

Colloque « Les plantes modernes : origine, nouvelles espèces et amélioration variétale »

Lyon - 4 et 5 avril 2013

**« Rhizotron, évaluation de
l'architecture racinaire et
réponse adaptative des
plantes »**



aces
ens-lyon.fr



Rhizotron, évaluation de l'architecture racinaire et réponse adaptative des plantes

Animé par Catherine Martin et Pascale Naïm à Lyon

Cet atelier propose quelques pistes permettant l'étude de l'architecture racinaire des végétaux, en relation avec le nouveau programme de Terminale S sur les relations entre l'organisation et le mode de vie des plantes à fleurs, ou avec le programme de Sixième sur la production de matière par les êtres vivants. Dans un premier temps, vous pourrez fabriquer un Rhizotron, appareil permettant d'observer le système racinaire d'un végétal. Puis nous verrons comment utiliser le logiciel Ez-Rhizo, logiciel de détection et de mesure du système racinaire. Nous proposerons aussi quelques exemples d'activités pédagogiques réalisables en classe, à partir de ce deux outils, afin de montrer comment le système racinaire peut s'adapter aux variations des conditions du milieu de vie, et comment la sélection de certaines variétés végétales en fonction de leur système racinaire peut permettre l'optimisation de l'absorption de l'eau et des nutriments.

Comment étudier l'architecture racinaire des plantes ?

SOMMAIRE

1. Fabriquer un Rhizotron	3
2. Ez-Rhizo : Tutoriel en images	6
3. Traitement des mesures obtenues dans un tableur	9
4. Trois exemples d'utilisations du logiciel Ez-Rhizo et mise en relation avec des activités pédagogiques	10
a- Adaptation morphologiques du système racinaire à la teneur en phosphates du sol.	10
b- Sélection artificielle des cultures en fonction de l'architecture racinaire	15
c- Production de matière et croissance racinaire - 6ème	16
5. Sources	18

1. Fabriquer un rhizotron

Pourquoi un rhizotron ?

Les rhizotrons sont des montages permettant d'observer le développement des racines en deux dimensions, et d'effectuer des mesures précises de l'architecture racinaire, en les photographiant ou en les scannant.

En effet, sans rhizotron, les racines se développent dans toutes les directions, se chevauchent, et il est impossible de les mesurer. La photographie de racines présentée ci-dessous ne pourrait pas être exploitée avec le logiciel Ez-Rhizo.



Racines sans rhizotron

Des rhizotrons faciles et rapides à réaliser

Nous vous proposons deux exemples de rhizotrons, peu coûteux (à peu près 1 euro par rhizotron) et simples à réaliser, l'un réalisé à partir de sous-verres, l'autre avec des couvercles de boîtiers pour DVD.



Il est aussi possible de réaliser des rhizotrons en boîte de pétri, sur milieu gélosé, de façon à pouvoir contrôler les éléments nutritifs, la principale difficulté étant de réaliser des cultures sans contaminations. La durée de préparation est certes plus longue, mais il est alors plus simple de scanner ou photographier les racines.

Ici, le milieu de culture utilisé est celui d'une culture in vitro de germes de Pomme de Terre (*Travaux pratiques de Biologie - Didier POL. Bordas*) avec du Knop sans azote. Les graines, mises à germer la veille de l'implantation sur gélose, ont été préalablement trempées 10 secondes dans l'alcool à 70°C, puis 10 secondes dans l'eau de javel, et pour finir rincées dans de l'eau stérile.



Rhizotron avec sous-verre

Matériel (Coût : à peu près 1 euro par rhizotron pour 10 montages)



- Deux sous-verre pour photographies, dont on gardera les fonds en bois
- Un joint isolant d'épaisseur 3 à 5 mm muni de double face.
- 1 ou 2 gros élastiques.

Réalisation

1. Déposer le joint isolant sur 3 côtés d'une surface vitrée, scotch contre la vitre.



2. Déposer une fine couche de terre sur la partie vitrée et arroser



3. Déposer la vitre du deuxième sous-verre sur l'ensemble et presser fortement au niveau des joints.



4. Placer les fonds des deux sous-verre de part et d'autre des deux plaques vitrées. Maintenir l'ensemble avec 1 ou 2 gros élastique(s)



5. Le rhizotron est prêt, il n'y a plus qu'à le garnir. (Ici, graines de pois mises à germer 4 jours avant implantation dans le rhizotron).



6. Maintenir en le rhizotron en position inclinée pendant la croissance des végétaux afin que les racines soient bien visibles.



- Selon la taille des sous-verre, il est possible de réaliser des rhizotrons plus ou moins grands.
- Pour obtenir un espace encore plus fin, remplacer le joint isolant par du scotch double face.
- Penser à placer la plaque de verre mobile sur la face inférieure pour pouvoir l'ôter et réaliser des photographies, afin d'éviter les reflets.

Rhizotron avec boîtier de DVD

Il est aussi possible de fabriquer un rhizotron en remplaçant les sous-verres par des couvercles de boîtes de DVD. (Coût : à peu près 1 euro pour 10 montages).

1. Ouvrir 2 boîtes de DVD .



2. Démonter les 2 couvercles



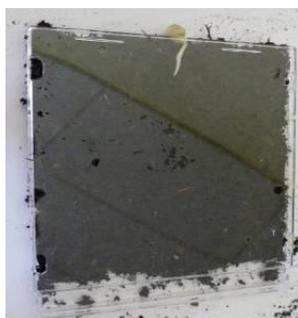
3. Supprimer les 4 languettes plastifiées



4. Garnir un des couvercles d'une fine couche de terre et l'arroser copieusement



5. Placer le deuxième couvercle, puis la graine mise à germer préalablement (ici, graine de pois de 4 jours).



6. Maintenir l'ensemble avec un gros élastique. Penser à le placer en position inclinée pendant la croissance des végétaux afin que les racines soient bien visibles.



- Il est conseillé de recouvrir la boîte de papier d'aluminium pour maintenir les racines à l'obscurité.

2. EZ-Rhizo : Tutoriel en images

Logiciel EZ-Rhizo

EZ-Rhizo: logiciel intégré pour la mesure rapide et précise de l'architecture du système racinaire Armengaud. P, Zambaux. K, Hils. Un Sulpice., R, Pattison. R. J, Blatt. M. R, Amtmann. A, (2009).

- Pour analyser des images de racines cultivées en deux dimensions sur des supports tels que des plaques de gélose.
- Pour détecter et traiter des images d'architectures racinaires, issues de scanner ou d'appareils photos, par un système semi-automatisé
- Pour stocker les données traitées dans une base de données et les analyser par requêtes.

