

## **Suivi de reprise et d'enracinement des arbres transplantés grâce aux sondes tensiométriques Watermark.**

Exemple sur platanes de la Place du marché de Carouge (Genève)

L. Chabbey : Revue horticole Suisse Vol. 77 N° 1-2, janvier février 2004  
Technique initiale mise en œuvre avec la société Hydrasol.

Résumé et actualisé par l'auteur en 2007 à la demande de Challenge Agriculture.

La première partie de cet article résumé propose une « *check List* », concernant le sol, préalable à la transplantation d'arbres en milieux urbains.

Dans la seconde partie, on découvre les résultats du pilotage de l'arrosage par sondes tensiométriques, du suivi de l'enracinement et du grossissement de tronc des platanes de la place du marché de Carouge.

Assurer la reprise, la survie et le grossissement d'un arbre transplanté en milieu urbain n'est pas chose aisée. Les dimensions de la fosse de plantation, le choix des mélanges terreux, les systèmes de haubanage et de protection des arbres, le procédé d'arrosage et les contrats de garantie de reprise des arbres doivent s'adapter aux conditions de chaque site.

Le coût de plantation d'un arbre, pour une même espèce de même dimension, variera en fonction de l'urbanisation et des contraintes du site envisagé.

### **Etude préalable du site de plantation**

Avant d'envisager toute transplantation, des questions préalables s'imposent :  
Des arbres ont-ils déjà poussé à cet endroit ? De quoi sont-ils morts ? Y a-t-il des arbres à proximité, leur vigueur est-elle satisfaisante ? Ensoleillement disponible pour la future plantation ? Perméabilité du revêtement de surface ?

L'étude de sol doit être menée en gardant à l'esprit les fonctions demandées au sol sur le long terme : enracinement des arbres, alimentation hydrique et minérale.

Un profil de sol doit être réalisé (définition du type d'anthroposol (1) pour caractériser la fosse de plantation, son hétérogénéité et ses discontinuités (différents horizons, densité apparente, perméabilité, teneurs en argile et en matière organique, éléments fertilisants disponibles et de réserves, conductivité et pH).

Une tranchée continue qui relie les fosses entre elles est-elle envisageable ? La création de tranchées en direction d'une zone d'enracinement adjacent peut aussi permettre une croissance à long terme des arbres.

Existe-t-il une nappe perchée en hiver ? Des relevés piézométriques ou la réalisation d'un profil en période hivernale peuvent fournir ces informations essentielles.

Des mesures de la perméabilité des horizons profonds vont nous permettre de décider du bien-fondé de la pose d'un drainage en fond de fosse.

Dans cinq ans, si j'arrête les arrosages, l'arbre a-t-il des chances de survie ?

Quelle sera sa taille dans vingt ans ?

## **Choix de l'espèce**

Pour l'aménagement de sites urbains, le choix de l'espèce devra s'effectuer en fonction des contraintes du site, et pas uniquement sur des critères de design ou de satisfaction de demandes symboliques ou culturelles.

## **Concept de plantation**

Il est souhaitable de planifier les projets de plantation simultanément aux projets d'urbanisation, afin d'aménager un espace vital adéquat.

Le plus compliqué est d'harmoniser les compétences et exigences de tous les intervenants : maître d'œuvre, maître d'ouvrage, expert en génie civile, architecte paysagiste, pépiniériste, jardinier, laboratoire d'analyse, expert en sol et substrat...

## **Check-list :**

- Volume de la fosse de plantation et d'éventuelles tranchées continues.
- Systèmes de protection pour éviter les conflits racines / pavage et affaissement de bordure (route, trottoir, esplanade, etc.).
- Définition du type de mélange terreux envisagé selon les horizons (amélioration du sol existant, remplacement du sol existant par un substrat, ou choix d'un mélange terre - pierre).
- Caractéristiques physiques et chimiques des différentes terres ainsi que leur état d'humidité lors de la mise en place. Des renseignements quant à leur origine, mode de décapage, stockage permettent d'éviter bien des conflits quand à la dénomination souvent trop vague de « terre végétale ».
- Système de haubanage de l'arbre, protection du tronc et protection du sol (grilles, pavage, copeaux etc.)
- Type de revêtement de surface et caractéristique de perméabilité en égard des précipitations atmosphériques.
- Définition de la hauteur de plantation, en prévoyant le tassement des mélanges terreux dans la fosse.
- Système d'arrosage en cuvette, arrosage manuel ou par goutteurs autorégulés, tuyaux suintants, double couronne d'arrosage, etc.).
- Perméabilité et de capacité de rétention en eau des sols mis en place, afin de définir le débit d'arrosage maximum et la quantité d'eau nécessaire pour remplir le volume de sol considéré, en évitant les pertes d'eau par lessivage.
- Plan de pause des sondes pour piloter l'arrosage et suivre l'enracinement.
- Définition du contrat « garantie de reprise de l'arbre ».
- Mise en place d'un agenda pour l'ensemble du projet.

