

VARIABILITE GENETIQUE DE LA CROISSANCE RACINAIRE CHEZ QUELQUES ESPECES DU GENRE AVENA

C. AL FAIZ¹
J. COLLIN²
A. COMEAU³

SUMMARY

Root growth of 22 wild oat accessions and 2 cultivated oats (Ogle and Lamar) was studied using a hydroponic system in a controlled environment. An important genetic variability was found between and within species for the following characters: root length at 20 and 38 days after sowing, root growth rate and the root:shoot ratio. Most of the *Avena sterilis* and some *A. occidentalis* showed high rates of root growth. *A. sterilis* CAV3604 had twice root length and root growth rate than the cultivated *A. sativa* cv. Ogle. The wide genetic variability demonstrated here in limited number of genotypes, indicates the need for further characterisation of root biodiversity in wild genotypes. Interspecific crosses could potentially improve drought tolerance in difficult climates such as in Morocco, as rapid root growth rate has a good adaptive value in semi-arid areas.

Key words: Oat, drought, selection, root growth, genetic variability.

RESUME

La croissance racinaire de 22 accessions appartenant au genre *Avena* et de 2 avoines cultivées (Lamar et Ogle) a été étudiée en culture hydroponique, sous conditions contrôlées. L'étude a montré qu'il existe une importante variabilité entre les espèces et à l'intérieur de chacune des espèces pour les paramètres suivants: la longueur racinaire mesurée à 20 et à 38 jours après le semis, la vitesse d'élongation racinaire et le rapport racine:tige. Ce sont surtout des accessions appartenant à l'espèce *Avena sterilis* et à quelques *A. occidentalis* qui ont montré les plus fortes valeurs concernant les paramètres susmentionnés. Ainsi le génotype d'*A. sterilis*, CAV3604, a montré presque le

¹ INRA/Programme Fourrages, B.P. 415, Rabat, Maroc

² Département de Phytologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada, G1K 7P4

³ Agriculture Canada, Station de Recherches, 2560, Hochelaga, Sainte-Foy, Québec, Canada, G1V 2J3

double des valeurs observées chez le cultivar d'avoine Ogle. La variabilité montrée ici sur un nombre assez restreint de génotypes, montre tout l'intérêt à poursuivre la caractérisation de la biodiversité racinaire chez les espèces sauvages. Les croisements interspécifiques ont un potentiel certain pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse dans des climats difficiles comme celui du Maroc. En effet des critères, comme la croissance rapide des racines aurait une bonne valeur d'adaptation en climats semi arides.

Mots clés: Avoine, sécheresse, sélection, croissance racinaire, variabilité génétique.

INTRODUCTION

Deux types de racines caractérisent le système racinaire des céréales: les racines séminales et les racines adventives. Les racines séminales sont les premières qui se forment, croissent en profondeur et sont plus fines et très ramifiées (Gardner *et al.* 1985). Leur nombre est génétiquement fixé et varie en général de 3 à 8 (Mac Key 1978; Gorny et Larsson 1989). Les racines adventives sont plus grosses et se développent surtout dans les horizons supérieurs (Mac Key 1978). L'importance du système racinaire adventif est toutefois très influencée par l'environnement et le tallage (Mac Key 1973; O'Brien 1979; O'Toole et Bland 1987). En conditions sèches, les racines adventives ne se forment pas, et ce sont les racines séminales qui assurent l'alimentation de la plante (Passioura 1983). Le progrès génétique des dernières années, réalisé en grande partie sous climat humide a augmenté la proportion des racines adventives (Larsson et Gorny 1988). Ceci a donc eu des retombées négatives sur l'adaptation aux climats semi-arides. La sélection de variétés à haute proportion en racines séminales devient une nécessité pour améliorer l'adaptation aux climats arides à semi-arides.