EZ-Rhizo permet une acquisition précise et rapide des paramètres morphologiques des racines à partir d'une boîte de Pétri numérisée ou de photos de rhizotrons. Le format **.bmp** est obligatoire.

Le programme mesure une dizaine de **paramètres primaires** comme le chemin parcouru par la racine principale, le vecteur associé, l'angle de ce vecteur avec la verticale, le nombre de racines latérales, leur longueur, mesures répétées pour chaque ordre racinaire.

Il mesure aussi des **paramètres dérivés** comme la profondeur, la différenciation de zones de la racine (apicale, branchée, basale).

Les données collectées sont organisées dans une base de données (mySQL) associée au logiciel et sont interrogeables par une fenêtre de requête pour l'export et la manipulation sous Excel.

EZ-Rhizo n'est disponible qu'en anglais et fonctionne uniquement sous Windows.

Attention : EZ-Rhizo ne gère pas les racines superposées ou celles qui se croisent. Une étape d'édition manuelle est incluse dans le protocole d'analyse pour corriger les imperfections des images.

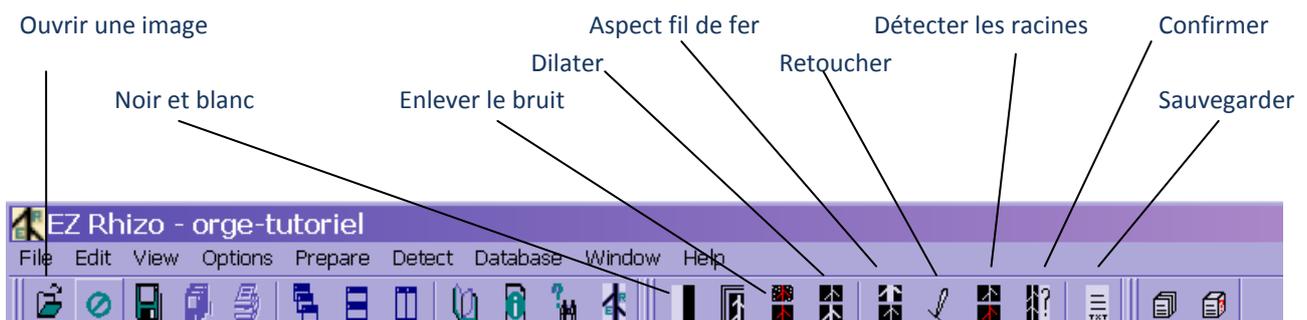
Le tutoriel du logiciel est disponible en intégralité et en anglais, dans le dossier d'installation du logiciel à l'adresse suivante : <http://www.psrq.org.uk/plant-biometrics.html>



EZ-Rhizo propose l'installation conjointe de la version 1.8 de Easy PHP. Si à la suite de l'installation, l'ordinateur vous propose une mise à jour sur une version plus récente, il faut la refuser !

La traduction partielle du tutoriel d'utilisation du logiciel est disponible sur le site de Bordas.

Barre d'outils EZ-RHIZO et icônes essentielles.



Quelques étapes en images.

Préparer l'image



Ouvrir un fichier, le format **.bmp** est obligatoire pour les images. (images formatées à 380 par exemple)



Mettre l'image en noir et blanc : cette étape est essentielle au traitement des racines et selon le support utilisé pour la culture des graines, terreau, gélose, hydroponique, des reflets pourront parfois gêner la conversion en noir et blanc. Un curseur compris entre 40 et 120 permet de faire varier la conversion monochrome.

Si la plantule se développe sur de la terre, il se peut que certains fragments de racines, plus foncés, **apparaissent mal**. Le curseur de conversion monochrome, permet de **corriger ces défauts**.

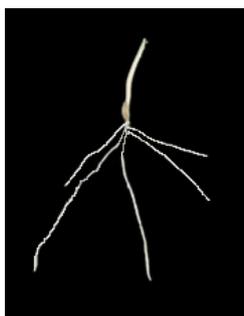
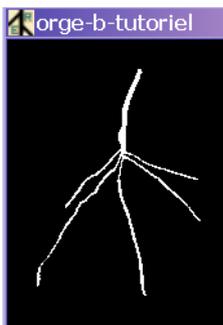


Image brute Orge 6 jours



Conversion noir et blanc- curseur 66



Enlever les contours : permet d'éliminer le contour d'une boîte de pétri si besoin.



Enlever le bruit : un algorithme d'érosion permet d'augmenter le rapport signal/bruit, le bruit correspondant à une altération de l'image. **Gaussian 2** est conseillé.



Dilater : pour reconnecter des parties des racines qui seraient éloignées de plus de 2 pixels et obtenir une continuité des racines à traiter.

Lors de cette opération, des racines très proches, peuvent se retrouver collées. Il faudra alors retoucher l'image.

Détecter et mesurer les racines



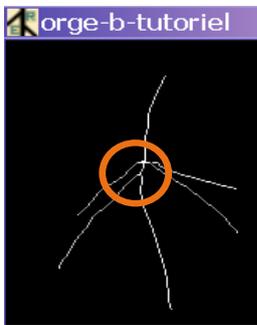
Squelette de racines : cette fonction réduit les racines à leur squelette, correspondant à une largeur d'un seul pixel. Elle permet la **détection des racines**.



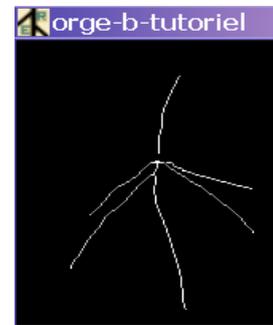
Retoucher : permet de modifier manuellement l'image et de **définir la séparation entre les parties aériennes et les racines**.

- Soit pour **déconnecter les racines de la tige** et d'ajuster les racines qui se chevauchent grâce à la brosse noire (**bouton droit** de la souris).
- Soit pour **connecter une racine interrompue**, ou en partie recouverte de terreau, grâce à la brosse blanche (**bouton gauche** de la souris). Il faut alors reprendre l'étape Squelette de racines.

Pour travailler au plus juste, il est recommandé d'ouvrir en parallèle, dans une autre fenêtre superposée à la fenêtre de EZ-Rhizo, l'image initiale de l'architecture racinaire que l'on traite.



Les zones encadrées **devront être retouchées** pour que la partie aérienne soit déconnectée et les racines comptabilisées et mesurées.



Detecter



Confirmer

Le programme détecte automatiquement les objets « racine » et la continuité des racines et les présente dans des couleurs différentes dans la fenêtre d'image.

Remarque: Vous pouvez changer les couleurs en choisissant «Item Couleur» dans le menu Détecter.

