

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ACTION
D'UNE TEMPÉRATURE BASSE SUR LA CROISSANCE
ET L'ALIMENTATION MINÉRALE
D'UN HYBRIDE PRÉCOCE DE MAÏS

par S. Chaillou, F. Blondon et D. Scheidecker

(Note présentée par M. P. Chouard)

RÉSUMÉ

Un hybride simple précoce corné de Maïs ($F_7 \times EP_1$) est cultivé en phytotron jusqu'au stade 7 feuilles sous 18 000 lux ($115\ 000\ \text{ergs cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) en aquiculture stricte dans trois conditions expérimentales. Dans la première la température des parties aériennes ($22\ ^\circ\text{C}$) est différente de celle des racines ($12\ ^\circ\text{C}$), dans les deux autres, parties aériennes et racines sont à la même température soit $22/22\ ^\circ\text{C}$ soit $12/12\ ^\circ\text{C}$. Les croissances et les taux dans la plante du phosphore, du potassium, du magnésium et du calcium sont comparés à durée de traitement égal et à stade égal.

Au stade 7 feuilles, par exemple, bien que les plantes (parties aériennes et racines) du traitement à $22/12\ ^\circ\text{C}$ présentent un poids de matière fraîche pratiquement semblable à celui des plantes du traitement à $22/22\ ^\circ\text{C}$ (98 %), le poids de matière sèche est très supérieur (163 %), ce qui ne se produit pas à $12/12\ ^\circ\text{C}$. L'initiation florale de l'apex se réalise pratiquement au même stade de croissance dans les différents traitements : fin du stade 4 feuilles à $22/22\ ^\circ\text{C}$, début et milieu du stade 5 feuilles à $22/12\ ^\circ\text{C}$ et $12/12\ ^\circ\text{C}$. Les

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

28 NOV. 1978

n° M 9423 B.B.V

taux du phosphore et du potassium dans les parties aériennes et les racines des plantes à 22/12 °C sont toujours très inférieurs à ce qu'ils sont à 22/22 °C. A 22/12 °C l'absorption de ces deux éléments est considérablement réduite. La différence est moins marquée pour le magnésium et surtout le calcium. Dans le traitement à 12/12 °C, l'absorption est réduite par rapport à 22/22 °C dans les mêmes proportions que pour le traitement à 22/12 °C.

L'engrais au début de la croissance du Maïs en sol froid nous paraît donc peu efficace.

PRÉAMBULE

Dans la zone au nord de la Loire, le problème de l'action des basses températures sur la croissance au stade jeune du Maïs est particulièrement important. Nous nous proposons d'apporter ici une contribution physiologique à son étude en dissociant l'action des températures basses au niveau des racines et de la partie aérienne. De nombreux travaux de recherche sur ce sujet ont été effectués au champ, en serres et en phytotron notamment aux U.S.A. et aux Pays-Bas (1). Les expériences relatées ici comparent, jusqu'au stade 7 feuilles, la croissance et la nutrition minérale de jeunes plantes de Maïs (hybride simple précoce : F₇ × EP₁) placées en aquiculture stricte. Ce travail est original par rapport aux précédents car il permet de comparer au traitement : 22 °C (parties aériennes) — 12 °C (racines), deux témoins : 22 °C (parties aériennes) — 22 °C (racines) et 12 °C (parties aériennes) — 12 °C (racines); ce dernier témoin n'existe pas, à notre connaissance, dans les travaux effectués précédemment.

Nous allons dégager rapidement les principaux résultats des expériences décrites dans la bibliographie concernant l'action des températures basses au niveau des racines chez le Maïs. La morphologie des feuilles est peu affectée par le refroidissement du milieu nutritif, celle des racines l'est davantage : le système racinaire est plus court et plus finement divisé que celui des plantes témoins et les racines sont plus épaisses (2, 3). Le rythme d'initiation et d'apparition des feuilles et leur vitesse d'allongement diminuent quand

on abaisse la température du milieu nutritif (4, 5). La longueur finale atteinte par les feuilles serait cependant plus grande (3). La hauteur totale des plantes augmente avec la température du sol (6). La croissance pondérale pendant un temps donné, (matière fraîche ou sèche), est réduite par une diminution de la température du sol, mais si l'on se place à un stade donné de développement, les plantes qui ont produit le plus de matière sèche sont celles qui ont été cultivées sur un milieu nutritif froid (5, 6, 7). Le rendement en grain augmente si on stimule la croissance par une élévation de température du sol mais la meilleure combinaison serait d'après Ketcheson (8) : basses températures de l'air, hautes températures du sol.

