

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DU SYSTEME RADICULAIRE
DU BLE DUR (*Triticum durum* Desf.) EN CONDITIONS
D'ALIMENTATION HYDRIQUE NON LIMITANTES**

Par M. BEN LARIBI & P. GRIGNAC

E.N.S.A. - I.N.R.A., Chaire de Phytotechnie
Laboratoire de Blé, 34 060 MONTPELLIER-CEDEX
F R A N C E

R E S U M E

Le système racinaire de sept variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) est étudié en conditions hydriques non limitantes, sur sol reconstitué pendant les premières phases du cycles de la plante. Au cours de cette étude, il a été mis en évidence des différences de longueur, de nombre et de diamètre des racines.

A partir des résultats expérimentaux obtenus, nous avons procédé à un classement de tolérance à la sécheresse qui se superpose d'ailleurs, de façon globale, aux exigences pédo-climatiques des différente variétés.

Un tel résultat suggère l'existence d'un potentiel et d'une variabilité génétique du système racinaire qu'il convient d'exploiter pour créer des cultivars adaptés à la sécheresse.

Mots clés: Déficit hydrique, profil racinaire, extraction, tolérance, variabilité génétique, *Triticum durum* Desf.

ملخص

درس النظام الجذري لسبعة انواع من القمح الصلب في ظروف السقي غير المحددة، وعلى تربة تم اعدادها خلال الاطوار الاولى للنبتة. وخلال هذه الدراسة اتضح فروقا من حيث طول وعدد وقطر الجذور والنتائج المتحصل عليها من خلال هذه التجارب جعلتنا نضع في الحسبان مدى قدرة مواجهة هذه النباتات للجفاف ومتطلبات هذه الانواع من التربة المناخية.

ومما يكن فان النتائج المتحصل عليها تتطلب وجود قابلية التحول الوراثي للنظام الجذري والعلام للاستغلال، من اجل اشاء زروع مكيفة و ظروف الجفاف.

I N T R O D U C T I O N

Les observations et les expérimentations sur les racines, l'étude de leur comportement dans le sol, sont extrêmement difficiles. C'est la raison pour laquelle elles ont été relativement négligées pendant très longtemps, écrit DROUINEAU G. in CALLOT et al., (1982). Or, les racines ont de multiples fonctions (alimentation en eau et en éléments nutritifs, ancrage de la plante) qui interfèrent avec les autres fonctions de la plante et avec le milieu pédologique dans lequel elles vivent. En particulier, dans les zones possédant un déficit hydrique important, l'alimentation en eau par les racines devient la fonction primordiale qui régit l'ensemble de la physiologie de la plante et est le facteur limitant des rendements.

Les zones traditionnelles de culture du blé dur sont caractérisées par des déficits hydriques importants au cours du cycle de développement, aussi, le système racinaire des différentes variétés de blé dur devrait être bien connu. Or, nous constatons une grande carence en ce domaine.

En 1964, HURD étudia le système racinaire du blé du point de vue résistance à la sécheresse. Il expérimenta, à cet effet, trois variétés dans des loges à faces vitrées et inclinées. Cette technique lui a permis de dégager trois modèles de croissance, ce qui l'a aidé à expliquer les différences entre variétés.

L'étude de la morphogénèse du système racinaire de la même espèce a été abordé par GRIGNAC (1965) montrant l'origine du système séminal ainsi que l'influence des caractères morpho-anatomiques et du diamètre moyen des racines sur la résistance à la verse-physiologique.