Vous devez confirmer pour chaque racine. L'objet présenté doit être identifié comme quelque-chose à mesurer. **Si une racine donnée est présentée avec plusieurs couleurs c'est qu'elle est encore segmentée**, il faut alors reprendre à l'étape Retouche pour faire en sorte qu'une racine soit un seul et même objet.



Sauvegarder

Le programme vous permet de saisir les données de l'image dans une fenêtre d'Informations, **sous un format texte**. Remplissez les champs et appuyez sur OK. **Entrez 200** pour le champ de résolution.

Voici le **fichier texte** généré :

```

orge-b-tutoriel  Experiment name: orge-b-tutoriel  Age of plants: 6 day(s) after germination  Number of plant: 1
Root 1:
Main root length: 1.607794      Main root vector: 1.406811      Main root angle: 6.801315
Number lateral root(s): 4
R1-LR1: Length: 0.803710      Position: 0.025400 Vector: 0.744026      Angle: 69.676863      Number secondary root(s): 0
R1-LR2: Length: 1.027205      Position: 0.081461 Vector: 0.985225      Angle: 49.236395      Number secondary root(s): 0
R1-LR3: Length: 0.763057      Position: 0.106861 Vector: 0.722197      Angle: -45.725224      Number secondary root(s): 0
R1-LR4: Length: 1.130984      Position: 0.260163 Vector: 1.056652      Angle: -36.591088      Number secondary root(s): 0

```

Gestion des données obtenues



Add Data pour stocker les données dans une base de données type My SQL.

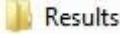


Require pour interroger la base par requêtes.

Ces fonctions de gestion de la base de données ne seront pas abordées ici. Elles supposent un traitement **d'un grand nombre de données**, en série, ce qui ne correspond pas à la situation d'enseignement.

3. Traitement des mesures obtenues dans un tableur

Les résultats des mesures sont automatiquement enregistrés sous forme de **fichiers txt** dans un dossier nommé « **résultats** ».

- Ouvrir le dossier « résultats » 

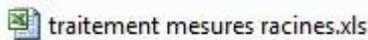


- Puis ouvrir le fichier .txt

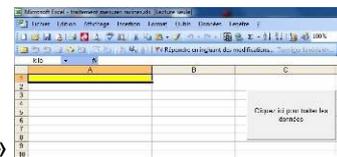
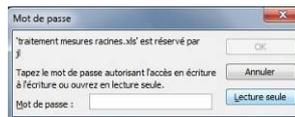


- Appuyer sur les touches **Ctrl A** puis **Ctrl C**

- Fermer le fichier txt et ouvrir la **macro Excel** permettant de traiter les mesures :



- Cliquer sur « **lecture seule** »



- Puis cliquez sur la touche « **Cliquez ici pour traiter les données** »

- Les résultats sont visibles en cliquant dans le **bandeau inférieur** sur « **résultats** »



- La synthèse des résultats s'affiche en cliquant au niveau du bandeau inférieur sur « **synthèse résultats** » :



Exemple de synthèse de résultats obtenus

	A	B	C	D
1	massept.txt			
2	User name: mais			
3	Experiment name: mais7jours			
4	Box name: cat			
5	Genotype: dente			
6	Age of plants: 7 day(s) after germination			
7				
8	Racine principale 1			Racine principale 4
9	Longueur de la racine principale 1	2,524154		Longueur de la racine principale 4
10	Nombre de racines latérales	20		Nombre de racines latérales
11	Longueur de l'ensemble des racines latérales	7,888534		Longueur de l'ensemble des racines latérales
12	longueur de l'ensemble des racines	10,412688		longueur de l'ensemble des racines
13				
14	Racine principale 2			Racine principale 5
15	Longueur de la racine principale 2			Longueur de la racine principale 5
16	Nombre de racines latérales			Nombre de racines latérales
17	Longueur de l'ensemble des racines latérales			Longueur de l'ensemble des racines latérales
18	longueur de l'ensemble des racines			longueur de l'ensemble des racines
19				
20	Racine principale 3			Racine principale 6
21	Longueur de la racine principale 3			Longueur de la racine principale 6
22	Nombre de racines latérales			Nombre de racines latérales
23	Longueur de l'ensemble des racines latérales			Longueur de l'ensemble des racines latérales
24	longueur de l'ensemble des racines			longueur de l'ensemble des racines
25				

Enregistrer le fichier Excel sous un autre nom pour enregistrer les données du tableur et réaliser graphiques ou tableaux

4. Trois exemples d'utilisations du logiciel Ez-Rhizo et mise en relation avec des activités pédagogiques

Liaison avec le programme

1A5 Les caractéristiques de la plante sont en rapport avec la vie fixée à l'interface sol/air dans un milieu variable au cours du temps. Elle développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec le sol (échange d'eau et d'ions). Elle possède des structures et des mécanismes de défense contre les agressions du milieu, les variations saisonnières.

Problème à résoudre :

Comment une plante fixée peut-elle s'adapter à une baisse de la disponibilité en eau et nutriments au niveau d'un sol?

Notions / Capacités

NOTIONS	<ul style="list-style-type: none"> Les caractéristiques des racines de la plante sont en rapport avec la vie fixée, dans un milieu où la quantité d'eau et de nutriments est variable au cours du temps. Elle possède une architecture racinaire, sous contrôle génétique, mais qui s'adapte à des variations importantes du milieu, pour optimiser les échanges.
CAPACITES	<ul style="list-style-type: none"> <u>S'informer</u> : Recenser, extraire l'information utile concernant le rôle des phosphates chez une plante. <u>Réaliser</u> : Un geste technique : <ul style="list-style-type: none"> une germination en rhizotron ou rhizobox deux semaines avant. un scan ou une photo des résultats. utiliser un logiciel un logiciel EZ-Rhizo, mesurant les racines. <u>Communiquer des résultats</u> à l'aide de représentations adaptées sous forme de tableau ou de graphiques. <u>Raisonner</u> : mettre en relation l'architecture racinaire de la plante et sa capacité d'adaptation aux contraintes du milieu

Matériel nécessaire :

- Rhizotron ou rhizobox d'une graine de 8 à 15 jours de germination.
- Logiciel EZ-Rhizo, logiciel Open Calc.
- Scanner ou appareil photo, ou images préparées.

Productions souhaitées :

- Des images saisies ou scans et des mesures de l'architecture racinaire.
- Tableau de données ou graphiques afin de comparer différentes architectures racinaires.
- Une réponse à la problématique.

1^{er} exemple : Adaptations morphologiques du système racinaire à la teneur en phosphates du sol.

