

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA ROULURE CHEZ LE CHATAIGNIER**

**ETUDE EXPERIMENTALE DES CONSEQUENCES D'AMENDEMENTS CALCIQUES  
I - RELATION ENTRE LA COMPOSITION MINERALE DU MILIEU  
ET CELLE DE JEUNES PLANTS**

FREYSSAC, V., RAHMANI, A., CARLUE, M., VERGER, J.P., MORVAN, H.

Laboratoire de Biologie Cellulaire Végétale et Valorisation des Espèces Ligneuses,  
123, rue Albert Thomas, 87060 Limoges Cédex

**RESUME**

Au cours d'une expérimentation sous serre, menée sur de jeunes plants de châtaignier issus d'un même clone, il a été constaté que leur culture provoquait une dégradation du substrat avec consommation du calcium mais pas des autres cations, y compris lorsque des amendements calciques sont apportés. Les teneurs des cations étudiés dans différents organes et tissus confirment que les écorces et les feuilles sont les principaux lieux de mobilisation cationique mais que les premières peuvent aussi jouer le rôle de source de redistribution lorsque des éléments viennent à manquer. La répartition du calcium endogène varie en présence ou en l'absence d'un apport calcique exogène ce qui renforce l'idée que la faiblesse en calcium disponible dans la plupart des sols du Limousin peut être un facteur limitant pour une bonne cohésion intercellulaire dans le bois des tiges et ainsi favoriser l'expression d'accidents traumatiques comme la roulure.

MOTS CLES : châtaignier, calcium, sol, expérimentation sous serre.

**EXPERIMENTAL STUDIES ON RINGSHAKE IN CHESTNUT TREES**

**RESULTS OF DIFFERENTIAL CALCIUM NUTRITION**

**I - RELATION BETWEEN MINERAL COMPOSITION OF SOIL AND YOUNG PLANTS**

**SUMMARY**

The cultivation in greenhouse of young chestnut plants induces a degradation of the soil permitting the absorption of calcium preferentially to other cations, even if calcium is added to the nutritive solution. Barks and leaves appear the main accumulation sites of cations but barks can also release ions when they lack in the other organs or tissues of the plant. The repartition of calcium in the different areas differs significantly if calcium is added or not. It means that calcium can be a limiting factor for

the intercellular cohesion in the young wood of stems and facilitate later the expression of shake in the trunks of chestnut, especially as in Limousin country where its concentration in soil is low.

KEY WORDS : chestnut tree, calcium, soil, cultivation in greenhouse

## INTRODUCTION

Le châtaignier n'est jusqu'à présent que peu valorisé industriellement, en raison de la fréquence d'un défaut du bois : la roulure. Celle-ci peut se définir comme l'existence, à un moment donné, d'une séparation tangentielle (qui suit la direction du cerne annuel) entre deux portions du bois d'une même tige ou d'une même planche (CHANSON et coll., 1989). CHANG (1972) puis CHANSON et coll. (1989) ont classé en quatre catégories les principaux facteurs considérés comme susceptibles de provoquer l'apparition de roulures :

- Les facteurs liés aux contraintes de croissance; les risques de fissuration sous l'effet d'un niveau de contrainte plus ou moins fréquent (pente, orientation, vent) sont plus élevés chez le châtaignier que pour la plupart des autres bois feuillus, la grande rectitude de fil de son bois favorisant la propagation des fentes.

- Les facteurs traumatiques; quelle que soit leur origine, les dégâts qui atteignent le cambium et induisent la mise en place de tissus atypiques (cals de cicatrisation) semblent favoriser l'apparition de la roulure.

- Les facteurs liés aux contraintes de séchage; de nombreuses roulures apparaissent lors du séchage des billons de bois, surtout lorsqu'il est effectué rapidement (TAHANI et GUITARD, 1987).