Très peu de travaux de sélection ont véritablement touché l'aspect racinaire. La difficulté technique de l'étude directe des racines est l'une des principales causes. Parmi les rares travaux de sélection ayant abouti à des résultats concrets, citons ceux de Hurd (1974) qui a inclus un parent à enracinement profond dans ses croisements et a pu obtenir des variétés de blé qui tolèrent mieux la sécheresse. Par ailleurs une grande variabilité génétique des caractéristiques morphologiques et anatomiques des racines semble exister chez les céréales (Passioura 1983). Chez l'orge (Wahbi et Gregory 1989) et chez le blé (O'Brien 1979; Motzo *et al.* 1993) cette variabilité a été démontrée. Récemment, Grando et Ceccarelli (1994) ont montré une différence importante entre des orges cultivées (variétés modernes et locales) et des orges sauvages (*Hordeum spontaneum*), pour la morphologie, la longueur et le nombre des

racines séminales, et les racines séminales plus longues des variétés locales ont été associées à la résistance à la sécheresse.

En ce qui concerne l'avoine, la diversité génétiques chez le genre *Avena*, dont plusieurs espèces sont croisables à l'avoine, permet de songer au potentiel existant pour améliorer le système racinaire des types cultivés disponibles, et dont la plupart a été sélectionnés en climats humides. Les études pour la caractérisation de la biodiversité racinaire accusent en effet un grand retard comparativement à celles faites sur les parties aériennes. Le but de la présente étude est d'évaluer la croissance racinaire d'un certain nombre de génotypes d'avoine sauvage et cultivée.

MATERIEL ET METHODES

Le matériel génétique utilisé a été constitué d'une collection contenant 22 accessions d'avoine sauvage dont 13 *A. sterilis*, 3 *A. occidentalis*, 3 *A. maroccana* et 3 *A. longiglumis*, et de 2 cultivars d'avoine cultivée (*A. sativa*): Ogle et Lamar. Les gaines ont été désinfectées à l'hypochlorite de sodium 20% pendant 10 minutes, puis mises en germination dans de petits cubes de laine de roche (Oasis rootcubes growing media, # 5000, Smither-Oasis, USA) à la température ambiante.

Au stade coléoptile, des plantes individuelles, uniformes et vigoureuses ont été choisies et montées sur un appareil permettant l'alimentation par une solution hydroponique, qui consistait en une solution de Hoegland légèrement modifiée (Al Faïz *et al.* 1994). L'appareil hydroponique qui fonctionnait à débit intermittent (5 min toutes les demi heures), a été installé dans une grande chambre de croissance où photopériode et température ont été respectivement réglées à 16 heures et 20°C. La solution hydroponique a été renouvelée chaque semaine. Le pH a été vérifié quotidiennement et ajusté entre 6,0 et 6,5. La conductivité électrique variait de 1 à 2 mSiemens et la température de la solution fluctuait entre 20°C et 26°C.

Les plantes ont été disposées selon un dispositif complètement aléatoire à 2 répétitions. Vingt jours après le semis, une première lecture de la longueur racinaire a été effectuée, suivie de 6 autres lectures espacées de 3 jours chacune. Les lectures des longueurs racinaires ont été directement relevées en mesurant à la règle, la distance entre le collet et l'apex racinaire, à travers les tubes de plexiglass transparents dans lesquels poussent les racines. Au 38^e jour après le semis (JAS), les tiges et les racines ont été prélevées et pesées séparément.

RESULTATS

Quatre paramètres ont été retenus pour l'étude de la croissance racinaire:

- La longueur racinaire à 20 JAS;
- la longueur racinaire à 38 JAS;
- la vitesse de la croissance racinaire;
- le rapport racine:tige.

La longueur racinaire mesurée à 20 JAS exprime la capacité d'enracinement précoce, l'une des caractéristiques les plus recherchées pour la tolérance à la sécheresse. Elle présente ici une variation très importante puisque les valeurs varient entre 15 cm et 30 cm (Figure 1, Tableau 1). Cette variation semble importante à l'intérieur de chaque espèce et entre les espèces. De toutes les espèces étudiées, ce sont surtout les *A. sterilis* qui ont montré les plus grandes valeurs. Des valeurs plus faibles ont été observées chez les autres espèces, particulièrement chez *A. longiglumis*, *A. maroccana* et chez le cultivar Ogle.