## **Suivi de chantier**

Un bon suivi de chantier est essentiel pour assurer la réussite de la reprise, qui démarre dans la pépinière fournissant les végétaux, et se poursuit avec la fabrication des mélanges terreux et de leur mise en place. L'humidité des différents matériaux doit être connue. On veillera aux conditions météo afin d'éviter toute atteinte physique qui diminuerait la porosité et la perméabilité du sol, augmenterait sa densité apparente et hypothèquerait l'enracinement.

## **Garantie de reprise de l'arbre**

Un arbre transplanté mal conduit dépérit dans les 2 à 4 ans suivant transplantation. Donc, la garantie de reprise doit durer 3 ou 4 ans, avec suivi tensiométrique pour piloter les arrosages et suivre l'évolution de l'enracinement.

Des objectifs de grossissement de tronc peuvent être proposés pour la deuxième et troisième année avec, le cas échéant, une plus-value financière sur objectifs.

Ainsi, les collectivités publiques ont de sérieuses garanties quand à la bonne gestion des deniers publics et à la pérennité et l'homogénéité de leurs espaces verts.

L'arbre doit conserver une espérance de vie supérieure à la nôtre !

Pour tout bon jardinier : reprise, croissance et développement d'un arbre transplanté dépendent de son bon enracinement.

## **Historique des platanes**

La plantation initiale des deux alignements de platanes qui délimitent la Place du Marché de Carouge remonte à 1808.

La construction en 1977 d'un transformateur de 18000 volts avec un important faisceau de câbles a perturbé le sol et le système racinaire des vieux arbres. Entre 1985 et 1995, treize platanes de 1808 périssent dans le bas de la place et 19 tentatives de replantation échouent (5). En 1998, notre étude des sols de la place du marché de Carouge (6) met en évidence une synergie de causes :

- Grande étanchéité de la place qui limite les possibilités d'infiltration des pluies
- Teneur en argile excessive de la motte de certains platanes
- Difficultés de gestion de l'arrosage (manque ou excès)
- Roulement des véhicules à proximité des troncs (compactage du sol)
- Coups portés à la base des troncs par le stationnement des véhicules, notamment lors du marché bihebdomadaire.

Les mesures de conductivité écartent l'excès de salinité (déneigement, excréments..)

L'étude (6) préconise donc les mesures à prendre lors de la replantation

- Toute mesure visant à augmenter la perméabilité du revêtement est à encourager (dalle alvéolée, plaque ajourée, grille, etc.)
- Pose d'un système de protection des arbres contre le trafic automobile
- Choix de végétaux dont la motte ne possède pas plus de 25 % d'argile
- Plantation surélevée en cuvette
- Pose de sondes tensiométriques à différentes profondeurs pour piloter l'irrigation.
- Choix d'un mélange terreux optimal et reconstitution d'un profil de sol adéquat.

## La nouvelle plantation

En novembre 2001, 35 jeunes platanes dressent leur cime sur la place du marché. Les détails techniques (type de fosse et de substrats, choix des terres pour les mélanges, concept d'arrosage et de protection de l'arbre) ont déjà été décrits (7-8)

## Positionnement de 3 sondes par arbre

La place du Marché a été équipée de sondes Watermark<sup>®</sup>, utilisées avec succès sur différents chantiers en France (10) La gamme de mesure est de 0 cb à 200 cb (+/- 5 cb). Les sondes sont installées pour cinq ans et les fils reliés aux sondes sont aisément escamotables afin d'éviter les dégradations.

La mise en place de ces sondes requiert certaines précautions, pour assurer un bon contact sol / sonde. Une tarière spéciale est nécessaire ainsi que la fabrication d'une boue à base de silt qui servira au pralinage de la sonde à la mise en place.

18 platanes sur les 35 transplantés, ont été équipés de 3 sondes Watermark.

Profondeur et distance au tronc en cm des 3 sondes ::

•28 /• 25, •28 /• 60 •75 /• 90.

**Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.**

De plus, sur 3 des 18 arbres, le dispositif est triplé (9 sondes) pour estimer la variation spatiale.

## Coefficient correcteur des sondes

Pour cette étude, nous avons établi nous-mêmes en 2002 la corrélation entre sondes Watermark<sup>®</sup> et tensiomètres à aiguille. Depuis 2004, Challenge Agriculture (distributeur européen) livre des lots biannuels de sondes Watermark affectés d'un coef correcteur variant entre 1 et 1.2

Résultat = lecture x coef correcteur (du lot bisannuel de sondes)

## Système d'arrosage

Le système d'arrosage est constitué de deux réseaux distincts (en partie haute et basse de la place). Chaque platane est équipé de 8,3 m de tuyau installé en serpentín au pied de l'arbre. Ce tuyau, muni de goutteurs autorégulés tous les 33 cm fonctionne pour une gamme de pression variant de 1 à 3,5 bar. Ce système souple, permet de favoriser l'arrosage de la motte en première année et, après la première année, en le déplaçant, permet de stimuler un enracinement aussi large que possible.