BALDY (1973) a publié une analyse bibliographique qui synthétise les études de la période allant de 1921 avec la description du système racinaire du blé par PERCIVAL à 1971 où, cette partie de la plante a été soumise à l'effet des solutions salines et de polyéthylène-glycol par GERARD. A travers cette synthèse, l'auteur a présenté également les quatre techniques d'étude du système racinaire existantes jusqu'alors qui se résument en :

- 1.- Le prélèvement en conditions naturelles de monolithes de dimensions diverses et de volumes unitaires voisins du mètre cube.
- 2.- L'observation en place dans des récipients remplis de sol naturel contre une paroi inclinée, remplacés peu à peu par des rhizotrons.
- 3.- L'étude du système racinaire dans des pots remplis de terre reconstituée, de sable ou de solution nutritive.
- 4.- Enfin, l'emploi de traceurs radioactifs tels que ^{32}P , ^{86}Rb , ^{14}C , ^{15}N et $^3\text{H}_2\text{O}$ dont l'autoradiographie permet de suivre la migration.

Des études plus récentes ont montré l'existence d'une variabilité génétique chez l'espèce utilisée de même que celle d'un potentiel rhizogénétique spécifique non altéré par la carence hydrique (BALESTRINI et VARTANIAN, 1983). Ce qui permet le développement de nouvelles racines.

Alors que le développement du système racinaire résulte des contraintes qu'exerce le milieu sur chaque racine en particulier, la croissance et le fonctionnement sont l'oeuvre des apex (BOSC et al., 1985). Pour ces mêmes auteurs, le profil racinaire est la résultante des trois profils pédologique, climatique et hydrique.

Dans la caractérisation du système racinaire du maïs, TARDIEU et MANICHON (1986) classent en trois groupes les techniques d'étude au champ: le prélèvement d'échantillons, l'observation en continu à travers un tube transparent et les techniques de cartographie du système racinaire. Quant à BELFORD et HENDERSON (1984), ils proposent l'utilisation d'une caméra reliée à un écran télévisé pour suivre l'évolution du système racinaire durant toute la saison de croissance.

Les critères couramment utilisés pour caractériser un système racinaire sont:

1. Le nombre total, le nombre par catégorie et la longueur (BALESTRINI et VARTANIAN, 1983; HURD, 1964 et BRUNS et CROY, 1985; BELFORD et HENDERSON, 1984 et BOSC et al., 1985) respectivement.
- 2.- Le poids de matière fraîche ou de matière sèche (HURD, 1964; MEYER et GUINGRICH, 1966; BRUNS et CROY, 1985; BALDY, WELBANK et al., 1973).
- 3.- Le volume des racines (BRUNS et CROY, 1985).

Ces critères sont reliés tantôt à l'unité de temps, tantôt à l'unité de surface ou de volume de sol, tantôt à des facteurs physiques ou physiologiques tel que le potentiel de la solution du sol ou de la plante.

Le rapport en poids de la partie racinaire à la partie aérienne est également utilisé dans la caractérisation du système racinaire.

L'objectif essentiel de cette recherche est de dégager les différents types de systèmes radiculaires pendant les premières phases du cycle et d'étudier leur variabilité génétique en conditions d'alimentation hydrique non limitantes. Il s'agit ensuite de relier les résultats obtenus aux caractéristiques connues des différentes variétés. Enfin, un autre objectif sera, à partir d'états hydriques bien caractérisés, d'apprécier le degré de tolérance ou de résistance à la sécheresse et de dégager, s'il y a lieu, les corrélations existant entre partie aérienne et partie souterraine qui est plus difficile à observer sur un nombre élevé de lignées.

MATERIEL VEGETAL ET METHODES

A. MATERIEL VEGETAL

L'étude a été réalisée avec quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dont 5 sont d'origine algérienne:

- Bidi 17	:	variété N° 1
- Hedba 3	:	" N° 2
- Oued Zénati	:	" N° 3
- Polonicum	:	" N° 6
- Gam Goum Rekham	:	" N° 7

Une d'origine mexicaine

- Cocotit C 71 : Variété N° 4

Une d'origine tunisienne

- INRAT 69 : Variété N° 5

Ces variétés sont largement utilisées par les services de l'agriculture en raison de leur adaptation aux différentes conditions pédo-climatiques et économiques de l'Algérie.