- Les facteurs liés à l'environnement; selon FOSTIER (1952), il s'agit notamment de la qualité des sols. En outre, LACHAUSSEE (1953), affirme que les sols à faible rapport Ca/Fe ont une forte incidence sur la roulure, chez le chêne. Ainsi, la carence en calcium se trouve directement incriminée dans la mesure où elle provoquerait une fragilisation de la lamelle moyenne (KALRA, 1956 ; DAVIS, 1949).

Considérant que cette classification est établie sur un nombre limité de critères, CHANSON et coll. (1989) signalent les tentatives de WILSON (1962), MADESCLAIRE (1980), GUIOT (1983) et BONENFANT (1985) pour relier la fréquence d'apparition de la roulure à des critères stationnels ou au type de peuplement .

Plus récemment, des études génétiques ont mis en évidence une relation entre l'état homozygote ou hétérozygote de certains systèmes enzymatiques et la fragilité du bois (FRASCARIA et coll., 1992). Cependant, ces résultats n'ont pu être confirmés par BUREL (1993). Au passage, l'auteur a noté la très grande variabilité génétique de la population française de châtaigniers.

Enfin, des mesures effectuées d'une manière suivie dans un taillis de châtaignier par des stagiaires du Laboratoire de Biologie Cellulaire Végétale et Valorisation des Espèces Ligneuses (DOMAIN, 1991; FOURNIER, 1992; MAISONNIER, 1993) ont montré l'importance d'un apport de calcium sur la redistribution de cet élément au sein de l'arbre. De plus, les effets favorables de l'amendement se répercutent sur les autres éléments minéraux, qui sont davantage fixés, notamment au niveau du bois jeune (VERGER et coll., 1993).

Le milieu naturel, de par sa complexité, étant difficile à appréhender directement, nous avons recherché dans des conditions semi-contrôlées et sur de jeunes plants, à établir et préciser les premiers effets de l'action du calcium sur les relations sol-végétation.

## MATERIEL ET METHODES

### 1 - LE MATERIEL VEGETAL

Les plants choisis pour cette étude proviennent de culture in vitro de châtaignier hybrides clonés (*Castanea crenata* x *Castanea sativa*, cv Marsol C07). Ils ont été enracinés et acclimatés début juin 1993 sur un substrat composé de 40% de tourbe blonde et 60% d'écorce de résineux (Pépinières Coulié-19600 Larche). Après avoir mesuré la longueur de chacun des 100 individus, ceux-ci ont été répartis en 4 lots homogènes en comportant chacun 25. L'un d'eux a été réservé pour des analyses au temps zéro de la manipulation, de manière à constituer une référence de la répartition minérale dans les plants, avant le débourrement des bourgeons.

Avant la plantation, les racines de chacun des plants ont été soigneusement débarassées du substrat utilisé en pépinière, aspergées avec de l'eau déminéralisée puis essorées avec du papier absorbant.

### 2 - LE SUBSTRAT

Le substrat utilisé est composé par l'horizon C d'un sol brun acide oligotrophe (à pH 7), mésotrophe au pH du sol (voir tableau I), formé sur gneiss leptynique (Domaine de Brie, commune de Champagnac-la-Rivière, Haute-Vienne). Comme tous les sols développés sur ce type de roches (VERGER et coll., 1983), il se révèle pauvre en bases échangeables, principalement en calcium (MAISONNIER, 1993).

En raison de la richesse en éléments fins (argiles et limons) du substrat, celui-ci a été allégé avec du sable de Fontainebleau (1/3 de sable pour 2/3 de terre, en masse). Le but est de permettre un bon drainage et de favoriser le développement racinaire. Une culture sur un tel substrat présente, en outre, d'autres avantages :

- se rapprocher du milieu naturel,
- constituer un support naturel carencé permettant de suivre l'action d'apports cationiques.