Comment les racines d'une plante fixée s'adaptent-elles à une baisse de la disponibilité en phosphates au niveau d'un sol?

Situation déclenchante :

Le phosphore est un élément indispensable à la vie. Chez les végétaux, le phosphore est prélevé dans le sol par les racines, essentiellement à partir d'ions phosphates PO_4^{3-} en solution dans l'eau du sol. Or il s'avère que plus le sol est profond, moins il y a de phosphates disponibles.

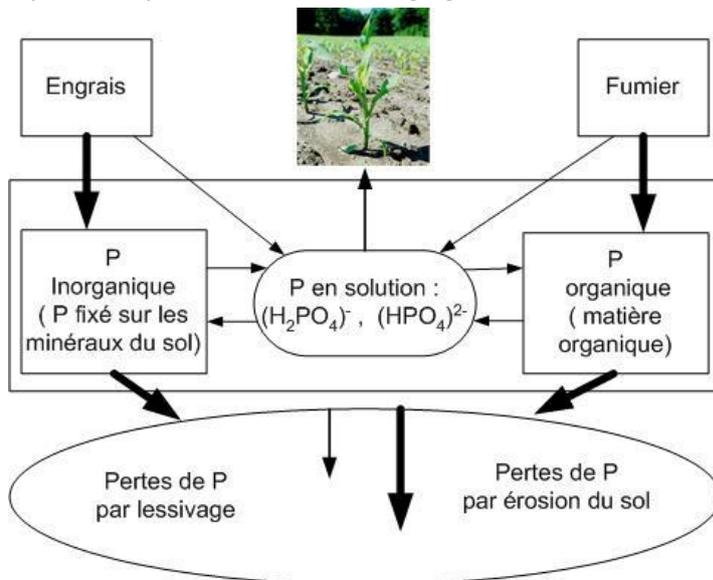
Vous montrerez comment le pois modifie son architecture racinaire en fonction de la disponibilité en phosphates dans le sol. Votre réponse sera accompagnée d'un tableau et/ou d'un graphique.

Matériel à disposition :

- Logiciel Ez-Rhizo et images de racines de pois cultivés sur milieu complet ou milieu carencé en phosphates
- Un tableur informatique permettant de traiter les données acquises avec le logiciel Ez-Rhizo.
- Document 1 : Dynamique et rôle du phosphore dans le sol.
- Document 2 : Photographies de pois dans différentes conditions de culture (avec ou sans phosphates)
- Document 3 : Schémas comparatifs de l'architecture racinaire de l'arabidopsis en milieu complet ou carencé.

DOC 1. Dynamique et rôle du phosphore dans la plante et le sol.

Cycle phosphore d'après Charles Karemangingo Ph. Ministère de l'Agriculture, Aquaculture et Pêches, Canada



<http://www.qnb.ca/0173/30/0173300016-f.asp>

DOC 2. Architecture racinaire de Pois en milieu riche et carencé en phosphates. A traiter par EZ Rhizo.

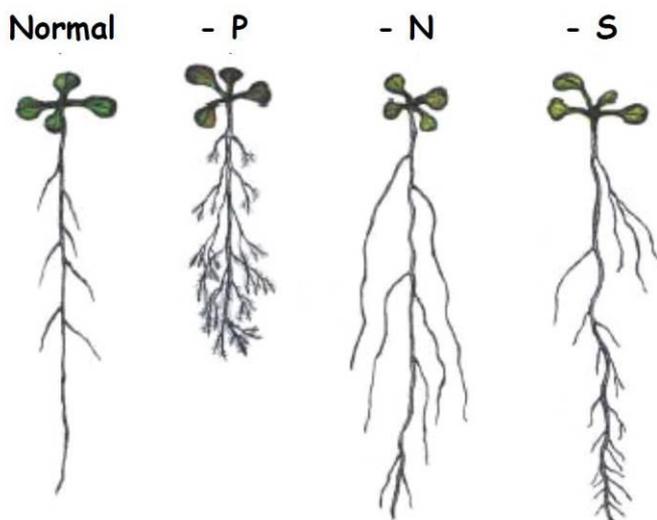


Des plantules de Pois de 3 jours sont déposés dans un rhizotron (système permettant de visualiser le développement en deux dimensions des racines) rempli de terreau et soumis à un arrosage différent. Voici les résultats obtenus au bout de 10 jours :

- A gauche le pois est arrosé par du liquide complet comprenant du potassium, de l'azote, de l'oxygène et du phosphore = **KNOP**,
- A droite le pois est arrosé par du KNOP sans phosphore = **KNOP sans P**.

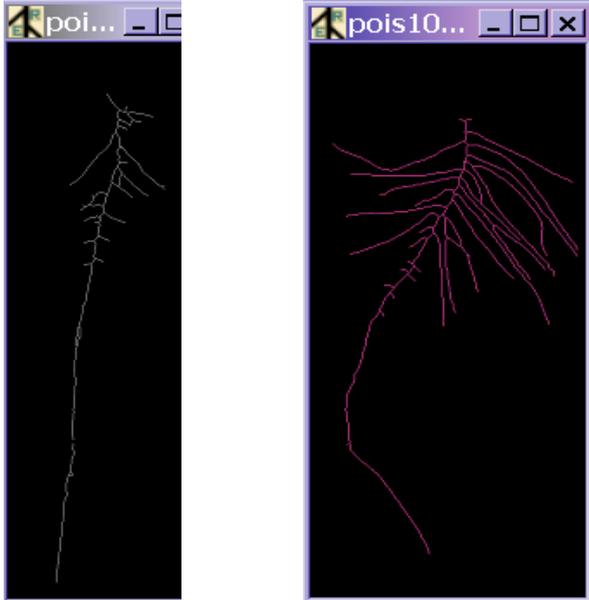
L'acquisition d'images de développement racinaire est réalisable par les élèves.

DOC 3. Schémas de l'architecture racinaire de l'Arabidopsis en fonction des conditions du milieu (milieu normal, ou milieux carencés en P, N et S).