Les consignes d'arrosage ont été données en nombre d'heures et calculées à l'aide des données suivantes :

- Une longueur de tuyau de 8.3 mètres
- Un débit de  $2,2 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$
- Une surface du sol irrigué de  $3,14 \text{ m}^2$

Le débit horaire est donc de :  $8,3 \cdot 2,2 / 3,14 = 5,8 \text{ l} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$

Pour simplifier, les consignes d'arrosages ont été de 4, 6 ou 8 heures soit respectivement,  $23 \text{ l/m}^2$ ,  $35 \text{ l/m}^2$  et  $46 \text{ l/m}^2$ .

## Choix des seuils d'arrosage

La définition des seuils d'arrosage est un paramètre essentiel.

En agronomie, on considère généralement la réserve d'eau utile (RU) dans un sol comme la quantité d'eau qu'une plante peut extraire d'un sol entre la situation où le sol est à la capacité au champ (10 centibars) et la situation où le sol se trouve au point de flétrissement (1500 centibars).

Le sol est à la capacité au champ lorsqu'il a été saturé d'eau et que l'eau excédentaire s'est évacuée par drainage naturel. Il est au point de flétrissement quand il est devenu tellement sec que la plante ne parvient plus à extraire de l'eau et commence à flétrir.

Bien que théoriquement l'eau dans le sol soit disponible pour la plante jusqu'à 1500 cb, seule une partie de l'eau disponible comprise de 10 à 100 cb est facilement utilisable, c'est la réserve facilement utilisable (RFU). Une fois la RFU utilisée, la croissance de la plante est réduite. Pour obtenir des rendements agronomiques élevés, il faut s'assurer que la tension ne dépasse pas le seuil supérieur de 100 cb.

Les valeurs critiques sont moins bien documentées pour les arbres, la valeur du point de flétrissement n'est pas déterminée.

En milieu urbain les paramètres tels que le volume de sol disponible, sa capacité de rétention en eau et les facteurs atmosphériques vont modifier de façon plus importante les flux d'eau à travers le végétal.

Des études récentes en milieu urbain (12) sur *Fraxinus americana*, estime que la limite supérieure pour l'eau facilement utilisable se situe entre 90 cb et 110 cb.

Des valeurs seuil de déclenchement de l'arrosage pour des arbres caducs comprises entre 60 et 80 cb sont données (13).

Dans notre étude, les seuils de déclenchement de l'arrosage ont été fixés à **75 cb**

## Conduite de l'arrosage en 1<sup>ère</sup> année :

L'année de plantation, c'est la sonde •28 /• 25 se trouvant dans la motte qui pilote l'arrosage au seuil de 75 cbars. La motte constitue le lieu d'absorption privilégié pour l'eau et les éléments minéraux. On doit assurer la reprise de l'arbre et éviter tout stress hydrique dans la motte et sa région périphérique. Ceci pour minimiser le choc de plantation et permettre des arrosages compensant la consommation de l'arbre

## Suivi de la progression de l'enracinement :

La progression de l'enracinement s'observe avec la sonde •28 /• 60 en périphérie extérieure de la motte, puis à terme avec la sonde distante •75 /• 90.

Tant que les racines ne sont pas parvenues à cet endroit, la tension n'y évolue peu.

Si les racines colonisent l'endroit et se densifient, la tension augmente et accélère.

Cette stratégie de désigner comme sonde pilote la sonde •28 /• 60 en périphérie de motte lorsque les racines l'atteignent, puis de choisir la sonde distante 75 /• 90 favorise un enracinement volumineux.