En ce qui concerne l'action sur la nutrition minérale, l'abaissement de température au niveau des racines réduit l'absorption des éléments (5). Ainsi le taux du phosphore, du potassium et du magnésium dans les parties aériennes est réduit par rapport au témoin. Pour le calcium, les résultats sont moins nets : le taux de cet élément augmente même parfois dans les parties aériennes chez les plantes cultivées en sol froid (10-12 °C) (9, 10). La diminution de l'absorption d'eau lorsque l'on refroidit le milieu nutritif pourrait être le facteur principal de la réduction de croissance (5). Mais la température de l'apex et de la tige semble jouer un rôle aussi important en début de croissance que celle des racines (5, 6).

Ce rapide historique du mode d'action des basses températures appliquées au niveau des racines fait ressortir que de nombreux facteurs sont en jeu. Ces facteurs sont liés : ainsi l'abaissement de la température des racines provoque un stress hydrique qui entraîne, conjointement à l'abaissement de température de l'apex, une réduction de la vitesse de croissance pondérale et une accumulation de matière sèche, en particulier de glucides, qui serait due en partie à une déficience de l'alimentation minérale (11).

I. — MATÉRIEL ET TECHNIQUES

Le Maïs utilisé est un hybride simple corné précoce (F₇ × EP₁) provenant de l'I.N.R.A. Il est semé sur sable de Loire, placé à 22 °C en 16 heures d'éclairement de 18 000 lux

(115 000 ergs $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) et avec une humidité relative de l'air de 70 %. Il est arrosé à l'eau déminéralisée. Le repiquage à lieu 6 jours plus tard : les jeunes plantes ont alors entre 3 et 4 cm de hauteur, la première feuille émergeant du coléoptile. Ces plantes sont placées sur solution nutritive (*), en aquiculture stricte dans des pots d'un litre et séparées en 3 lots correspondants à 3 traitements :

1^{er} *traitement* : température des parties aériennes et des racines : 22 °C; dénommé traitement 22/22 °C.

2^e *traitement* : température des parties aériennes 22 °C — température des racines 12 °C : dénommé traitement 22/12 °C. Cette température au niveau des racines est obtenue en immergeant les pots de culture dans un bain d'eau thermostaté dont la température est contrôlée à $\pm 0,1$ °C.

3^e *traitement* : température des parties aériennes et des racines 12 °C; dénommé traitement 12/12 °C.

Ces températures restent constantes pendant toute la durée des expériences qui sont réalisées dans les salles à éclairage artificiel du Phytotron de Gif-sur-Yvette. La durée journalière de l'éclairage est de 16 h sous 18 000 lux (115 000 ergs $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) et l'humidité relative de l'air de 70 %.

(*) La composition de la solution nutritive utilisée, constante tout au long de l'expérience, est la suivante (en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) : $\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$: 548; $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$: 137; $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$: 137; KNO_3 : 411; $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$, 4 H_2O : 959.

Les quantités (en p.p.m.) suivantes d'oligoéléments y sont ajoutées : Mn : 0,50; Cu : 0,04; B : 0,50; Mo : 0,02; Zn : 0,05; Fe : 2,50. Le fer est présent sous forme de complexe EDTA-K-Fe.

Compte tenu de l'apport de K^+ par le complexe ferrique, cette solution apporte les quantités suivantes d'éléments majeurs (en $\text{mEq}\cdot\text{l}^{-1}$) :

NO_3^- : 12,2; PO_4H_2^- : 1; SO_4^{--} : 7,3; NH_4^+ : 2,1; K^+ : 4,8; Ca^{++} : 8,1; Mg^{++} : 4,4.