Remarque: Dans la suite du texte et pour une raison de commodité, on désigne les variétés par leurs numéros respectifs.

B. METHODES EXPERIMENTALES

Les grain des sept variétés sont d'abord mis à germer, sur papier filtre, dans des boîtes de Pétri. Les plantules obtenues sont placées à raison de trois dans des pots en plastique de 15 cm de diamètre et 30 cm de profondeur dans des conditions de laboratoire caractérisées par une température minimale de 10°C la nuit et maximale de 20°C le jour. L'humidité relative est supérieure à 60%.

Le substrat utilisé est un mélange de terreau, de sol limono-argileux et de sable (1: 1 : 8 en poids). Cette composition a été particulièrement retenue pour trois raisons: structurer le substrat, faciliter l'extraction des racines et alimenter les plantes à partir de la matière organique très décomposée. Ce type de sol reconstitué se caractérise par une très faible capacité de rétention qui est voisine de 15% du poids sec du sol.

Pour une photopériode de 13 heures, l'éclairage, mesuré à la surface des pots, est de 20 000 lux soit 80 W/m². Il est assuré par des lampes de 400 Watts et des tubes fluorescents.

L'humidité du sol est maintenue entre 50 et 75% de la capacité de rétention par des arrosages fréquents.

C. METHODES ANALYTIQUES

Des critères simples ont été utilisés pour caractériser le système racinaire des variétés étudiées, ce sont:

- le nombre de racines à 1 cm du plateau de tallage;
- le diamètre de la plus grosse racine à 1 cm du plateau de tallage;
- la longueur de la racine principale;
- le rapport R/A ou $\frac{\text{matière sèche racinaire}}{\text{matière sèche aérienne}}$

Les premières mesures ont été réalisées 45 jours après la mise en place des plantules dans les pots (à 3 feuilles étalées). Les autres mesures se sont succédées à des intervalles de 15 jours.

R E S U L T A T S

A . DIMENSIONS DES RACINES

Les résultats relatifs à la longueur, au nombre et au diamètre des racines présentés aux tableaux 1,2 et 3 indiquent que l'évolution du système racinaire chez le blé dur suit une cinétique variable en fonction des variétés.

Les valeurs des trois critères cités, reliées au temps permettent de dégager trois ensembles de variétés pour chacun.

1.1. LA LONGUEUR

Pour V₁ et V₇, un faible allongement est observé entre le 45^e et le 60^e jour. Il continue, mais de façon rapide entre le 60^e et le 75^e jour après quoi il diminue pour se stabiliser entre 83% du niveau le plus élevé et 145% du niveau le plus bas en moyenne.

Tableau 1 : Longueur de la racine principale en cm (moyenne \pm écart type)* en mm

VARIETES TEMPS (J)	Stades phénologiques	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
45	3 feuilles étalées	21,96 \pm 6,45	19,90 \pm 5,76	20,20 \pm 4,70	22,4 \pm 7,21
60	4 Feuilles étalées	23,5 \pm 7,88	21,00 \pm 4,71	23,44 \pm 8,41	21,61 \pm 9,58
75	6 Feuilles étalées	36,00 \pm 11,13	30,33 \pm 8,91	26,81 \pm 10,29	28,11 \pm 7,60
90	7 Feuilles étalées	30,44 \pm 7,05	31,94 \pm 8,70	33,27 \pm 11,47	27,94 \pm 11,74

Tableau 1 : (suite)

VARIETES TEMPS (J)	Stades phénologiques	V ₅	V ₆	V ₇
45	3 feuilles étalées	18,93 ± 5,01	22,3 ± 4,82	21,9 ± 5,34
60	4 Feuilles étalées	29,77 ± 8,59	30,94 ± 4,56	23,16 ± 2,97
75	6 Feuilles étalées	22,83 ± 5,51	28,77 ± 7,33	39,11 ± 11,00
90	7 Feuilles étalées	32,83 ± 10,33	35,12 ± 13,80	32,55 ± 9,20