### **Conduite de l'arrosage en 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année :**

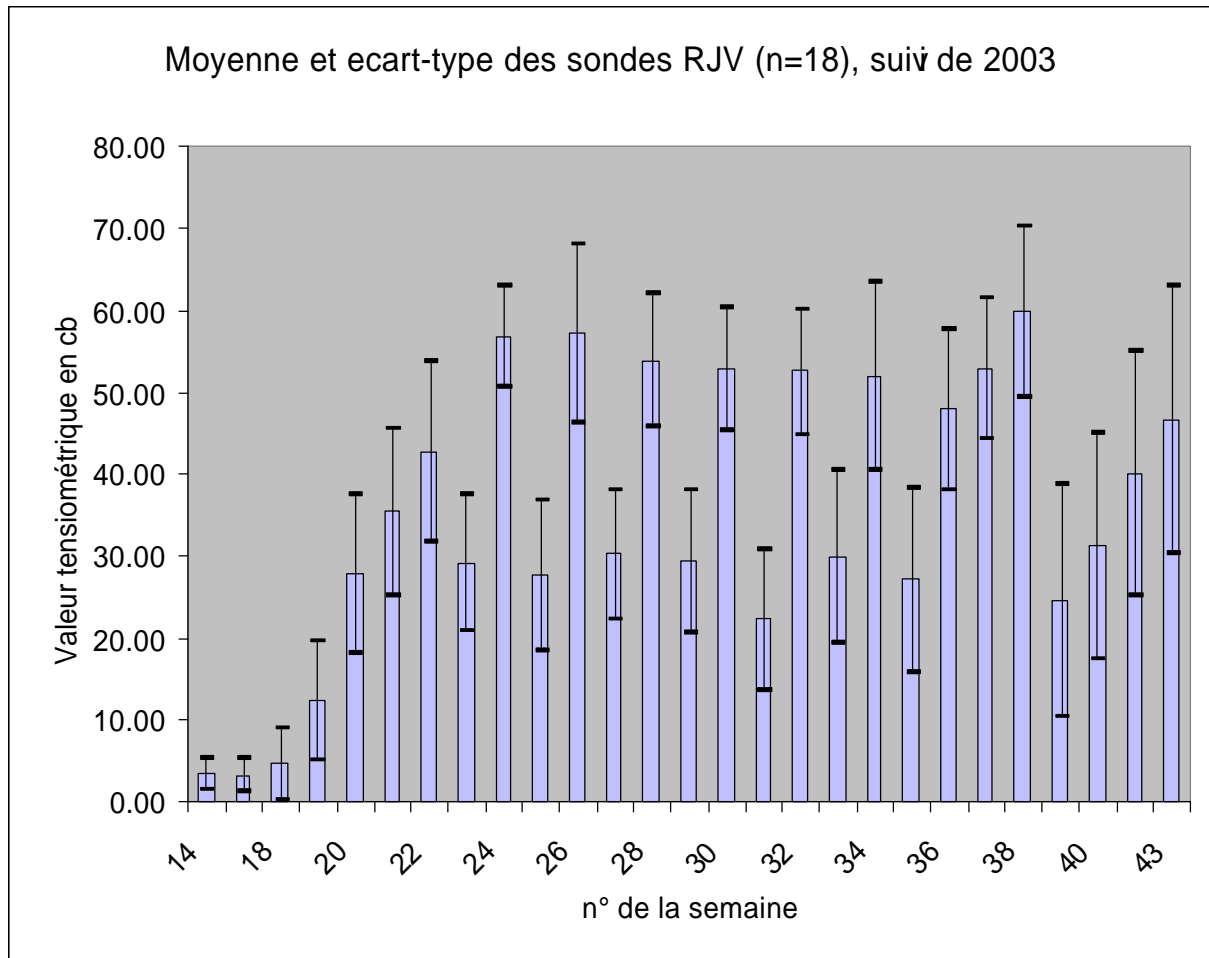
En deuxième année, si le front racinaire a atteint la sonde •75 /• 90 (75 cm de profondeur / 90 cm du tronc) cette sonde pilote l'arrosage au seuil de 75 cbars. Cette façon de procéder incite l'arbre à développer son système racinaire.

Par la suite, toujours pour contraindre l'arbre à développer son système racinaire, le seuil de déclenchement de l'arrosage de la sonde •75 /• 90 peut être progressivement monté de 75 cb jusqu'à 150 cb.