Le mélange n'a pas été lavé à l'eau déminéralisée, un essai réalisé par MAISONNIER (1993) sur le même sol sans apport de sable, ayant permis de conclure que la libération d'hydrosolubles est négligeable devant l'apport cationique des solutions d'arrosage.

### 3 - LA PLANTATION

Les contenants culturels sont des cylindres en PVC (h=250 mm, d=80 mm, e= 5mm) percés à la base et sous le socle. La longueur de ce pot va permettre aux racines de la plante de se développer sans s'enrouler alors que la nature non poreuse du PVC et le faible diamètre du cylindre vont contribuer à limiter les risques d'évaporation et de stress hydrique. La culture s'est déroulée dans un milieu semi-contrôlé, dans une serre en verre, sous contrôle manuel des apports minéraux et des températures minimales et enregistrement des températures maximales.

Les plants ont été arrosés à l'eau déminéralisée afin de limiter le choc minéral lors de l'enracinement durant les trois premières semaines. L'apport minéral est ensuite réalisé lors de l'arrosage des plants avec une solution de  $\text{CaCl}_2$  : 0, 2 ou 4 meq.l<sup>-1</sup> (milli-équivalents par litre). Le chlorure de calcium se dissout facilement dans l'eau déminéralisée et il est ainsi directement assimilable par la plante.

Cet apport calcique (50 ml deux fois par semaine) a été réalisé en alternance avec un arrosage (50 ml une fois par semaine) par une solution d'oligoéléments ( $\text{H}_3\text{BO}_4$ , 4mM -  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , 1 mM -  $\text{ZnSO}_4$ ,  $7\text{H}_2\text{O}$ , 1 mM -  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ,  $2\text{H}_2\text{O}$ , 1 mM -  $\text{CuSO}_4$ ,  $5\text{H}_2\text{O}$ , 1 mM). Hormis le calcium, aucun autre macroélément n'a été fourni. Cependant, du sodium a été introduit avec la solution d'oligoéléments. L'apport de cuivre a été effectué en raison de la carence connue des sols du Limousin en cet élément (ALANORE, 1980).

#### 4 - RECOLTE ET CONDITIONNEMENT DU MATERIEL

Dans le paragraphe A nous avons indiqué que le premier lot de 25 plants avait été choisi comme référence pour les analyses avant plantation. Les trois autres ont été cultivés dans les conditions décrites précédemment du 03 mars au 27 juin 1994. L'analyse minérale de chaque lot de plants a été réalisée sur différentes zones morphologiques de la plante.

Les axes sont débarrassés des racines, écorcés et privés de leurs bourgeons. Les feuilles, le bois, les écorces et les racines ont été séchées 2 heures à 80°C (arrêt des réactions enzymatiques), et 36 heures à 60 °C (la masse est alors stabilisée). Chaque échantillon a ensuite été réduit en poudre à l'aide d'un broyeur à billes (Prolabo). Les bois récoltés ont été traités en vue d'une analyse biochimique des pectines (FREYSSAC, 1994).

#### 5 - METHODES D'ANALYSES

Les racines et les écorces ont été minéralisées par un mélange sulfonitrique-eau oxygénée selon la méthode de HOENIG et VANDERSTRAPPEN (1978).

La mesure électrométrique du pH du sol est effectuée sur le surnageant d'un mélange sol/solution de rapport 2/5 après mise en contact de 4 heures (pH eau), ou après une agitation rotative de 1heure (pH KCl).

Les bases échangeables sont extraites par percolation à l'acétate d'ammonium 1 N, tamponné à pH 7, pour  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  et par une solution de KCl 1 N, pour  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{Cu}^{2+}$ . Les ions de l'acidité ( $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{H}^+$ ) sont dosés par titrimétrie dans la solution saline, les autres éléments par spectrophotométrie d'absorption atomique (Spectrophotomètre Atomspeck Hilger-Watts H 1170).

La sommation des bases échangeables, du  $\text{Mn}^{2+}$ , et des ions de l'acidité (Ae) donne la capacité totale d'échange (T) au pH du sol.