La longueur racinaire à 38 JAS représente la profondeur des racines, à un stade qui se situe entre la fin montaison et le début d'épiaison. Là aussi, une grande variabilité existe, aussi bien entre les espèces qu'au sein de chacune des espèces (Figure 1, Tableau 1). Les plus hautes valeurs sont observées encore chez l'espèce *A. sterilis*, où l'une des accessions (CAV 3604) a atteint la valeur de 108 cm de profondeur d'enracinement. Chez l'espèce *A. occidentalis*, des valeurs élevées ont été également observées, alors que chez les espèces *sativa*, *longiglumis* et *maroccana*, les longueurs racinaires se situaient entre 56 et 83 cm. La longueur la plus faible a été notée chez le cultivar Ogle et l'accession CC7247/1 avec respectivement 58 et 56 cm.

La vitesse d'enracinement a été calculée du 20^e jour au 38^e JAS. Les valeurs observées varient en général entre 2,4 et 4,4 cm/jour (Tableau 1). Ces valeurs montrent une biodiversité à exploiter, particulièrement chez l'espèce *A. sterilis* et en partie chez *A. occidentalis*. La figure 2 illustre l'évolution de la croissance racinaire des individus de chaque espèce qui ont présenté la meilleure et la plus faible croissance racinaire. On constate clairement le rythme de croissance supérieur des espèces *A. sterilis* et *A. occidentalis* comparé à celui bien plus lent des espèces *A. longiglumis* et *A. maroccana*. Les deux cultivars chez l'espèce cultivée *A. sativa* ont présenté un rythme de croissance racinaire moyen.

Les valeurs des rapports racine:tige calculés sur la biomasse humide, sont très élevées, particulièrement chez les espèces sauvages (Tableau 1). Ces valeurs dont la plupart sont supérieures ou égales à 1, semblent très élevées par rapport à celles observées pour les types cultivés qui ne dépassent pas 0,5.

Tableau 1: Croissance racinaire de différentes accessions d'espèce *Avena*

Génotype	Espèce	Génome ¹	Longueur des racines à 20 JAS ² (cm)	Longueur des racines à 38 JAS ² (cm)	Vitesse d'enracinement ³ (cm/jour)	Rapport racine/tige
AV 89-203	<i>longiglumis</i>	AIAI	15.9 ab	67.2 abc	2.85 abcd	1.46 i
AV 89-066	<i>longiglumis</i>		18.3 abcd	65.2 ab	2.61 abc	1.27 ghi
AV 89-206	<i>longiglumis</i>		20.6 abcde	82.6 bcdefg	3.45 defgh	1.81 j
CC7247/1	<i>maroccana</i>	AACC	13.7 a	55.9 a	2.35 a	1.12 defg
CAV 3913	<i>maroccana</i>		15.3 ab	71.7 abcd	3.14 abcdef	1.47 i
AV 89-004	<i>maroccana</i>		27.9 defgh	78.2 bcdef	2.79 abcd	1.02 bcde
CAV 3895	<i>occidentalis</i>	AACCDD	17.2 abc	74.6 abcde	3.20 cdef	0.84 b
CAV 3889	<i>occidentalis</i>		21.5 abcdef	80.5 bcdefg	3.28 cdef	1.45 hi
CAV 3907	<i>occidentalis</i>		26.3 cdefgh	104.8 hi	4.36 j	0.89 bc
Ogle	<i>sativa</i>	AACCDD	14.7 ab	57.5 a	2.38 ab	0.35 a
Lamar	<i>sativa</i>		23.4 abcdefg	74.4 abcde	2.84 abcd	0.45 a
AV 89-155	<i>sterilis</i>	AACCDD	14.4 a	90.2 defghi	4.21 ij	0.91 bc
CC7188/2	<i>sterilis</i>		15.2 ab	83.7 bcdefg	3.81 fghij	0.99 bcde
AV 89-017	<i>sterilis</i>		18.5 abcd	74.0 abcde	3.09 abcdef	1.05 cdef
CAV 1514	<i>sterilis</i>		19.8 abcde	81.5 bcdefg	3.43 defgh	1.04 bcdef
AV 89-034	<i>sterilis</i>		19.9 abcde	88.0 defgh	3.79 fghij	1.17 efg
AV 89-052	<i>sterilis</i>		20.4 abcde	78.8 bcdef	3.25 cdef	0.98 bcde
CAV 1981	<i>sterilis</i>		20.7 abcde	93.4 efghi	4.04 ghij	1.00 bcde
CAV 1516	<i>sterilis</i>		21.3 abcde	75.0 abcde	2.98 abcde	0.90 bc
CAV 3602	<i>sterilis</i>		24.5 bcdefgh	99.3 ghi	4.16 hij	0.98 bcde
CAV 1604	<i>sterilis</i>		26.4 cdefgh	86.7 cdefgh	3.35 cdefg	0.88 bc
CAV 3604	<i>sterilis</i>		29.3 efgh	107.9 i	4.37 j	0.95 bcd
AV 89-061	<i>sterilis</i>		31.3 efgh	96.7 fghi	3.64 efghij	1.25 gh
AV 89-231	<i>sterilis</i>		31.9 gh	95.2 fghi	3.52 defghi	1.23 fg