### **Résultats**

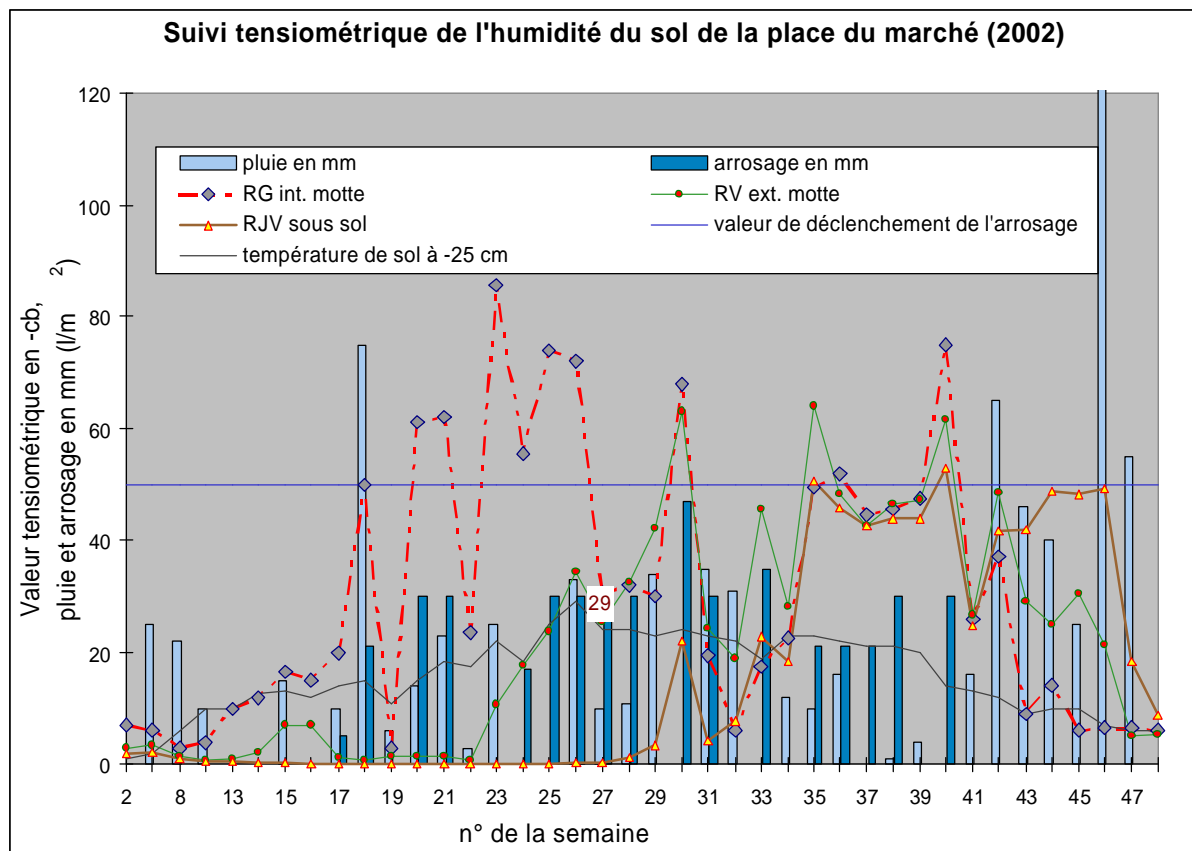
Les relevés tensiométriques, effectués le mardi, sont introduits sur un logiciel qui calcule pour chaque groupe de sondes, les valeurs médianes, maximales, minimales et les écarts-types. Après interprétation des données, les résultats sous forme de graphique ainsi que les consignes d'arrosage sont transmis le jour même par e-mail au service de la ville de Carouge qui effectue les arrosages le vendredi.

Graphique suivant présente la variabilité des mesures des sondes •75 /• 90 lors du suivi 2003



Les consignes d'arrosage sont données en fonction de la moyenne des mesures. Les coefficients de variation des mesures du potentiel matriciel sont compris entre 11 et 95 %. Ces valeurs correspondent aux valeurs de variabilité spatiale habituellement rencontrée dans le sol.

