, le lessivage et le ruissellement des produits chimiques ou la dégradation de la structure du sol. Le semis direct est particulièrement intéressant pour une culture comme le maïs qui offre une faible protection du sol en début de saison du fait d'un large interligne et d'une croissance juvénile ralentie en climat tempéré. Cependant, une application à long terme du semis direct peut se manifester par des couches superficielles du sol se réchauffant plus lentement et présentant une plus forte résistance à la pénétration des racines en comparaison avec des sols travaillés conventionnellement. Ceci peut donner lieu à un ensemble de conditions de croissance défavorables durant la période d'établissement du maïs.

Le but de cette étude était de mesurer les effets, en termes de croissance et de fonctionnement, des principales modifications de propriétés physiques du sol, induites par le semis direct, sur les parties aériennes et souterraines des jeunes plants de maïs:

- [1] en conditions de champ, les effets de l'intensité de travail du sol sur la distribution horizontale et verticale ainsi que sur la morphologie du système racinaire du maïs ont été caractérisés à un stade de croissance précoce. De plus, une attention particulière a été donnée à l'effet de l'engrais NP, placé en bande au moment du semis, sur la distribution et la morphologie des racines;
- [2] les propriétés physiques du sol caractéristiques des systèmes de travail du sol conventionnel et de semis direct ont été reproduites en conditions contrôlées. Différentes combinaisons de gradients verticaux de densité et de température du sol ont été appliquées:
 - [2a] dans une première série d'essais, la croissance et le fonctionnement des feuilles et des racines de maïs ont été analysés;
 - [2b] dans une deuxième série d'essais, la morphologie, la distribution et le fonctionnement des racines ont été analysés en tenant compte de la croissance des parties aériennes et de l'efficacité d'utilisation de l'azote et du phosphore. Le phosphore a été utilisé comme élément nutritif modèle

VII

pour tester l'effet des propriétés du sol sur le prélèvement d'éléments nutritifs par les racines.

Les résultats de ces essais étaient les suivants:

- [1] En champ, la température du sol à 5 cm était plus basse et la densité apparente ainsi que la résistance à la pénétration du sol étaient plus élevées en surface dans le cas du semis direct que dans le cas du labour. Là, les taux de croissance et de développement des plantes étaient plus bas qu'ici. De même, la densité de longueur de racines (RLD) était réduite et le diamètre moyen des racines plus grand, alors que la distribution horizontale et verticale du système racinaire demeurait inchangée, en valeurs relatives. RLD était significativement plus élevée à proximité de la bande d'engrais placée au semis, indépendamment du travail du sol. Le diamètre moyen des racines n'a pas été influencé par la présence de l'engrais. La taille réduite du système racinaire en semis direct a été partiellement compensée par des taux de prélèvement de P par unité de longueur de racine plus élevés.
- [2a] En conditions contrôlées, le taux d'expansion de la surface foliaire a été sévèrement réduit et les racines se sont concentrées en surface dans les traitements avec une couche superficielle compacte. En conséquence, un prélèvement important d'eau et d'azote des couches plus profondes n'a pu avoir lieu que dans les traitements avec un substrat meuble sur toute la profondeur. Le degré de compaction de la couche supérieure du substrat était corrélé négativement et la température de cette couche positivement avec l'activité photosynthétique des feuilles. Ces deux facteurs (densité et température du substrat) agissent de façon indépendante sur tous les paramètres mesurés. La densité du substrat a été le principal facteur limitant pour la croissance aussi bien des racines que des parties aériennes.
- [2b] Dans la deuxième série d'essais en phytotron, l'accroissement de densité de la couche supérieure du substrat provoqua une diminution linéaire de la longueur et de la masse racinaires, un accroissement du diamètre moyen des racines aussi bien dans la couche supérieure qu'en profondeur, ainsi qu'une baisse du rapport racine:partie aérienne. La croissance des racines et des parties aériennes a été réduite dans une égale mesure par la baisse de température du substrat à 5 cm. De manière générale, l'élongation des racines, leur diamètre moyen et la croissance

VIII

en profondeur ont été influencés positivement par un apport de P dans la zone de semis. La croissance des racines dans le cas de températures basses du substrat a pu être partiellement compensée par un apport de P plus élevé, et vice versa. La densité et la température du substrat agissent indépendamment sur tous les paramètres mesurés. Il y a par contre eu certaines interactions avec le facteur P.

En conclusion, le réchauffement plus lent de la couche supérieure du sol au printemps semble être le principal facteur limitant la croissance juvénile du maïs dans le cas du semis direct en climat tempéré. Néanmoins, il est primordial de protéger le sol contre toute compaction et dégradation de la structure et d'assurer un approvisionnement adéquat des plantules en éléments nutritifs, par exemple au moyen d'un apport localisé d'engrais au moment du semis.