* moyenne de 9 répétitions

Tableau 2 : Nombre de racines par plante à 1 cm de plateau de tallage (moyenne \pm écart type)*

TEMPS (J)	VARIETES Stades phénologiques	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
45	3 Feuilles étalées	6,40 ⁺ 1,40	5,20 ⁺ 0,97	5,40 ⁺ 1,26	5,90 ⁺ 1,07
60	4 Feuilles étalées	6,77 ⁺ 0,97	6,00 ⁺ 0,70	6,66 ⁺ 1,00	7,11 ⁺ 0,78
75	6 Feuilles étalées	8,22 ⁺ 1,48	7,00 ⁺ 1,58	7,10 ⁺ 1,24	6,66 ⁺ 2,06
90	7 Feuilles étalées	7,55 ⁺ 1,33	8,11 ⁺ 1,17	7,44 ⁺ 0,54	8,33 ⁺ 1,22

Tableau 2: (Suite)

VARIETES TEMPS (J)	Stades phénologiques	V ₅	V ₆	V ₇
45	3 Feuilles étalées	5,57 [±] 0,93	5,60 [±] 1,08	5,57 [±] 1,09
60	4 Feuilles étalées	7,00 [±] 1,17	6,77 [±] 1,43	6,33 [±] 1,58
75	6 Feuilles étalées	6,66 [±] 1,00	7,66 [±] 1,22	7,66 [±] 1,66
90	7 Feuilles étalées	7,77 [±] 1,30	7,11 [±] 1,78	7,11 [±] 1,45

* moyenne de 9 répétitions

Tableau 3: Diamètre de la plus grosse racine à 1 cm du plateau de tallage (moyenne \pm écart type)* en mm

TEMPS (J)	Stades phénologiques	varietes			
		V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
45	3 feuilles étalées	0,57 \pm 0,10	0,53 \pm 0,11	0,57 \pm 0,12	0,60 \pm 0,07
60	4 feuilles étalées	0,59 \pm 0,17	0,43 \pm 0,04	0,50 \pm 0,09	0,63 \pm 0,08
75	6 feuilles étalées	0,65 \pm 0,09	0,61 \pm 0,15	0,57 \pm 0,12	0,53 \pm 0,13
90	7 feuilles étalées	0,59 \pm 0,12	0,65 \pm 0,16	0,56 \pm 0,08	0,63 \pm 0,15

Tableau 3 : (Suite)

VARIETES TEMPS(J)	Stades phénologiques	V ₅	V ₆	V ₇
45	3 feuilles étalées	0,58 [±] 0,09	0,56 [±] 0,06	0,60 [±] 0,10
60	4 feuilles étalées	0,61 [±] 0,12	0,62 [±] 0,12	0,56 [±] 0,19
75	6 feuilles étalées	0,56 [±] 0,10	0,62 [±] 0,18	0,61 [±] 0,14
90	7 feuilles étalées	0,69 [±] 0,13	0,68 [±] 0,14	0,58 [±] 0,12

* moyenne de 9 répétitions

Les variétés V₂, V₃ et V₄ présentent un faible allongement durant toute la période d'étude avec des valeurs légèrement supérieures, à chaque fois, aux précédentes.

Le troisième groupe composé de V₅ et V₆, se caractérise par un fort allongement suivi par un ralentissement entre le 60^e et le 75^e jour. Une croissance moins prononcée est rencontrée pendant la période suivante.

Il faut noter que, selon LU et al., (1985), la croissance en longueur des racines se fait suivant une fonction logarithmique.