Lopez-Bucio et al, 2003

Réponses attendues :

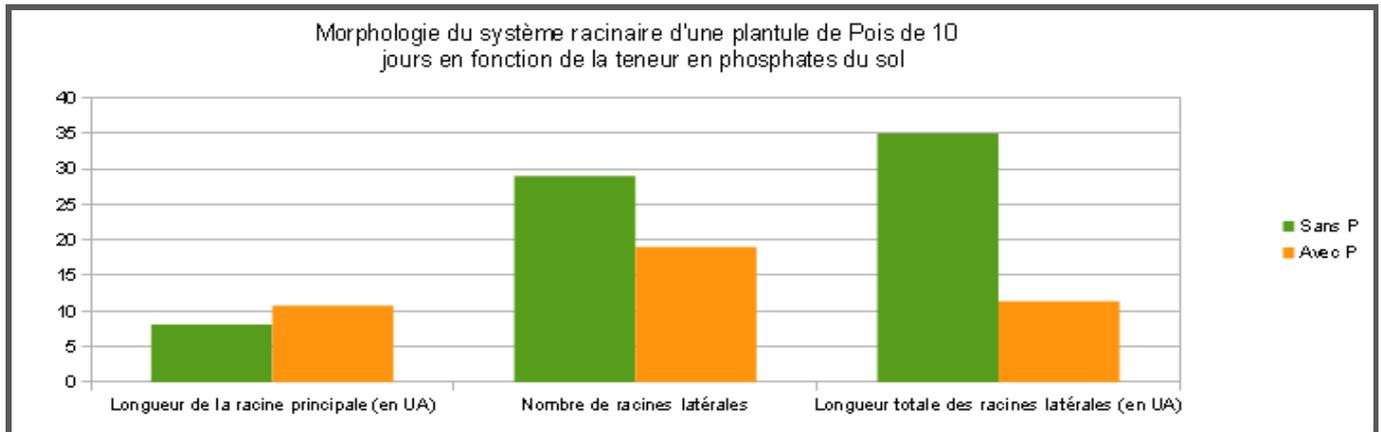


Le logiciel **EZ Rhizo** permet de détecter et de mesurer un certain nombre de paramètres des racines des plantes, à partir des photographies de l'architecture racinaire, obtenue en deux dimensions dans un rhizotron.

Voici les résultats de détection obtenus :

- A gauche pour le pois arrosé par du liquide de **KNOP**,
- A droite pour le pois arrosé par du **KNOP sans P**.

Mesures obtenues par EZ Rhizo	Pois 10 jours KNOP sans P	Pois 10 jours KNOP
Longueur racine principale (en UA)	8.13	10.74
Nombre de racines latérales	29	19
Longueur totale racines latérales (en UA)	34.99	11.4
Longueur moyenne racines latérales (en UA)	0.99	0.36

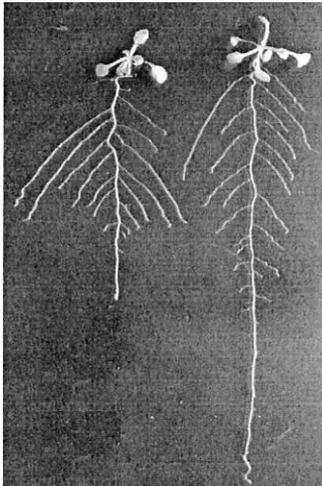


L'environnement de la racine est un déterminant majeur de l'architecture racinaire. Le phosphate étant un élément primordial dans les synthèses végétales, l'architecture racinaire s'adapte à la concentration en phosphates des sols, pour optimiser son utilisation.

A	B	
Riche en phosphates	Carencé en phosphates	
		<p>En A : Milieu riche en phosphates, la croissance de la racine principale est importante et les racines secondaires sont peu développées et courtes.</p> <p>En B : Milieu carencé en phosphates, la croissance de la racine principale est ralentie et le réseau de racines secondaires est important et les racines sont plus longues.</p> <p>L'architecture racinaire et le développement des racines latérales s'adaptent à la concentration en phosphates des sols et en cas de carence, l'exploration des horizons superficiels est favorisée au dépend des horizons plus profonds, moins riches en phosphates.</p>

Un autre exemple avec Arabidopsis.

(En banque de données, possibilité de traiter avec EZ-rhizo).



Arabidopsis, plant de type sauvage, de **14 jours**.

Concentrations initiales de phosphates :

0,1microM à gauche

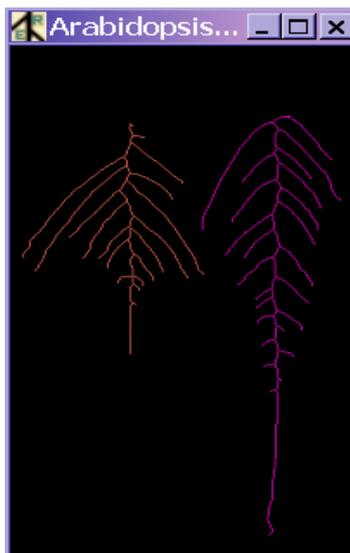
2,5 microM à droite

Boîte de gélose orientée verticalement

Toutes les espèces ne réagissent pas de la même façon. Par exemple, sur milieu gélosé la luzerne, le blé, le tournesol ne réagissent pas comme Arabidopsis.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC111176/bin/pp0616692001.jpg>

➤ Mesures obtenues après traitement par le logiciel EZ-Rhizo.

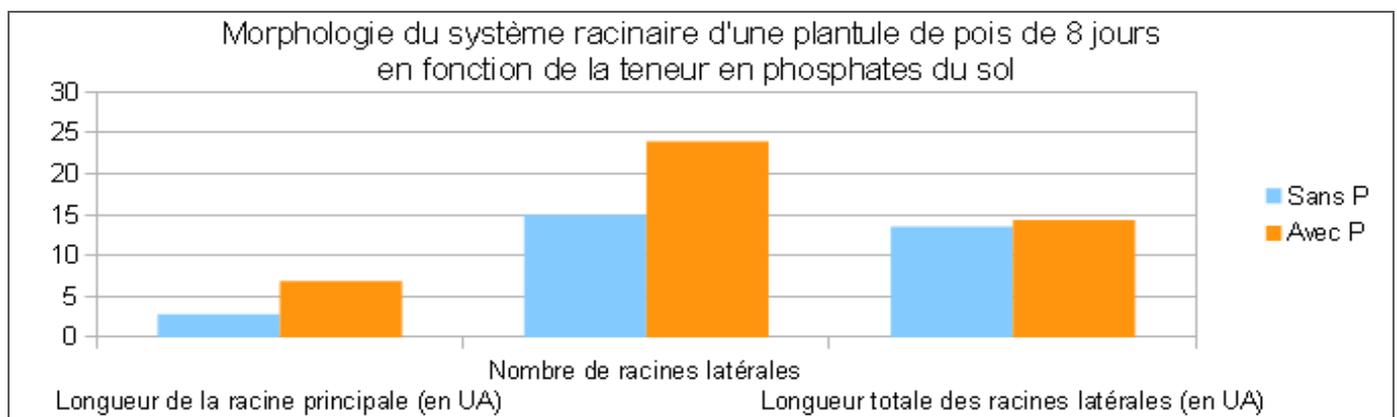


Racine principale 1	
Longueur de la racine principale 1	2,823694
Nombre de racines latérales	15

Longueur de l'ensemble des racines latérales	13,546403
longueur de l'ensemble des racines	16,370097

Racine principale 2	
Longueur de la racine principale 2	6,896719
Nombre de racines latérales	24

Longueur de l'ensemble des racines latérales	14,388588
longueur de l'ensemble des racines	21,285307



POUR ALLER PLUS LOIN : Nouveau problème posé :

Comment la racine détecte-t-elle la carence en phosphates pour adapter son système racinaire ?