### Graphique n°3 suivi tensiométrique de première année (2002)

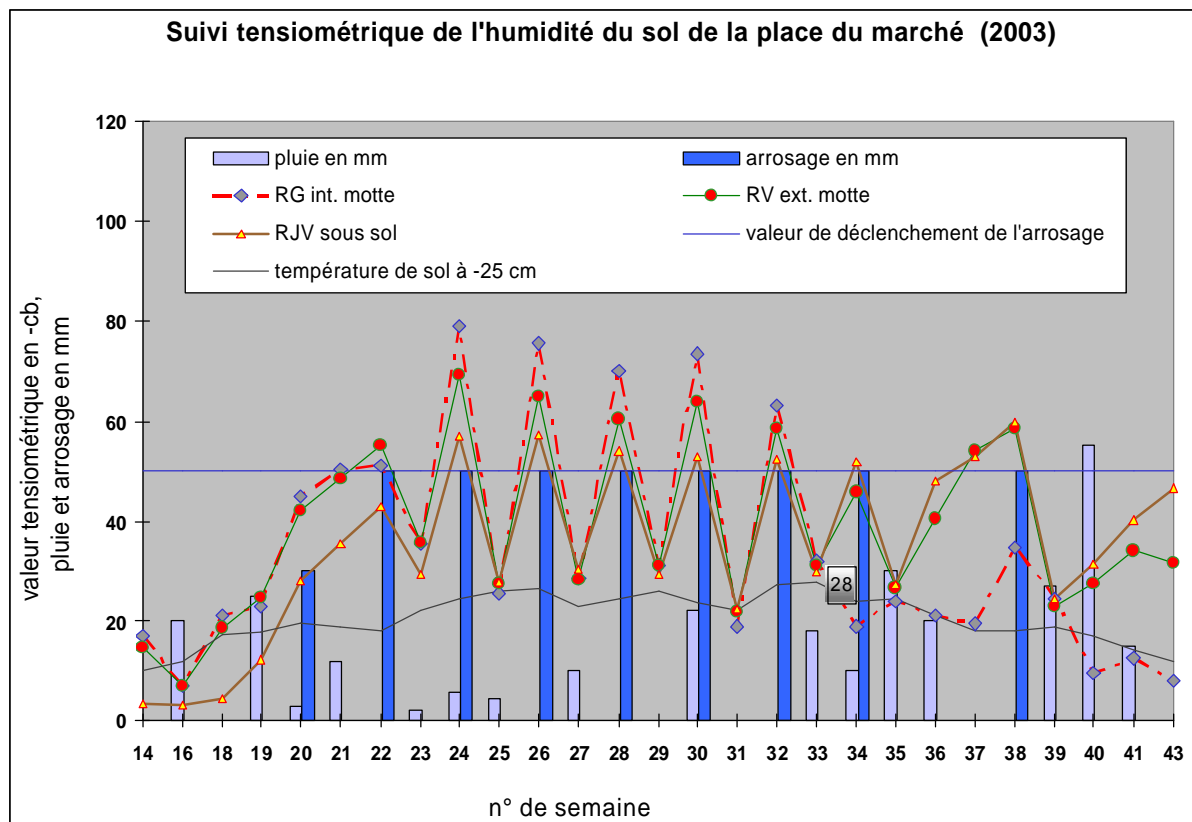


En première année, le suivi tensiométrique dans la motte et en périphérie nous amène aux constatations suivantes :

- Les sondes •28 /• 25 (dans la motte) montrent que le dessèchement du sol débute pour la totalité des arbres entre le 18 mars et le 4 avril (semaine n°14-15), c'est le début du prélèvement d'eau par les racines de la motte, début mai (n°18) elles atteignent le seuil de déclenchement (75 cb) un arrosage de 23 mm est effectué suivi d'une grosse période pluvieuse, les sondes redescendent à 0 cb.
- Par la suite, 16 arrosages en 2002 (1438 l/arbre), ont été nécessaires pour faire redescendre le potentiel matriciel de l'eau du sol en dessous des valeurs seuils (75 cb). A partir de mi-octobre (n° 41), les pluies sont suffisantes.
- Les sondes •28 /• 60 (périphérie de la motte) commencent à présenter un dessèchement entre le 3 et le 17 juin (n° 23). A fin juillet (n° 30) les valeurs sont supérieures au seuil de 75 cb un arrosage plus important est effectué (8h soit 46 l/m<sup>2</sup>). A partir de ce moment les valeurs seuils de déclenchement sont pilotées par les sondes •28 /• 60. Les racines ont colonisé la périphérie proche de la motte.
- Les sondes distantes •75 /• 90 présentent entre le 8 et le 24 juillet (n° 29-30) un début de dessèchement, à mi-août le dessèchement s'intensifie suite au prélèvement d'eau par les racines qui s'installent dans l'horizon profond. En fin de saison (n° 43-46), ces sondes montrent un dessèchement plus marqué de l'horizon profond par rapport aux sondes de surface. Il faut attendre les grandes pluies des semaines n° 46 et 47 pour retrouver des valeurs proches de la capacité au point de rétention (10 cb).