¹ Selon Baum (1977).

² Longueur racinaire mesurées à 20 et à 38 jours après le semis.

³ Vitesse de croissance racinaire mesurée entre le 20ème et le 38ème jour après le semis.

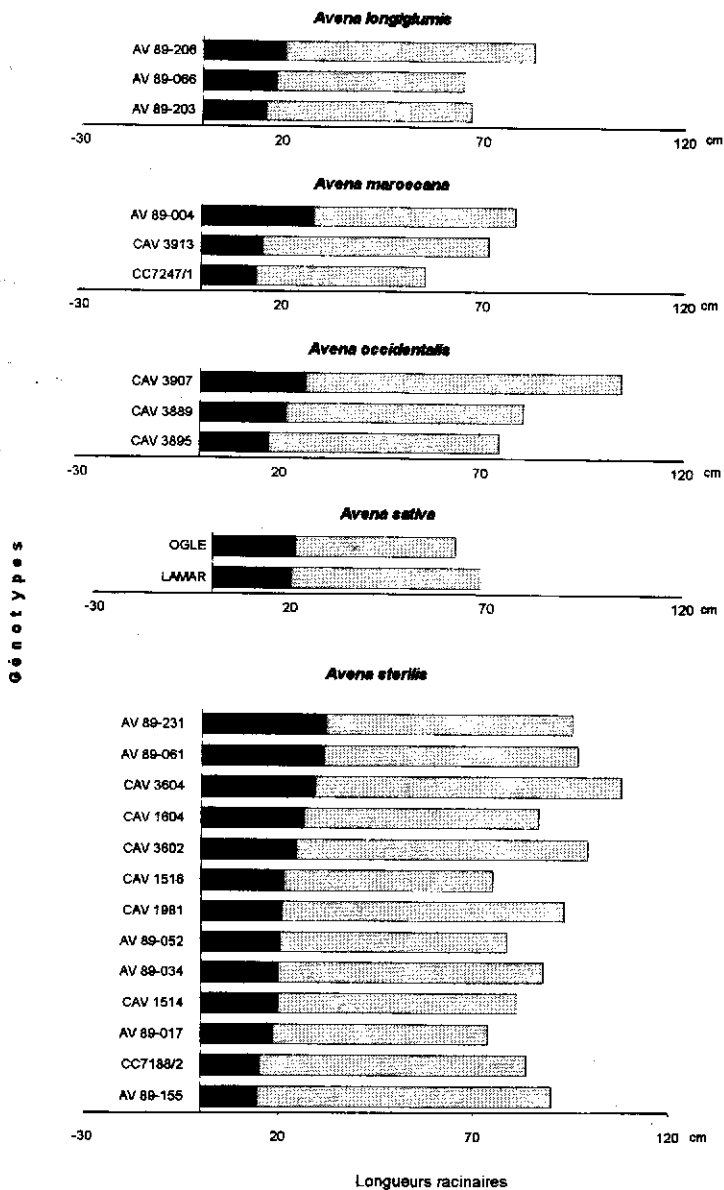


Figure 1: Longueurs racinaires à 20 (noir) et 38 (gris) jours après le semis, chez quelques espèces du genre *Avena*