L'arrêt de croissance des racines, en milieu carencé, sous le contrôle de gènes.

Le laboratoire de biologie du développement des plantes du CEA de Cadarache (Bouche du Rhône) a pour objectif principal d'élucider chez les plantes, les voies de transport et de transduction en réponse aux concentrations ioniques. Il s'est intéressé à cette question en prenant **le phosphate** comme élément minéral et **Arabidopsis thaliana** comme plante modèle.

Il a montré que l'arrêt de la croissance est déclenché à la pointe de la racine. Il existe **deux gènes LPR1 et LPR2**, commandant deux oxydases à cuivre qui jouent un rôle primordial dans l'arrêt précoce de cette croissance.

- Les racines mutantes continuent à se développer dans un milieu carencé,
- Les racines non mutées s'arrêtent net.

De plus un simple contact de la pointe racinaire avec ce milieu carencé, bloque la croissance, suggérant l'idée que la coiffe est l'organe de détection d'un stress.

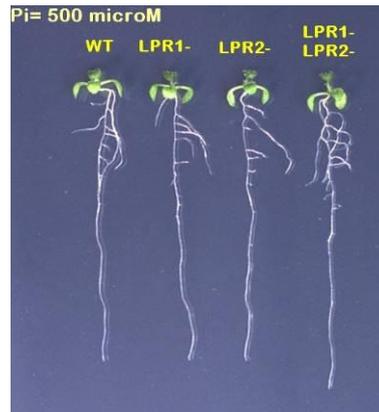
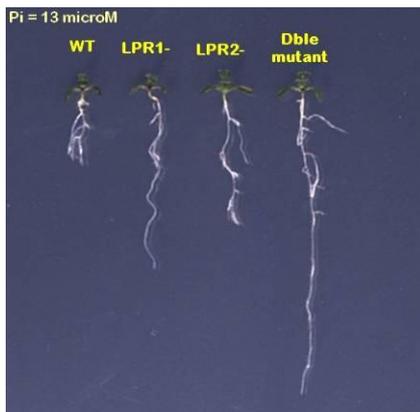
- **Différentes variétés d'Arabidopsis : WT, mutant, double mutant.**

Voici des résultats obtenus sur gélose SIGMA, contenant 13 microM de Pi.

De gauche à droite: WT; simple mutant *lpr1*, simple mutant *lpr2*, double mutant *lpr1,lpr2*.

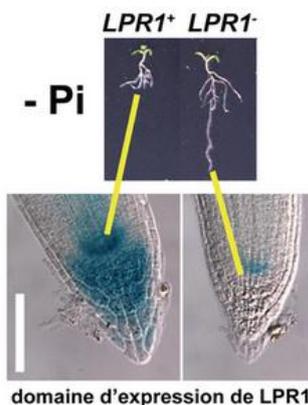
Photo 1 = 0 microM de Pi ajouté (c'est-à-dire uniquement le Pi venant de l'agar, 13microM)

Photo 2 = 500 microM Pi.



d'après photos Thierry Desnos

Remarque : Si vous souhaitez tester la réponse d'Arabidopsis sur un milieu carencé en phosphate, il faut que l'agar utilisé en contienne très peu, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas. Par exemple, le phytigel en contient beaucoup. D'un lot à l'autre (et de même référence de catalogue) il peut aussi y avoir de grandes disparités dans la quantité de phosphate! Certains lot contiennent parfois plus de 100 microM de Pi. L'Agar de chez Sigma (A7002, lot: BCBC7507). à 8g/L correspondant à un milieu gélosé contenant 13 microM de phosphate.



- Les plantes d'Arabidopsis dont **le gène LPR1 s'exprime** (LPR1+) dans la pointe racinaire, sont sensibles au milieu carencé en phosphates et la croissance de leur racine principale est inhibée.

- Les plantes d'Arabidopsis dont **le gène LPR1 est moins exprimé** (LPR1-) dans la pointe racinaire, sont insensibles au milieu carencé en phosphates et la croissance de leur racine n'est plus inhibée.

D'après Thierry Desnos <http://www-sv.cea.fr/var/plain/storage/original/media/File/Figure%20LPR1.jpg>

Remarque : Les résultats de transcriptomique sont en cours d'analyses et la synergie entre les approches génétiques, permettra de mieux connaître l'origine moléculaire de cet arrêt de croissance.

2^{ème} exemple : Sélection artificielle des cultures en fonction de l'architecture racinaire.

Introduction :

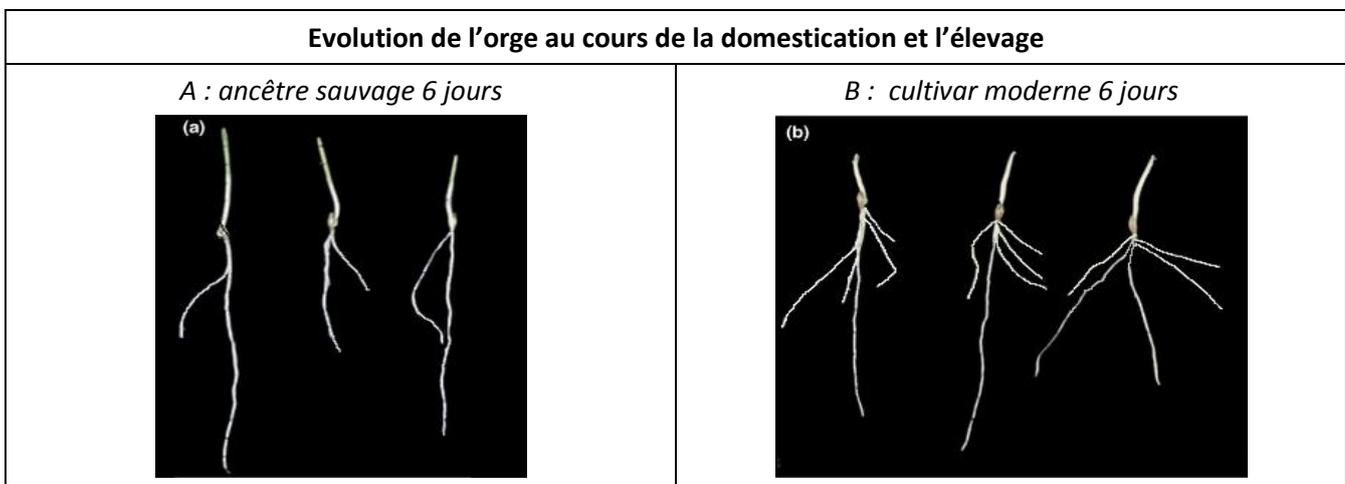
Les racines sont le point d'entrée naturel des ions et de l'eau dans la plante. Le stress hydrique constitue une **cause majeure de perte de rendement**, pour tous types de cultures, au sein de divers environnements. Les plantes ont des capacités plus ou moins étendues à tolérer des épisodes climatiques extrêmes. Certaines espèces végétales ou variétés au sein d'une espèce sont capables de continuer à croître et à se reproduire dans des conditions physiques qui s'écartent des moyennes habituelles ; elles font appel à la **plasticité de leur génome**. D'autres restreignent leur cycle de vie dans une gamme de paramètres moins étendue ; elles sont **adaptées à un milieu particulier**.