1.2. LE NOMBRE DES RACINES

Le même phénomène est observé, sur le nombre de racines par plante à un cm du plateau de tallage, avec une nouvelle distribution des variétés sur les trois groupes qui se composent comme suit:

- Premier groupe : V₁ ; V₆ et V₇
- Deuxième groupe : V₂ et V₃
- Troisième groupe: V₄ et V₅

1.3. LE DIAMETRE DES RACINES

Il se dégage trois groupes également, mais avec des variations moins prononcées que chez les deux critères précédents, ce sont:

- Premier groupe : V₁; V₃ et V₇
- Deuxième groupe : V₄; V₅ et V₆
- Troisième groupe : V₂

B. LE RAPPORT $\frac{R}{A}$

Les valeurs calculées du rapport $\frac{R}{A}$ ou masse de la matière sèche des racines par rapport à la masse de la matière sèche des parties aériennes sont plus élevées au stade 3 feuilles. Elles diminuent de moitié au stade 4 feuilles. Au delà, la diminution est faible et progressive (Tableau 4).

DISCUSSION

Afin de caractériser correctement le système racinaire du blé, il faut suivre sa croissance et son développement dans des conditions de culture qui répondent à deux exigences principales à savoir:

- Permettre l'extraction, la récupération et les mesures nécessaires;
- se rapprocher autant que possible des conditions naturelles de plein champ particulièrement du point de vue contraintes physiques du sol pour l'enracinement.

Les résultats de cette étude tant du point de vue longueur, nombre que diamètre des racines révèlent une variabilité entre les différents géotypes. A noter que de grandes variations dans la taille et la structure des racines, ainsi que dans le rapport $\frac{R}{A}$ ont été observées par AGAMI et WAISEL (1986). $\frac{R}{A}$

A la lumière de résultats obtenus dans d'autres conditions (essai en serre de l'E.N.S.A. - I.N.R.A. de Montpellier, tableau V, caractérisé en particulier par une température oscillant entre 12 et 25°C et une humidité relative variant entre 50 et 90%) il se dégage une meilleure expression des potentialités des plantes. Ces nouvelles conditions ont favorisé aussi bien la longueur que le nombre de racines. Elles ont joué au profit de la masse aérienne plutôt qu'en faveur de la masse racinaire entraînant aussi une réduction du rapport $\frac{R}{A}$, particulièrement au début du cycle. $\frac{R}{A}$

Tableau 4 : Valeurs du rapport $\frac{R}{A}$ (moyenne \pm écart type) *

TEMPS (J)	VARIETES Stades phénologiques	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
45	3 feuilles étalées	0,31 [±] 0,06	0,37 [±] 0,09	0,36 [±] 0,08	0,36 [±] 0,05
60	4 feuilles étalées	0,17 [±] 0,06	0,13 [±] 0,03	0,16 [±] 0,05	0,14 [±] 0,04
75	6 feuilles étalées	0,14 [±] 0,08	0,14 [±] 0,04	0,14 [±] 0,04	0,13 [±] 0,04
90	7 feuilles étalées	0,08 [±] 0,03	0,10 [±] 0,07	0,09 [±] 0,04	0,08 [±] 0,03

Tableau 4 : (Suite)

VARIETES TEMPS(J)	Stades phénologiques	V ₅	V ₆	V ₇
45	3 feuilles étalées	0,35 ⁺ 0,09	0,35 ⁺ 0,05	0,32 ⁺ 0,06
60	4 feuilles étalées	0,21 ⁺ 0,09	0,19 ⁺ 0,05	0,16 ⁺ 0,06
75	6 feuilles étalées	0,12 ⁺ 0,08	0,16 ⁺ 0,03	0,19 ⁺ 0,04
90	7 feuilles étalées	0,08 ⁺ 0,04	0,10 ⁺ 0,03	0,12 ⁺ 0,04

* moyenne de 9 répétitions

Tableau 5 : Résultats obtenus dans les conditions de serre (E.N.S.A. - I.N.R.A. MONTPELLIER)