Des analyses globales des sols ont été effectuées (INRA d'Arras) afin d'établir la teneur en éléments totaux avant et après culture.

## RESULTATS

### 1 - MODIFICATIONS DU SUPPORT MINERAL

Le tableau I représente les quantités de cations échangeables présents dans le sol avant (S<sub>i</sub>) et après les différents types de culture (S<sub>f</sub>0, S<sub>f</sub>2 et S<sub>f</sub>4). Dans tous les cas, les teneurs en calcium, sodium et potassium échangeables augmentent sensiblement après culture, quel que soit le traitement subi. Par contre, le magnésium échappe à cette tendance, sa concentration demeurant relativement stable. Contrairement au potassium et au magnésium qui ne figurent pas dans les solutions d'arrosage, le calcium et le sodium y sont apportés, mais à des doses très différentes.

**Tableau I : ANALYSES PEDOLOGIQUES DU SUBSTRAT AU TEMPS INITIAL (S<sub>i</sub>) ET AU TEMPS FINAL (S<sub>f</sub>)**  
Les indices 0, 2 et 4 correspondent aux doses de calcium administrées pendant la culture (meq. l<sup>-1</sup> de solution d'arrosage)

Traitement	pH	pH	ΔpH	Bases échangeables (meq/100g)					Mn <sup>++</sup>	A.e (meq/100 g)			pH sol		Fe <sup>++</sup>	Cu <sup>++</sup>
	H <sub>2</sub> O	KCl		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S		Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Ae	T sol	V sol		
S <sub>i</sub>	5,10	4,30	0,80	0,30	0,12	0,18	0,15	0,75	0,02	0,40	0,15	0,55	1,32	36,00	0,10	0,010
S <sub>f</sub> 0	4,80	4,15	0,65	0,54	0,13	0,28	0,25	1,20	0,03	0,70	0,20	0,90	2,13	56,00	0,06	0,006
S <sub>f</sub> 2	4,40	4,00	0,40	0,60	0,12	0,29	0,27	1,28	0,03	1,15	0,00	1,15	2,46	53,00	0,06	0,006
S <sub>f</sub> 4	4,56	4,14	0,42	0,56	0,11	0,29	0,25	1,21	0,04	0,65	0,20	0,85	2,10	52,00	0,07	0,006

Ae = Acidité d'échange (meq/100g de sol) - T sol = S+ Ae+ Mn<sup>++</sup> - V sol = S/Tx100 (taux de saturation)

Pour expliquer ces résultats, il est aisé de constater qu'une partie importante du calcium et à un degré moindre du potassium de la réserve minérale du substrat est solubilisée (Tableau II). Ces éléments ne proviennent pas des hydrosolubles. Les mesures effectuées par MAISONNIER (1993) dans les eaux lysimétriques pendant une durée de 2 mois faisant apparaître des libérations de l'ordre de 4, 2,5 et 1 mg.100 g<sup>-1</sup> en K, Na et Ca, respectivement. C'est donc bien une interaction racines/substrat qui permet le relargage de ces ions. Les prélèvements racinaires sont particulièrement marqués en ce qui concerne le calcium, très minoritaire dans le sol et ceci en dépit d'un apport non négligeable. Pour le magnésium, il faut admettre dans certains cas (S<sub>f</sub>0 et S<sub>f</sub>2), un très léger relargage racinaire à partir des plants pour expliquer l'élévation des teneurs dans le substrat, en dehors de tout apport.