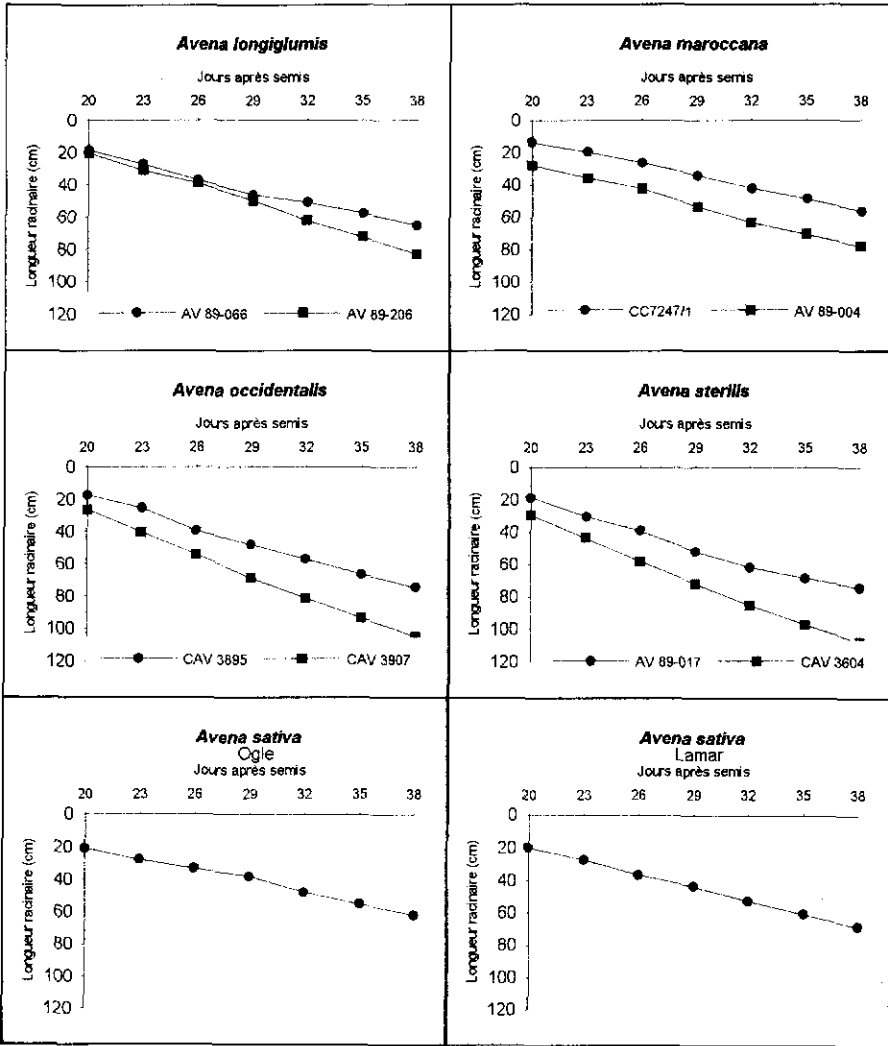


Figure 2: Evolution de la croissance racinaire entre le 20 et le 38ème jour après le semis, chez quelques espèces du genre *Avena*

DISCUSSION

La variabilité observée pour l'aptitude à développer rapidement des racines (Figure 1, tableau 1), particulièrement chez *A. sterilis*, espèce facilement croisable avec l'avoine cultivée, montre qu'il existe un potentiel important pour améliorer ce caractère chez des types cultivés. La croissance rapide d'un système racinaire permet en effet une installation rapide des plantes et donc une couverture rapide du sol, contribuant à la fois à la réduction de l'évaporation de l'eau et à une meilleure compétitivité vis à vis des mauvaises herbes. En cas de sécheresse précoce, cette caractéristique est l'un des moyens pour échapper au déficit hydrique.