VARIETES TEMPS (J)	STADES PHENOLOGIQUES	V ₁	V ₂	V ₄	V ₇	V ₉ [*]
		45	6 feuilles étalées	40.00	40.00	54.00
59	Dernière feuilles (7 à 9 feuilles)	57.50	53.00	53.50	60.00	56.00

a. Longueur en cm (moyenne de 2 plantes)

VARIETES TEMPS(J)	STADES PHENOLOGIQUES	V ₁	V ₂	V ₄	V ₇	V ₉ [*]
		45	6feuilles étalées	13.50	11.00	10.50
59	Dernière feuille ,7 à 9 feuilles	16.00	13.00	11.50	14.50	17.00

b. nombre de racines (moyenne de 2 plantes).

VARIETES Temps (j)	STADES PHENOLOGIQUES	V ₁	V ₂	V ₄	V ₇	V ₉ *
		45	6 feuilles étalées	0.19	0.27	0.17
59	Dernière feuille (7 à 9 feuilles)	0.12	0.16	0.12	0.13	0.20

c. rapport $\frac{R}{A}$ (moyenne de 2 plantes)

* V₉ / Variété Clairdoc, n'ayant pas fait l'objet du premier essai, a été introduite dans le deuxième. Elle présente la particularité de donner un nombre de racines et un rapport $\frac{R}{A}$ élevés par rapport aux autres variétés.

Par ailleurs, les valeurs se rapportant à la longueur et au nombre de racines sont en concordance avec celles avancées par SINGH et DASTANE (1970) sur blé en conditions tropicales et qui sont:

5,2 racines par plante à 15 jours, chacune ayant 18 à 22 cm
 5,4 racines par plante à 25 jours, chacune ayant 28 à 40 cm
 6,1 racines par plante à 40 jours, chacune ayant 49 à 64 cm

HURD (1964) donne les moyennes suivantes du nombre de racines pour deux variétés de blé tendre et une variété de blé dur cultivées en deux dates.

DATES \ VARIETES	BLE TENDRE		BLE DUR
	Thatcher	Cypress	Pelissier
A.	11.0	9.5	9.0
B	11.7	7.7	8.5

Elles sont légèrement supérieures à celles obtenues dans l'étude présente.

Le rôle considérable de la racine quant à l'alimentation de la plante en eau, particulièrement pendant certaines périodes de sécheresse et dans certaines régions du globe, donne à penser qu'un système racinaire caractérisé par:

- une longueur importante donc explorant profondément le sol;
- un nombre élevé de racines partant directement du plateau de tallage permettant donc de drainer le maximum d'eau du sol;
- un diamètre assez grand de ces racines faisant circuler un flux xylémique important à la fois; constitue l'idéal pour plante qui est cultivée sous une gamme très variée de conditions écologiques.

Cependant, CALLOT et al., (1982) observent chez le maïs que:

- l'absorption diminue avec l'âge de la racine;
- l'absorption d'eau, particulièrement, est plus importante dans les parties basales des racines que dans les parties distales;
- le cinquième des racines uniquement peut satisfaire aux besoins de la plante.

Par ailleurs, le classement suivant, établi sur la base des valeurs extrêmes des tableaux 1, 2, 3 et 4 et présentant l'ordre décroissant de prémunition des différentes variétés à la sécheresse, se superpose à une variété près (V_1) aux exigences, de ces cultivars, avancées par les services de l'agriculture du pays.

Classement: $V_6 > V_2 \equiv V_1 > V_5 > V_7 > V_4 > V_3$

Zones de culture des variétés sans V_7 (projet céréales, 1974) in BEN LARIBI (1984).