**Tableau II : TENEURS TOTALES EN CATIONS DU SUBSTRAT AU TEMPS INITIAL (S<sub>i</sub>) ET EN FIN D'EXPERIMENTATION (S<sub>f</sub>). Les valeurs sont exprimées en mg pour 100g de sol.**

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Mn	Fe	SCT
S <sub>i</sub>	90	110	3530	460	0,6	14,7	1100	5 305
S <sub>f</sub> 0	50	120	3340	460	1,1	17,0	1060	5048
S <sub>f</sub> 2	50	120	3410	470	1,0	15,4	1030	5096
S <sub>f</sub> 4	50	110	3340	470	0,8	14,4	1000	4985

SCT : somme des cations totaux - 0, 2 et 4 sont les doses de calcium administrées pendant la culture (meq.l<sup>-1</sup> de solution d'arrosage)

En outre, une baisse systématique des oligoéléments (Fe, Cu) est observée quelles que soient les conditions expérimentales, ce qui témoigne d'une utilisation croissante de ces cations par la plante. Finalement, l'apport de doses variables de calcium n'influence que très légèrement l'évolution de la composition chimique globale du substrat comme en témoigne les valeurs de la somme des cations totaux mesurés (SCT).

## 2 - MODIFICATIONS DES TENEURS EN CATIONS DANS LES RACINES

Le tableau III-a représente les quantités de cations mesurées dans les racines des plants de châtaignier. Il est à noter que, excepté pour le fer et le sodium, les quantités des principaux cations sont bien plus faibles après qu'avant culture (-41 % pour le magnésium, -68 % pour le potassium, -73 % pour le calcium). Dans ce dernier cas, l'apport de calcium est sans effet sur la teneur de cet élément dans les racines (entre 1,21 et 1,4 meq pour 100 g). Par contre, le calcium influence très nettement les teneurs en sodium et en fer puisque l'absence de traitement calcique aboutit à une diminution d'environ 40 % dans les deux cas. L'apport de calcium ( $R_{f2}$  et  $R_{f4}$ ) provoque une diminution de la teneur en sodium des racines mais elle est moins marquée que pour le calcium, magnésium et le potassium. En outre le même traitement provoque une importante accumulation de fer (+ 200 % environ).

La principale constatation est sans doute que les teneurs en cations des racines de châtaignier a fortement diminué en fin de l'expérience, après culture sur un substrat très pauvre, même si ces plants ont reçu des apports calciques. Par ailleurs, ces amendements influencent fortement l'accumulation du fer.

## 3 - MODIFICATIONS DES TENEURS EN CATIONS DANS LES TIGES

Pour mieux appréhender la distribution des cations dans les tiges de châtaignier, les écorces ont été séparées du bois et les deux types de tissus ont été analysés séparément. Par comparaison aux quantités de calcium présentes initialement dans les écorces (tableau III-c), un appauvrissement peut être constaté en fin de traitement dans les échantillons ayant été carencés et un léger enrichissement dans les échantillons ayant reçu un apport calcique. Il faut noter que cet enrichissement en calcium est plus accusé dans le traitement  $R_{f2}$  que  $R_{f4}$  pour leur part les teneurs en magnésium et potassium sont inférieures aux quantités initiales, surtout en  $R_{f4}$ . Par ailleurs, les quantités de fer et de sodium, tous deux apportés par la solution d'oligoéléments, n'évoluent guère.

Toujours par comparaison aux teneurs initiales, un enrichissement très net en calcium est observé dans le bois (tableau III-b), y compris en l'absence d'apport calcique mais d'autant plus marqué lorsque du calcium exogène est fourni par arrosage. Les teneurs en magnésium et potassium diminuent de plus 50 % de même que celles du fer. Par contre, le sodium reste en quantité très stable.