La solution ainsi obtenue est à pH : 5. Elle est constamment aérée. Les renouvellements se font en général tous les 2 jours.

Mesures effectuées.

1. *Morphologie de croissance* : 6 plantes de chaque traitement sont récoltées aux stades de développement suivants : 3 feuilles, 5 feuilles, 7 feuilles. Le stade n feuilles est considéré comme atteint dès que la $(n + 1)^{\text{e}}$ feuille émerge du collet foliaire. Sur le lot récolté au stade 7 feuilles on mesure quotidiennement tout au long de l'expérience la longueur du limbe des 3^e, 4^e et 5^e feuilles (la mesure est faite à partir du point où la feuille émerge du cornet). Sur les plantes récoltées on sépare immédiatement, par une section en haut du rhizome, les parties aériennes des racines. Le grain est éliminé, le rhizome est joint aux racines. Après pesée de la matière fraîche, les plantes sont séchées à l'étuve à 80 °C pendant 48 heures pour obtenir le poids de matière sèche. Des dissections sont réalisées, sur des plantes non comprises dans les lots récoltés, pour permettre de repérer le stade auquel se produit l'initiation florale de l'apex dans chacun des trois traitements.

2. Dosage des éléments.

Les éléments suivants sont dosés dans la matière sèche : phosphore, potassium, calcium, magnésium. Le dosage des cations Ca^{++} et K^{+} est effectué par spectrophotométrie d'émission (photomètre de flamme); celui du cation Mg^{++} par spectrophotométrie d'absorption atomique; celui du phosphore total par spectrophotométrie du complexe jaune qu'il forme avec le nitro-vanadomolybdate d'ammonium.

Seuls seront présentés ici les résultats les plus importants. Leur ensemble est exposé en détail dans le diplôme d'Études Supérieures de Chaillou (12).

II. — RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

A. — *Morphologie, croissance et développement.*

Les feuilles des plantes du traitement 22/12 °C rougissent alors qu'aucune des plantes des deux autres traitements ne présente cette pigmentation. L'initiation florale de l'apex se fait avec une feuille de différence suivant les traitements; à

22/22 °C vers la fin du stade 4 feuilles; à 22/12 °C au début du stade 5 feuilles; à 12/12 °C au milieu du stade 5 feuilles. Les feuilles 3, 4 et 5 des plantes à 22/22 °C s'allongent beaucoup plus vite que celles à 12/12 °C. Le traitement 22/22 °C occupe une position intermédiaire (12). La vitesse d'allongement de la racine principale est plus grande à 22/22 °C qu'à 12/12 °C et surtout qu'à 22/12 °C (12). A nombre égal de feuilles, les racines principales les plus longues sont celles des plantes placées à 12/12 °C, les plus courtes sont celles du traitement 22/12 °C.

A un âge donné (24 j), les poids de récolte (matière fraîche) des plantes des traitements 22/12 °C et 12/12 °C sont toujours nettement inférieurs à ceux du traitement 22/22 °C: respectivement 12,5 % et 6,2 % (tableau I). Il en est de même pour les poids de matière sèche: respectivement 20 % et 6 % (tableau II). Cependant, à un stade donné (7 feuilles), bien que le traitement à 22/12 °C présente un poids de matière fraîche pratiquement semblable à celui à 22/22 °C (98 %), le poids de matière sèche est très supérieur (163 %), ce qui ne se produit pas à 12/12 °C. La faible teneur en eau des plantes cultivées à 22/12 °C explique ce résultat.

TABLEAU I

CROISSANCE PONDÉRALE. MATIÈRE FRAÎCHE
(exprimée en pour cent du poids de matière fraîche du témoin — 22/22 °C —
au stade 7 feuilles atteint au 24^e jour; 6 plantes par lot)

TRAITEMENT	22/ 22 °C	22/12 °C		12/12 °C	
Nombre de jours de culture (jours)	24	24	41	24	47
Stade (feuilles)	7	4	7	3,3	7
Parties aériennes	100	11,5	94	3,8	52
Racines	100	15,2	109	18,5	142
Plantes entières	100	12,5	98	6,2	69

Les tableaux I et II présentent les résultats obtenus sur les plantes entières, les parties aériennes et les racines et font apparaître la grande importance de développement des racines par rapport aux parties aériennes dans le traitement 12/12 °C.