VARIETES		Zones de culture de la plus arrosée à la plus aride
BIDI 17	V_1	Littoral et sub-littoral entre 500 et 700 mm de pluie Nord constantinois
O.ZENATI 368	V_3	Littoral et sub-littoral entre 500 et 700mm de pluie Nord constantinois-Nord de Sétif
INRAT 69	V_5	Littoral et sub-littoral entre 500 et 700mm de pluie en concurrence avec Bidi 17 et O. Zénati 368
COCORIT C-71	V_4	* Sub-littoral et plaines chaudes de l'intérieur entre 500 et 700mm Le Chélif
HEDBA 3	V_2	Hauts plateaux entre 400 et 500mm de pluie Sidi Bel Abbes - Sétif - Constantine
POLONICUM	V_6	Hauts plateaux entre 400 et 500 mm, Oran - Tiaret - Sétif: zone la plus aride

* Exception au classement: Cocorit C-71, mais, variété très précoce.

Enfin, cette étude sur le système racinaire nous a conduit à déboucher sur une variabilité génétique entre les diverses variétés qu'il convient d'exploiter pour créer des cultivars ayant rapidement un système racinaire permettant à la plante de bien coloniser le sol, donc, de bien utiliser l'eau.

Il convient de souligner, au passage, qu'une étude complémentaire, visant à déterminer de façon aussi précise que possible la réaction du système racinaire au déficit hydrique ainsi que les relations avec certains caractères variétaux, est actuellement en cours.

B I B L I O G R A P H I E

- AGAMI (M.) et WAISEL (Y.).- The ecophysiology of roots of submerged vascular plants. *Physiol. Vég.*, 24. 1986. pp 607 - 624.
- BALD (C.).- Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum sp.*) *Ann. Agron.*, 24 (2). 1973. pp 241 - 276.
- BALESTRINI (S.) et VARTANIAN (N.).- Rhizogenic activity during water stress-induced senescence in *Brassica napus* var. *oleifera*. *Physiol. vég.*, 21 (2). 1983. pp 269 - 277.
- BELFORD (R.K.) et HENDERSON (F.K.G.).- Measurement of the growth of wheat roots using a T.V. camera system in the field. In wheat growth and modelling. Day W. and ATKIM (R.K.) Ed. Plenum Press. 1984. pp 99 - 105.
- BEN LARIBI (M.).- Facteurs de productivité chez six variétés de blé dur (*Triticum durum*) Cultivées en Algérie. Thèse de Magister, I.S.N., Université de Constantine. 1984. 111 p.
- BOSC et al. - Fonctionnement des racines dans le profil du sol. Cultivar-Spécial sols et sous-sols. N° 184. 1985. pp 17 - 24.

- BRUNS (H.S.) et GROU (L.I.).- Root volume and root weight measuring system for wheat cultivars. Cereal research communications. Vol. 13, N° 2 - 3 . 1985. pp 177 - 183.
- CALLOT (G.) et al.- Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. FRA., Paris: I.N.R.A. 1982. 325 p.
- GRIGNAC (P.).- Contribution à l'étude de **Triticum durum** Desf. Thèse de Docteur es-sciences naturelles à la faculté des sciences de l'Université de Toulouse. 1965. 152 p.
- HURD (E.A.).- Root study of three wheat varieties and their resistance to drought and damage by soil cracking Can. J. Plant Sci. Vol. 44. 1964. pp 240 - 248.
- LU (N.) et al. - Prélèvement du phosphore et caractéristiques de croissance des racines de blé. J. Plant. Nutri. 8 (5). 1985. pp 449 - 456.
- MEYER (R.E.) et GINGRICH (J.R.).- Osmotic stress effects on wheat using a split root solution culture system. Agron. J. Vol. 58. 1966. pp 377 - 381.
- SINGH(N.P.) et DASTANE (N.G.).- Root growth characters and water use patterns of different wheat varieties. Indian J. Agric. Sci., 15. 1970. pp 346 - 349.
- TARDIEU(F.) et MANICHON (H.).- Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. I-Discussion des critères d'étude. Agronomie. 6(4). 1986. pp 345 - 354.
- WELBANK et al.- Root growth of cereal crops. Rep. Rothamsted. Exp. Sta. 1973. pp 26 - 66.