## 4 - EVALUATION DES TENEURS EN CATIONS DANS LES FEUILLES

Les feuilles sont des organes néoformés ce qui justifie l'absence de valeur initiale (Tableau III-d) puisque l'échantillonnage a été réalisé juste avant le débouillage des bourgeons. Toutefois, les teneurs en cations en fin d'expérience sont assez révélatrices : en effet, si les valeurs mesurées en l'absence de tout traitement ( $F_0$ ) sont considérées comme référence, il apparaît que l'apport d'un amendement calcique, complémenté par des oligoéléments, augmente très sensiblement les quantités de calcium dans les limbes ainsi que celles de magnésium. L'effet se répercute également sur le potassium

et le fer dont les teneurs progressent notamment à l'occasion de l'apport maximal (4 meq.l<sup>-1</sup>) en calcium. Le sodium, quant à lui, demeure remarquablement insensible aux différents traitements.

**Tableau III : TENEUR DES CATIONS, APRES MINERALISATION, DANS LES DIFFERENTES PARTIES DES PLANTS DE CHATAIGNIERS.** Les valeurs sont exprimées en µeq.g<sup>-1</sup> de matière sèche.

d

Feuilles	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
F 0	181,6	141,0	119,7	36,0	4,1
F 2	262,4	190,2	111,3	34,0	4,2
F 4	383,4	222,0	134,4	37,0	7,8

c

Ecorces	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
E i	680,2	284,8	188,5	11,0	4,2
E <sub>f</sub> 0	584,4	205,6	72,4	9,8	4,6
E <sub>f</sub> 2	806,6	346,3	72,4	9,7	6,3
E <sub>f</sub> 4	700,7	134,0	56,9	9,8	5,7

b

Bois	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
B i	24,0	112,0	119,7	6,2	4,5
B <sub>f</sub> 0	38,4	46,0	52,5	5,6	2,0
B <sub>f</sub> 2	46,0	56,0	68,2	7,2	2,2
B <sub>f</sub> 4	44,0	44,0	56,7	6,4	2,0

a

Racines	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
R i	50,3	117,2	217,2	13,0	6,3
R <sub>f</sub> 0	13,7	60,4	63,4	7,5	3,8
R <sub>f</sub> 2	12,1	78,6	70,1	10,5	19,5
R <sub>f</sub> 4	14,0	69,4	77,5	11,6	18,7

i : valeurs initiales (avant culture) - f : valeurs en fin d'expérience  
0, 2 et 4 correspondent aux doses de calcium administrées pendant la culture (meq.l<sup>-1</sup> de solution d'arrosage)

## DISCUSSION

L'examen des résultats et leur interprétation doit tenir compte du fait que les analyses minérales ont été effectuées à la fois dans les échantillons de sol et dans les organes. Dans le premier cas, il s'agit d'apprécier les variations des teneurs en cations du sol comme marqueur de leur plus ou moins grande consommation par les plants. Dans les échantillons végétaux (racines, écorces, bois et feuilles) l'objectif est de relier d'éventuelles variations des teneurs en cations à des modifications de leur distribution dans les différents organes de la plante.

Ainsi, l'apport calcique se traduit par une augmentation progressive de la concentration en calcium dans tous les organes et tissus aériens qui constituent, comparativement aux racines, des lieux de destination privilégiée pour cet élément. Les différences entre les traitements sont particulièrement nettes selon qu'il y a eu apport ou non de calcium. Une comparaison avec les teneurs initiales en calcium dans les organes et tissus préformés (racines, écorces et bois) montrent sans ambiguïté que cet élément est mis en réserve dans les écorces et dans les feuilles, mais pas dans les racines en période végétative. Comparativement, sa teneur dans le bois est relativement faible à ce stade de développement du plant. Les écorces apparaissent comme le principal centre d'attraction pour le calcium avec des teneurs 2 à 3 fois supérieures à celles mesurées dans les feuilles et surtout plusieurs dizaines de fois plus importantes que dans le bois ou dans les racines. Ainsi les organes pérennes du châtaignier sont relativement pauvres en calcium, ce qui correspond bien au fait que le végétal soit considéré comme acidophile. Toutefois, l'écorce des tiges représente un site de réserve efficace accumulant le calcium quand il est disponible dans le sol et le redistribuant s'il vient à manquer. Quant aux feuilles, elles représentent également des puits très attractifs mais ce n'est qu'une situation transitoire puisqu'elles chutent en automne, participant à la constitution de la litière où elles sont dégradées rapidement permettant ainsi un recyclage du calcium au niveau du sol. La faible teneur en calcium mesurée dans le bois, notamment au moment de la reprise d'activité printanière, c'est à dire lors de la réactivation cambiale, est peut-être l'indice le plus important à prendre en compte dans la recherche des causes de la rouille. En effet, c'est à cette époque que de nouvelles strates cellulaires vont se constituer, à partir des divisions successives de l'assise cambiale. Parmi les polymères constitutifs des plaques cellulaires et des parois primaires, les pectines représentent des éléments importants dont le rôle cohésif peut être largement affecté par la possibilité ou non de fixer du calcium. Or, il faut noter l'augmentation du calcium associé aux polymères constitutifs du bois (résultats non montrés) dans ceux d'entre eux qui ont bénéficié d'un apport calcique lors de leur synthèse.