TABLEAU II

CROISSANCE PONDÉRALE. MATIÈRE SÈCHE
(exprimée en pour cent du poids de matière sèche du témoin — 22/22 °C —
au stade 7 feuilles atteint au 24^e jour; 6 plantes par lot)

TRAITEMENT	22/ 22° C	22/12 °C		12/12 °C	
	Nombre de jours de culture (jours)	24	24	41	24
Stade (feuilles)	7	4	7	3,3	7
Parties aériennes	100	18	156	5	60
Racines	100	31	196	20	142
Plantes entières	100	20	163	6	72

B. — *Alimentation minérale des plantes.*

La figure 1 rassemble, pour les plantes des trois traitements, les résultats relatifs aux taux des éléments P, K, Ca et Mg dosés, dans les racines et les parties aériennes, aux stades 3, 5 et 7 feuilles.

Sauf dans le cas du potassium des parties aériennes, l'évolution en fonction du temps est la même pour les trois traitements.

Comparés à durée de traitement égal ou à stade égal, les taux du phosphore et du potassium dans les racines et les parties aériennes des plantes 22/12 °C sont toujours très inférieurs à ce qu'ils sont à 22/22 °C. Le calcul des quantités d'éléments absorbées par plante et rapportées à l'unité de temps et de masse pondérale des racines confirme ce que suggère les valeurs des taux : l'absorption de ces deux élé-

ments est considérablement réduite. La différence est moins marquée pour Mg, et surtout Ca, ce qui n'est pour surprendre étant donné ce qu'on sait des modalités d'absorption de cet élément.

Pour le traitement 12/12 °C, dans les racines, les taux des quatre éléments sont peu différents de ceux des témoins 22/22 °C; dans les parties aériennes, sauf pour le potassium, ils sont supérieurs. Ceci s'explique par la faible croissance pondérale de ces plantes (tableau I et II). En effet, le même calcul que précédemment montre qu'ici l'absorption est réduite par rapport au témoin dans les mêmes proportions que pour le traitement 22/12 °C.

Il apparaît donc nettement que la température du milieu racinaire est déterminante pour l'absorption et qu'une température de 12 °C à ce niveau la réduit fortement.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Chez les plantes cultivées avec refroidissement des racines (22/12 °C) il se manifeste par rapport aux plantes cultivées entièrement à 22/22 °C : un ralentissement de la vitesse d'apparition des feuilles et de la croissance pondérale. Cependant au stade 7 feuilles le poids de matière sèche total est plus important à 22/12 °C qu'à 22/22 °C. Ces résultats sont en bon accord avec ceux d'autres auteurs travaillant sur le Maïs (4, 5, 6, 7). La possibilité de comparer ces résultats avec ceux obtenus à 12/12 °C apporte des éléments nouveaux. En effet, lorsque toute la plante est placée à 12 °C la croissance et le développement des parties aériennes sont encore plus ralentis qu'avec un refroidissement unique des racines; mais la croissance pondérale des racines est presque la même. Il en résulte une diminution notable du rapport parties aériennes/racines à 12/12 °C par rapport à 22/12 °C. L'initiation florale de l'apex est peu dépendante de la température et se réalise aux environs du stade 5 feuilles pour les 3 traitements.

Il y a réduction de l'absorption (par mg de racines et par j) du phosphore, du potassium, du magnésium, et à un degré moindre du calcium chez les plantes dont les racines sont refroidies (22/12 °C) par rapport à 22/22 °C. Ce fait avait été observé précédemment (5, 9). Cependant un résultat original est obtenu en comparant les traitements à 22/12 °C et à 12/12 °C : les plantes dont seules les racines sont à basses