Généralement la croissance racinaire des céréales est ralentie ou quasiment achevée au stade épiaison. La longueur racinaire au 38^e JAS, stade qui correspond dans la présente expérience au stade fin montaison à début épiaison, et qui de ce fait pourrait être considéré comme un stade où la croissance racinaire est presque achevée pour les types cultivés. Carrigan et Frey (1980) ont montré que la croissance racinaire chez *Avena sterilis* se poursuit au delà de la floraison. En plus donc de l'important développement racinaire, la continuité de la croissance racinaire chez *Avena sterilis* est un caractère de grande importance pour les climats méditerranéens, menacés constamment de sécheresse de fin de cycle. Toutefois, la croissance racinaire, qui se poursuit au delà du stade floraison, ne doit pas trop entrer en compétition avec la formation du grain pour les photosynthats. Un compromis sera donc à rechercher pour mieux valoriser ce caractère chez les espèces cultivées.

Si certains génotypes, représentés notamment par le groupe des *Avena maroccana* et *occidentalis* (Figure 1), ont pu garder la même supériorité des longueurs racinaires à 20 et 38 JAS, pour d'autres en revanche, ce n'est pas le cas. C'est ainsi que chez certains génotypes, en particulier chez *Avena sterilis*, le classement des longueurs au 20^e JAS n'est pas le même que celui du 38^e JAS. Cela résulterait des différences de vitesses de croissance racinaire, comme il en ressort dans le tableau 1. La question est parfois de savoir s'il faut sélectionner simultanément pour les longueurs racinaires à un stade précoce et un stade tardif, ou séparer ces 2 critères. La possibilité de trouver des individus possédant à la fois les 2 caractéristiques (CAV3604, CAV3907, AV89-206, AV89-004 dans le présent cas), privilégierait implicitement la première option.

A l'exception des travaux de Hurd (1974), rares sont les travaux de sélection ayant véritablement pris en considération les caractéristiques racinaires. Si toutefois dans l'avenir on est amené à inclure les critères de

croissance racinaire dans les programmes de sélection, un réservoir important de variabilité existe chez les espèces sauvages, puisque n'ayant subi aucune pression de sélection à but agricole, ces espèces ont vraisemblablement gardé certaines caractéristiques racinaires perdus ou contre-sélectionnés chez les types cultivés. Les longueurs racinaires enregistrées chez quelques une de ces espèces en est un exemple concret. Il est intéressant de noter, en rapport avec l'utilisation fourragère de l'avoine, qu'en général une plus grande biomasse aérienne est corrélée à une plus grande longueur racinaire (Mac Key 1978; Al Faiz *et al.* 1994).

La vitesse d'enracinement détermine généralement le temps mis par les racines pour occuper le sol. Son interprétation dans le contexte de la présente étude présente quelques difficultés. D'une part l'étude n'a pas concerné les ramifications racinaires, et d'autre part il n'a pas été tenu compte des stades phénologiques de chaque génotype au moment des prises de mesures. La vitesse d'enracinement rapportée ici est donc le temps mis par les racines pour atteindre les horizons inférieurs.

La domestication a considérablement diminué le rapport racine:tige (Passioura 1983), et les résultats obtenus ici confirment ce constat. Ce rapport varie toutefois en fonction du milieu, puisqu'en condition de sécheresse, il a plutôt tendance à augmenter légèrement (Struik et Bray 1970). Peu de données existent sur ce que devrait être un idéotype concernant le rapport racine:tige. Un compromis est sans doute à rechercher pour une meilleure relation entre les racines et les tiges.