Dans les conditions expérimentales décrites, l'absence de magnésium et de potassium dans les amendements et aussi la consommation par les plantes pour élaborer les tissus expliquent la baisse générale des teneurs en ces éléments essentiels pour le développement du végétal. Toutefois, l'expérience n'ayant duré que quelques mois, les plants n'en ont pas trop souffert, utilisant préférentiellement un mode de redistribution interne et non en prélevant significativement dans la réserve du sol. L'apport calcique a également une influence sur la distribution des autres cations, notamment un effet positif sur les teneurs en fer dans tous les organes et en sodium dans les racines. Par contre, il est sans effet sur le sodium présent dans les parties aériennes. Bien que sa proportion reste quantitativement minoritaire, le sodium apparaît comme un élément particulièrement stable chez le châtaignier.



La diminution de la teneur en calcium total dans le substrat de culture, en fin d'expérimentation, provient à la fois de la dégradation de la réserve minérale du sol et de l'absorption de la moitié de cette réserve par les plants de châtaignier, sans perdre de vue que l'apport spécifique et différentiel lors de l'expérimentation est également entièrement consommé. Les données confirment le rôle majeur du calcium dans la nutrition minérale des espèces ligneuses même pour celles qui sont calcifuges comme le châtaignier. Par ailleurs, la teneur en calcium échangeable, soit la part principale de la totalité des ions échangeables, s'élève en fin d'expérience dans le substrat traduisant ainsi une éventuelle augmentation de la matière organique, principal pourvoyeur de sites d'échange. Par ailleurs, les différences importantes observées pour le calcium peuvent s'expliquer par le fait que le substrat utilisé est un matériau jeune, encore pourvu en minéraux, facilement altérable (type biotite), sur un sol très filtrant. En effet, SPYRIDARIS *et al.* (1967) ont signalé l'activité de la rhizosphère de plants de conifères et d'arbres à feuilles caduques cultivés durant 13 mois sur un substrat contenant de la biotite (2 à 50  $\mu\text{m}$ ) comme seule source de potassium et de magnésium. Celle-ci est transformée en kaolinite et libère  $\text{K}^+$  et  $\text{Mg}^{2+}$  du réseau de la phyllite. Ainsi, le calcium serait libéré dans le milieu, passant de fait à l'état d'ion échangeable et assimilable. Ce type de comportement n'est pas sans rappeler les observations de BRETHERS et NYS (1975) chez les résineux. Il n'était pas encore connu en ce qui concerne le châtaignier.