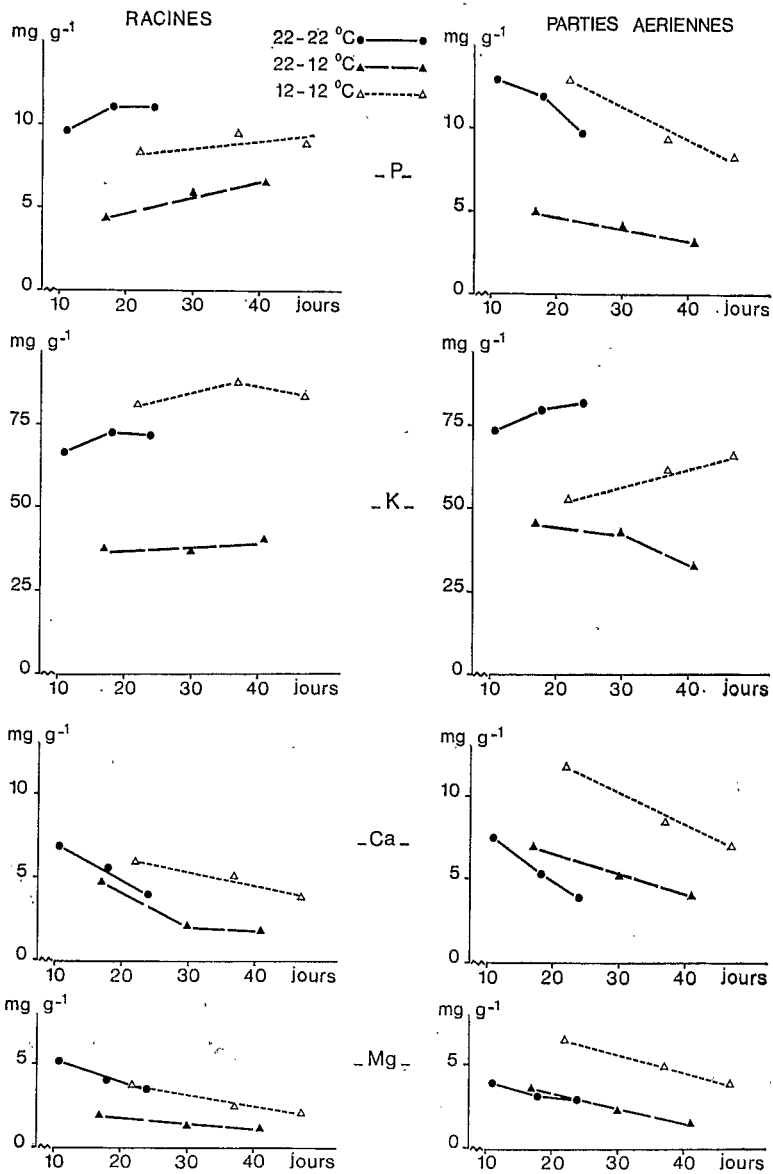


FIG. 1. — Taux des éléments dans les racines et les parties aériennes (exprimé en mg/g de matière sèche) en fonction du traitement, du temps et du stade de développement, le premier point correspond au stade 3 feuilles, le second au stade 5 feuilles, et le troisième au stade 7 feuilles

températures ont une absorption équivalente à celles placées entièrement à 12 °C. Or, ces plantes à 22/12 °C ont une croissance bien supérieure à celle des plantes à 12/12 °C. L'absorption à 22/12 °C n'a donc pas augmenté parallèlement à la croissance : il y a « dilution ».

Cette étude donne un aperçu de la complexité de l'action des températures relativement basses appliquées aux racines sur la croissance et le développement du Maïs. Pour expliquer ces faits, différentes hypothèses peuvent être proposées faisant intervenir le retentissement sur l'alimentation carbonée de la perturbation de l'alimentation minérale des plantes. Les glucides provenant de la photosynthèse ne seraient plus utilisés au rythme normal et s'accumuleraient dans la plante provoquant des troubles de l'activité photosynthétique (9). La racine est le siège de la synthèse de cytokinines dont la quantité peut être réduite. D'autre part, la température de l'apex de la tige proche du sol pourrait jouer un rôle très important comme le suggèrent les expériences de Kleinen-dorst et Brouwer (13) qui obtiennent une réduction notable de la croissance du Maïs par un refroidissement de l'apex seul.