La méthode adoptée pour l'étude des racines dans le présent travail a déjà montré son efficacité, notamment pour l'étude de l'effet du virus de la jaunisse nanisante de l'orge sur les racines des céréales (Al Faiz *et al.* 1993; Al Faiz *et al.* 1994). Cette méthode non destructive, a le mérite d'étudier simultanément un nombre relativement élevé de génotypes. La variabilité génétique pour certaines caractéristiques racinaires telle que démontrée ici sur un nombre limité de génotypes, montre tout l'intérêt qu'il y a à prospecter davantage les espèces sauvages pour la caractérisation de la biodiversité racinaire. La présente méthode d'étude des racines ainsi que la variabilité mise en évidence ouvre la voie pour l'étude de la nature du contrôle génétique et l'héritabilité des caractères racinaires. Pour les climats difficiles comme celui du Maroc, il est de plus en plus urgent de trouver des bases génétiques adaptés aux situations de sécheresse qui frappent constamment et parfois gravement l'agriculture. L'étude des racines offre à ce propos un potentiel considérable et mérite une attention particulière de la part des améliorateurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al Faiz, C., Collin J., Comeau A., Dubuc J.P. et St-Pierre C.A. (1993). Effect of various BYDV isolats on the root system of cereals. 6^e ISPP congress, Montreal, Canada.
- Al Faiz, C., Collin J., Comeau A., St-Pierre C.A. et Dubuc J.P. (1994). Effect of barley yellow dwarf virus on roots and use of root growth measurements as an index of BYDV tolerance in oats. (soumis).
- Baum, B. (1977). Oats: wild and cultivated. *Biosystematics res. Inst. Agriculture Canada, Ottawa Monograph no. 14.*
- Carrigan, L. et Frey, K.J. (1980). Root volumes of *Avena* species. *Crop Sci.* **20**, 407-8.
- Gardner, F.P., Pearce, R.B. and Mitchell, R.L. (1985). Root Growth. In *Physiology of crop plants.* Iowa State University Press: Ames. pp. 246-70.
- Gorny, G. A and S. Larsson. (1989). New aspects in root breeding. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* **16**, 339-56.
- Grando, S. and Ceccarelli, S. (1994). Seminal root morphology and coleoptile lenght in seedlings of wild (*Hordeum vulgare ssp. spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare ssp. vulgare*) barley. *Euphytica*: (sous press).
- Hurd, E. A. (1974). Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric. Meteorol.*, **14**, 39-55
- Larsson, S. and Gorny, A. J. (1988). Grain yield and drought resistance indices of oat cultivars in field rain shelter and laboratory experiments. *J. Agron. and Crop Sci.* **161**, 277-86.
- Mac Key, J. (1973). The wheat root. In *Proc. 4th Internat. Wheat Genandics symposium Missouri Agr. Exp. Sta., Columbia, Mo. 1973.* pp. 827-42.
- Mac Key, J. (1978), Wheat domestication as a shoot : root interrelation process. *Proc. 5th Wheat Genet. Symp., New Delhi 1978, Indian Soc. Genet. Pl. Breed., New Delhi, 2, 875-90.*

- Motzo, R., Attene, G. et Deidda, M. (1993). Genotype variation in durum wheat root systems at different stages of development in a Mediterranean environment. *Euphytica* **66**, 197-206.
- O'Brien, L. (1979). Genetic variability of root growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*. **30**, 587-95.
- O'Toole, J.C. et Bland, W.L. (1987). Genotypic variation in crop plant root systems. *Adv. Agron.* **41**, 91-145.
- Passioura, J.B. (1983). Roots and drought resistance. *Agricultural water management* **7**, 265-80.
- Struik, G.T. et Bray, J. R. (1970). Root-shoot ratios of native forest herbs and *Zea mays* at different soil moisture levels. *Ecology* **51**, 892-3.
- Wahbi, A. et Gregory, P.J. (1989). Genotypic differences in root and shoot growth of barley (*Hordeum vulgare*). *Expl. Agric.* **25**, 389-99.