## Graphique n°4 suivi tensiométrique de deuxième année (2003)

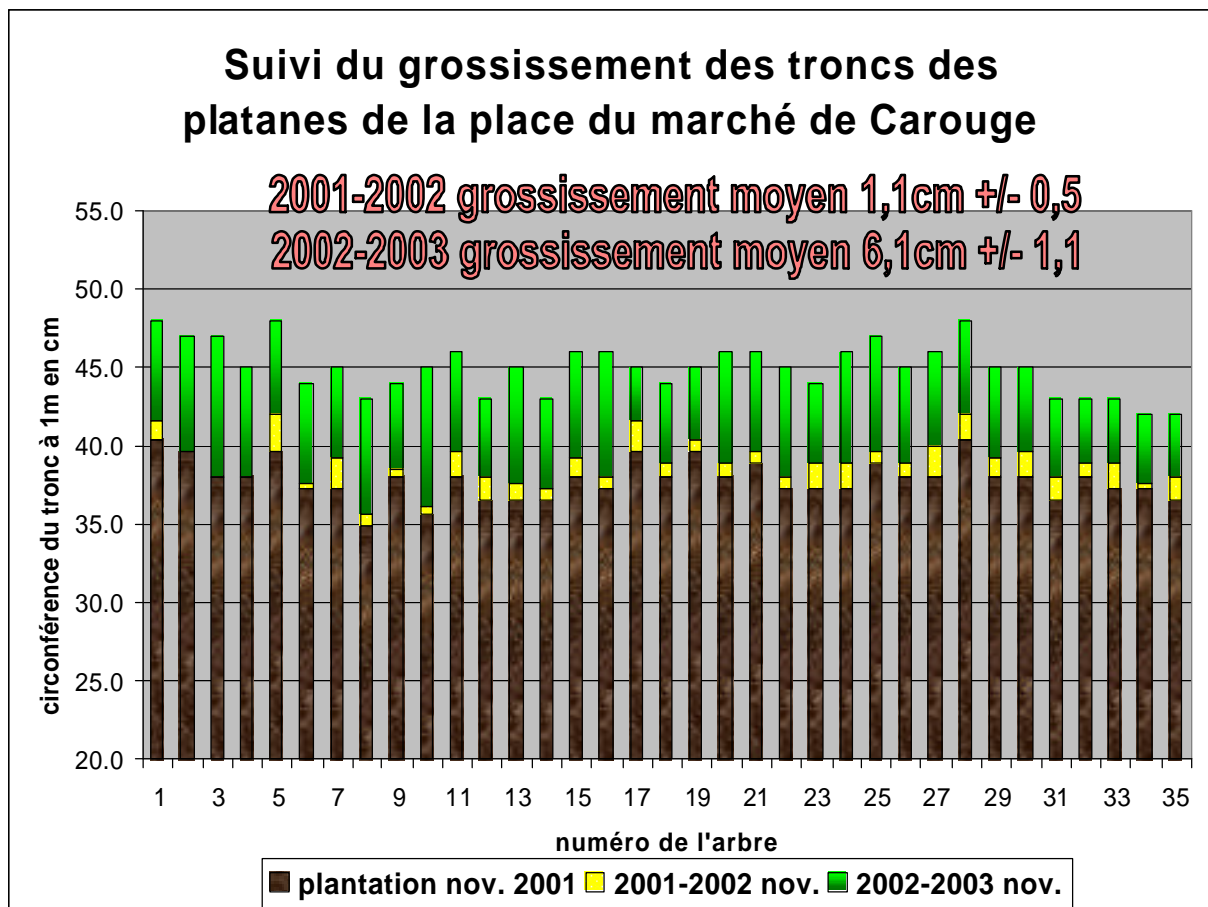


- En deuxième année, les racines des arbres ayant colonisés l'ensemble des zones où sont installés les sondes, la réaction est différente par rapport à 2002. En effet, dès fin avril (semaine n° 18) l'ensemble des sondes réagissent simultanément. On remarque toutefois que les sondes •75 /• 90 présentent un dessèchement moins prononcé.
- Le déclenchement de l'arrosage en deuxième année se fait sur la base des sondes •75 /• 90, pour inciter les racines à coloniser les horizons profonds, dans l'espoir, qu'à terme, les arbres n'aient plus besoin d'arrosage.
- En deuxième année, 8 arrosages (1230 L / arbre) ont été nécessaires pour faire redescendre le potentiel matriciel de l'eau du sol en dessous des valeurs seuils (75 cb). Le premier arrosage de la semaine n° 20 a été déclenché pour contrôler le système d'arrosage.
- A partir de fin septembre (n°38) le dernier arrosage permet de faire redescendre le potentiel matriciel de l'eau du sol en dessous des valeurs seuils, par la suite les précipitations prennent le relais des arrosages.
- A partir de fin août (n° 34) les sondes •28 /• 25 (dans la motte) présentent un dessèchement beaucoup moins important. Cela peut s'expliquer par le fait que les racines actives pour le prélèvement de l'eau ne se trouvent plus dans la motte.

## Grossissement du tronc

L'enracinement conditionne la reprise d'un arbre, puis sa croissance et son développement. Afin de quantifier la croissance des arbres, des mesures de la circonférence des troncs à un mètre de hauteur ont été effectuées à la plantation, puis chaque année, en fin de saison (novembre).

### Graphique n°5 suivis du grossissement des platanes



Ces relevés amènent le constat suivant :

- Comme convenu, les arbres livrés sur la place du marché sont bien tous des 35-40 cm à la plantation.
- La première année, les arbres ne grossissent pratiquement pas du fait du choc de transplantation. Ils doivent puiser dans leurs réserves pour recréer leur système racinaire.
- En deuxième année, on constate un grossissement très important d'environ 6 cm. Ce résultat nous conforte dans la technique de pilotage de l'arrosage, dans le choix des seuils d'arrosage, ainsi que dans le choix des substrats mis en place (fertilité chimique, physique et biologique).
- A ce stade, le constat d'enracinement et de croissance de l'arbre nous permet d'affirmer qu'il y a eu reprise des arbres.
- Le grossissement moyen des platanes en pleine croissance dans la pépinière allemande d'où ils proviennent est de l'ordre de 5 cm par an.