La **sélection de plantes cultivées** dotées d'une meilleure efficacité, pour l'utilisation des nutriments par leurs racines, est une priorité dans l'agriculture durable, utilisant moins d'intrants.

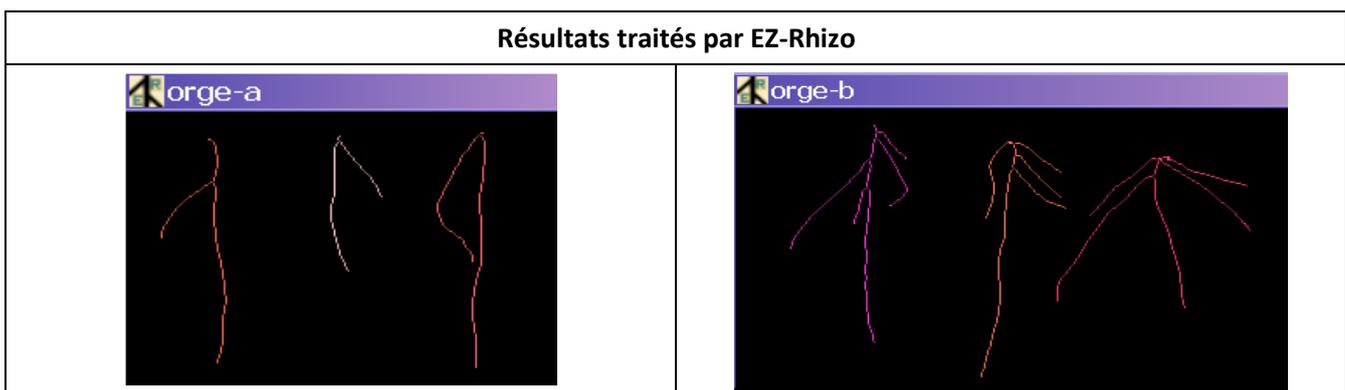
La sélection des variétés selon l'architecture du système racinaire, peut-elle permettre l'optimisation de l'absorption des nutriments et de l'eau ?

Consignes : En utilisant les documents photographiques, des différentes variétés d'orge, vous montrerez que la sélection des variétés par l'homme, a conduit à une amélioration de l'exploration du sol par les racines

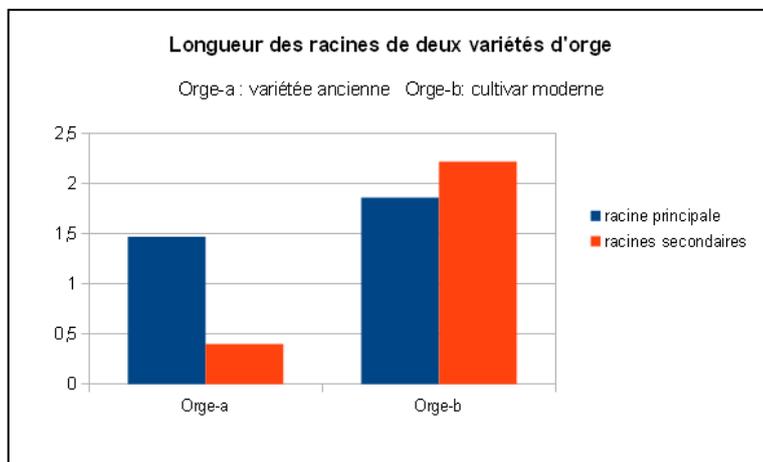
Pour cela vous utiliserez judicieusement, les données obtenues par traitement des images par le logiciel EZ-Rhizo. **Attention : il faut respecter des tailles d'images identiques pour le traitement par EZ-rhizo.**



Un cultivar est une variété de plante (arbres compris) obtenue en culture, généralement par sélection, pour ses caractéristiques « réputées uniques ».



	Orge variété ancienne	Orge cultivar moderne
Longueur racine principale en unités de mesure <i>Moyenne des 3 plants</i>	1.47	1.86
Nombre de racines secondaires	1	4
Longueur totale racines secondaires en unités de mesure <i>Moyenne des 3 plants</i>	0.40	2.22



Nécessité d'une collaboration avec les cultivateurs, pour obtenir un système racinaire idéal pour les différentes cultures et les environnements cibles.

3^{ème} exemple : Production de matière et croissance racinaire- 6^{ème}

Liaison avec le programme

Origine de la matière des êtres vivants

L'étude concerne la production de matière par les organismes vivants. La croissance permet de repérer la production de matière par les organismes vivants ; c'est une des caractéristiques du vivant.

Problème à résoudre

Comment évaluer la croissance des racines d'un végétal ?

Notions / Capacités

NOTIONS	<ul style="list-style-type: none"> Tous les organismes vivants sont des producteurs. Les végétaux produisent de la matière. Les végétaux chlorophylliens prélèvent de la matière minérale dans le sol avec leurs racines.
CAPACITES	<ul style="list-style-type: none"> Réaliser : Un geste technique : <ul style="list-style-type: none"> une germination en rhizotron ou rhizobox une à deux semaines avant. un scan ou une photo des résultats. utiliser un tableur informatique. Communiquer des résultats à l'aide de représentations adaptées sous forme de tableau ou de graphiques. Raisonner : mettre en relation la production de matière par la plante et sa croissance racinaire. Formuler l'hypothèse d'une relation de cause à effet entre la production de matière et le prélèvement de matière dans le milieu.