Au point de vue agronomique, l'intérêt est de pouvoir accélérer la croissance du Maïs au stade jeune, particulièrement en sol froid. Cependant, les conclusions de cette étude effectuée sur un hybride précoce, corné, montrent que l'absorption minérale ne paraît pas être le facteur déterminant et que l'apport d'engrais pourrait être ainsi peu efficace. Cette hypothèse est confirmée par différents travaux (14, 15). Des cultures sous mulch de plastique qui permettent d'augmenter la température du sol sont très efficaces particulièrement en Champagne (16).

Laboratoire du Phytotron, C.N.R.S., 91190 GIF-SUR-YVETTE).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) CHAILLOU (S.). — Effet de températures basses appliquées au niveau des racines. Cas du Maïs. 1976, *Rapport dactylographié*, C.N.R.S. Gif, 29 pages.
- (2) BEAUCHAMP (E.-G.) et LATHWELL (D.-J.). — Root-zone temperature effects on the early development of maize. *Plant and Soil*, 1967, 26, 224-234.
- (3) WATTS (W.-R.). — « Soil temperature and leaf expansion in *Zea Mays* ». *Experimental Agriculture*, 1972, 9, 1.
- (4) GROBBELAAR (W. P.). — The growth of maize pretreated at various soil temperatures. *Jaarl I.B.S.*, 1962, 33-38.

- (5) GROBBELAAR (W. P.). — Response of young maize plants to root temperature. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen*, 1963, 63, 1-71.
- (6) CAMPBELL (J.). — The influence of low root zone temperatures on the growth and chemical composition of corn. Ph. D. Thesis, 1965, Cornell University Ithaca (New York), 190 pages.
- (7) BEAUCHAMP (E. G.) et LATHWELL (D. J.). — Effect of changes in root zone temperature on the subsequent growth and development of young corn plants. *Agro. J. (U.S.A.)*, 1967, 59, 189-193.
- (8) KETCHESON (J. W.). — Effect of controlled air and soil temperature and starter fertilizer on growth and nutrient composition of corn. *Field Crop Abstracts*, 1969, n° 1019.
- (9) COIC (Y.), LESAIN (C.) et LEROUX (F.). — Influence du refroidissement des racines sur l'absorption, le métabolisme des ions et l'équilibre anions-cations chez le Maïs. *Ann. Physiol. Vég.*, 1966, 8, 313-320.
- (10) JONES (J.) et MEDERSKI (J. R.). — Effect of soil temperature on corn development and yield. II. Studies with 6 inbred lines. *Soil Science Soc. Amer. Proceedings*, 1963, 27, 189-192.
- (11) BROUWER (R.), KLEINENDORST (A.) et LOCHER (J. Th.). — Growth responses of maize plants to temperature response to climatic factors, 1973, Edit. Slatyer U.N.E.S.C.O., Paris, 169-174.
- (12) CHAILLOU (S.). — Action d'une température relativement basse, 12 °C, sur la croissance et l'alimentation minérale du Maïs. Effets comparés d'une température de 12 °C appliquée soit à la plante entière soit aux racines seules. *D.E.S.*, 1976, Paris, 50 pages.
- (13) KLEINENDORST (A.) et BROWER (R.). — Effect of temperature of the root medium and of the growing point of the shoot on growth, water content and sugar content of maize leaves. *Netherland. Agric. Sci.*, 1970, 13, 140-148.
- (14) KETCHESON (J. W.). — Some effects of soil temperature on P requirements of young corn plants in the greenhouse. *Can. Soil Sci.*, 1957, 37, 41-47.
- (15) KNOLL (H. A.), BRADY (N. C.) et LATHWELL (D. J.). — Effect of soil temperature and P fertilization on the growth and P content of corn. *Agro. J. (U.S.A.)*, 1964, 56, 145-147.
- (16) BALLIF (J.-L.) et DUTIL (P.). — Effet d'un film de matière plastique sur la culture du Maïs en Champagne crayeuse. *C. R. Acad. Agric.*, 1971, 57, 286-302.