## **Conclusion :**

Le dispositif de suivi du potentiel matriciel de l'eau du sol, dans le temps et dans l'espace, nous a permis de suivre la progression du front racinaire. L'ensemble des zones où se situent les sondes a été colonisé très rapidement, dès la première année après plantation.

Le seuil d'intervention d'arrosage de 75 cb pour maintenir le potentiel matriciel de l'eau du sol proche de valeur compatible avec la RFU est pertinent.

Le fait de choisir comme sonde pilote les sondes qui sont dans la zone prédominante d'influence du front racinaire (•28 /• 25 dans la motte, puis •28 /• 60 périphérie de la motte, puis 75 /• 90 (localisée en profondeur) semble favoriser l'enracinement dans un volume de sol important.

Le grossissement des troncs en deuxième année, confirme la reprise des arbres et leurs bon état physiologique.

Le suivi tensiométrique de troisième année va nous renseigner sur les périodes d'interventions d'arrosage et sur les possibilités de restreindre le nombre d'intervention d'arrosage, (16 arrosages en 2002 et 8 en 2003).

Les consignes d'arrosage en 2004 se feront d'après les sondes •75 /• 90, le seuil de déclenchement de l'arrosage va passer de 75 à 150 cb, dans l'optique de favoriser un enracinement en profondeur.

Le suivi par la méthode tensiométrique ne nous permet pas de définir si les platanes de la place du marché de Carouge pourront se passer totalement de l'arrosage.

D'un point de vue économique, de tel suivi peut être envisagé dans les chantiers d'importance en condition urbaine.

Tous les arbres ont repris Aucun remplacement n'a été nécessaire.

Le nombre d'interventions d'arrosage a été optimisé.

Dans l'avenir, nos efforts doivent se concentrer sur la simplification des procédés (un minimum de sondes pour un maximum d'information) et dans la formation de gens du métier pour effectuer les mesures, transmettre les données et à terme, les interpréter.

Ces étapes franchies, la généralisation de cette technique tensiométrique paraît tout à fait profitable à l'ensemble des partenaires concernés par l'arbre en milieu urbain.

Photographie de la place du Marché de Carouge 21 mois après plantation (25/08/03)



Mes remerciements vont à l'ensemble des partenaires qui ont participé de près ou de loin à la réussite de cette replantation.

## Bibliographie

- (1) J.-P. Rossignol. (1996) "Les sols urbains"  
La plante dans la ville. Angers (France) 5-7 novembre 1996  
Ed. INRA, Paris 1997 (Les colloques, n° 84) pp 237-246.
- (2) C. G. Ramsey, H. R. Sleeper : « Architectural Graphic Standards, 1998 Cumulative Supplement, 9th Edition »  
New York, John Wiley & Sons, Inc. 1998. ISBN: 0-471-29553-1
- (3) G. Ware. (1994). "The right plant for the right place".  
American nurseryman , vol. 180(3), pp. 30-33.
- (4) G. Ware. (1994). "Ecology bases for selecting urban trees",  
Journal of Arboriculture 20(2), pp. 98-103.
- (5) Commune de Carouge "Délibération pour la remise en état complète de la place du Marché et l'amélioration des installations techniques".  
Délibération n° 21-2000, 28 février 2000.
- (6) L. Chabbey (1998) « Rapport d'observation sur les sols de la place du Marché de Carouge ». Centre de Lullier, Laboratoire cantonal d'agronomie, p. 53.
- (7) L. Chabbey. (2002). "L'agronomie au service du paysage".  
Revue horticole suisse, Vol. 75, n° 3-4, pp. 100-104.
- (8) C. Villat et A. Etienne. (2002). "Carouge – un cas d'école".  
Revue horticole suisse, Vol. 75, n° 3-4, pp. 95-99.
- (9) R.-E. Yoder et al. (1998) « Soil water sensor performance »  
Applied engineering in agriculture, Vol. 14 (2), pp. 121-133.
- (10) Bensaoud A., Marié X. (2000) "Arbre d'alignement : évaluation de l'enracinement par la méthode tensiométrique".  
PHM revue horticole n° 415 pp. 40-43, juin 2000.
- (11) W.R. Whalley et al. (2001) « The design of porous material sensors to measure the matric potential of water in soil».  
European Journal of Soil Science, september 2001, 52, pp. 511-519.
- (12) A. Delcambre, J.-P. Rossignol (1999) « Characterization of moderate hydric stress on ash trees (*Fraxinus americana*) in landscaped areas»  
ISHS Acta Horticulturae 496: International Symposium on Urban Tree Health, pp. 353-360.
- (13) S. Grattan, D. Oster (2003) « Water quality guidelines for trees and vines»  
Drought tip 92-38 USDA Soil conservation service.  
[http://lawr.ucdavis.edu/irrigation/drought\\_tips/dt38.htm](http://lawr.ucdavis.edu/irrigation/drought_tips/dt38.htm)