Matériel nécessaire :

- Rhizotron ou rhizobox d'une graine de 8 à 15 jours de germination.
- Logiciel EZ-Rhizo, logiciel Excel avec macro.
- Scanner ou appareil photo, ou images préparées.

Productions souhaitées :

- Tableau de données ou graphiques afin de montrer la croissance des racines.
- Un petit texte interprétant les résultats observés.

La production de matière par les végétaux chlorophylliens peut être mise en évidence par la réalisation de mesures : taille de la plantule, pesées régulières. L'utilisation de rhizotrons peut compléter ces mesures de croissance, mais cette fois-ci au niveau des racines. On peut imaginer un travail sur **deux ateliers** :

- une partie des élèves réalisant les mesures des parties aériennes de la plantule au cours du temps,
- les autres les effectuant au niveau du système racinaire.

La mise en commun des résultats devrait alors permettre aux élèves de formuler l'hypothèse d'une **relation de cause à effet entre la production de matière et le prélèvement de matière dans le sol.**

Les résultats proposés ci-dessous ont été obtenus à partir de graines de pois mises à germer pendant 7 jours. Elles ont été placées en rhizotron le 3^{ème} jour :



Pois 3 jours

Racine principale 1

Longueur de la racine principale 1	44,908582
Nombre de racines latérales	1
Longueur de l'ensemble des racines latérales	8,817367
longueur de l'ensemble des racines	53,725949

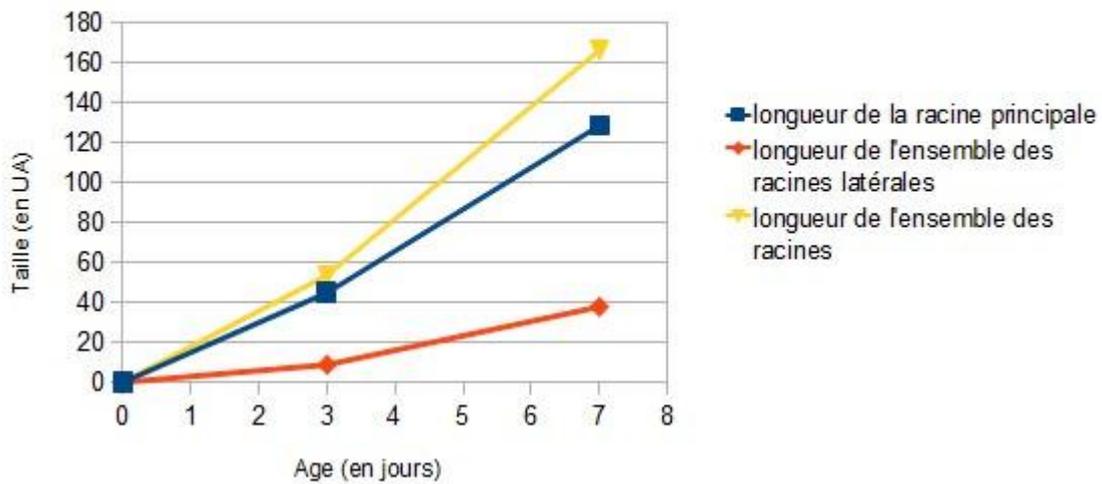


Pois 7 jours

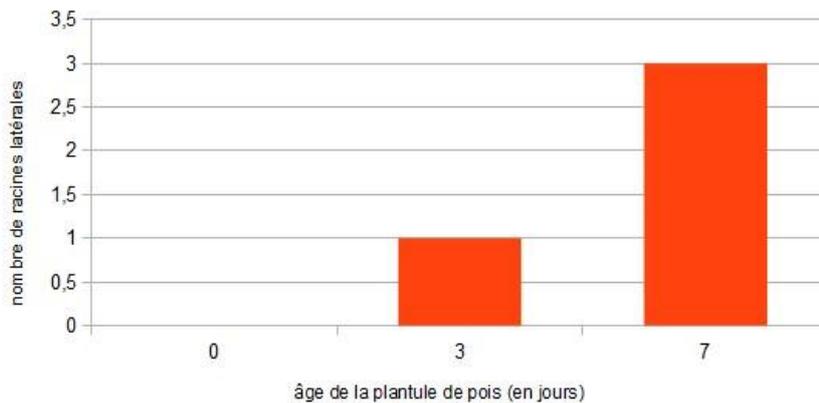
Racine principale 1

Longueur de la racine principale 1	128,698618
Nombre de racines latérales	3
Longueur de l'ensemble des racines latérales	37,844715
longueur de l'ensemble des racines	166,543333

Graphique représentant l'évolution de la taille des racines d'une plantule de pois en fonction de son âge



Nombre de racines latérales en fonction de l'âge de la plantule de Pois



5. Sources

- **Laboratoire de Biologie du Développement des Plantes - Thème de recherche**
<http://www-dsv.cea.fr/dsv/instituts/institut-de-biologie-environnementale-et-biotechnologie-ibeb/services-ibeb/service-de-biologie-vegetale-et-de-microbiologie-environnementales-umr-7265-cnrs-cea-aix-marseille-universite-sbvme/laboratoire-de-biologie-du-developpement-des-plantes-lbdp/theme-de-recherche>
- **Du cuivre pour la détection d'un stress. Nature Genetics (2007) 39, 792-796.** Thierry Desnos.
<http://www-dsv.cea.fr/institutes/institute-of-environmental-biology-and-biotechnology-ibeb/informations/scientific-results/the-role-of-copper-in-detecting-stress>
- **Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops.** Sophie de Dorlodot, Brian Forster, Loïc Pagès, Adam Price, Roberto Tuberosa, Xavier Draye.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138507001914>
- **Croissance racinaire du maïs (*Zea mays* L.) sous déficience en phosphore.** Alain Mollier. INRA.
http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDUQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bordeaux-aquitaine.inra.fr%2Ftcm%2Fcontent%2Fdownload%2F2876%2F29573%2Fversion%2F1%2Ffile%2FThese_Mollier_1999.pdf&ei=X ckUZOZM4S3hQfar4DACg&usq=AFQjCNFUQxASKrpnhMTri76H6vmQeb9T-Q&sig2=aKS8bN45jOzicCwDLo4edw&bvm=bv.42661473,d.d2k
- **Phosphate availability regulates root system architecture in Arabidopsis.** Williamson LC, Ribrioux SP, Fitter AH, Leyser HM <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11402214>
- **The role of nutrient availability in regulating root architecture.** José Lo'pez-Bucio, Alfredo Cruz-Ramírez and Luis Herrera-Estrella
<http://www.public.iastate.edu/~bot.512/papers/Lopez-Bucio.pdf>