## CONCLUSION

Les résultats présentés dans cet article doivent être considérés comme préliminaires dans la mesure où ils proviennent d'une seule saison d'expérimentation. Néanmoins, ils confirment la nécessité de la présence du calcium dans l'alimentation minérale du châtaignier. Sa préférence pour les terrains acides ne s'explique que par une mise à disposition très progressive de l'ion qui subit à la fois un recyclage interne (écorces) et externe (feuilles et brindilles), effets que notre dispositif permet d'évaluer efficacement.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALANORE A., 1980.- Contribution à l'étude du cuivre chez les végétaux et plus spécialement dans les prairies corréziennes. Mémoire de D.E.A. de physiologie végétale, Poitiers, 109 p.
- BONENFANT M., 1985.- Croissance et qualité du châtaignier de futaie en Bretagne. E.N.G.R.E.F. mémoire de 3<sup>ème</sup> année, Nancy, 123 p.
- BRETHERS A., NYS C., 1975.- Effets des résineux sur la fertilité des sols. Difficultés des recherches et premiers résultats. *Sci. Sol*, 1, 3-18.
- BUREL L., 1993.- Variabilité génétique du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) : étude des populations du Limousin et de l'Essonne ; lien avec la roulure. Mémoire de D.I.T.A., Dijon, 43 p.
- CHANG C.I.J., 1972.- The cause of ring shake : a review of literature. *Quarterly J. Chinese Forestry*, 6(1), 1-30.
- CHANSON B., LEBAN J.M., THIBAUT B., 1989.- La roulure du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). *Forêt méditerranéenne*, XI (1), 15-34.
- DAVIS D. E., 1949.- Some effect of calcium deficiency on the anatomy of *Pinus tadea*. *Amer. J. Bot.*, 36, 276-282.
- DOMAIN Ph., 1991.- Amendement calcomagnésien d'un taillis de châtaignier : influence sur les eaux lysimétriques, le sol et la nutrition minérale; Mémoire de D.U.E.S.S. Traitement des eaux, Limoges, 62 p.

- FOSTIER G, 1952.- Les lésions des chênes par le gel. *Forêts de France et action forestière*, N°42.
- FOURNIER J. M., 1992.- impact d'un amendement calcomagnésien sur le sol (horizon humifère), sur les eaux et sur les châtaigniers (*Castanea sativa* Mill.) dans un taillis. Mémoire de D.U.E.S.S. Traitement des eaux, Limoges, 76 p.
- FRASCARIA N., CHANSON B., THIBAUT B., LEFRANC M., 1992.- Génotypes et résistance mécanique radiale du bois de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). Analyse d'un des facteurs explicatifs de la roulure. *Ann. Sci. For.*, 49, 49-62.
- FREYSSAC V., 1994.- Influence de la nutrition calcique sur la composition en pectines des tissus de jeunes plants de châtaignier cultivés en conditions contrôlées. Mémoire de D.E.A., Clermont-Ferrand, 33 p + annexes.
- GUIOT A., 1983.- Contribution à l'étude du châtaignier à bois en Bretagne. S.R.A.F. de Bretagne, Rennes.
- HOENIG M., VANDERSTRAPPEN R., 1978.- Dosage de Cd, Pb, Zn et Mn dans les végétaux par spectrométrie d'absorption atomique en flamme - effets de la minéralisation. *Anatasis*, 6(7), 312-316.
- KALRA G. S., 1956.- Response of the tomato plant to calcium deficiency. *Bot. Gaz.*, 118 (1), 18-37.
- LACHAUSSEE E., 1953.- Note upon shake and forest crack of *Quercus robur*. *For. Prod. Abstr.*, 15, (1598)
- MADESCLAIRE A., 1980.- Etude de la châtaigneraie gardoise. Mémoire de 3ème année ENITEF de Nancy.
- MAISONNIER C., 1993.- Les qualités minérales des eaux circulantes et incidentes. Impact des litières forestières et d'un amendement calcomagnésien. Influence sur la qualité des bois. Mémoire de D.U.T. Génie de l'Environnement, Perpignan, 44 p + annexes.
- SPYRIDARIS D. C., CHESTERS G., WILDE S. A., 1967.- Kaolinitisation of biotite as a result of coniferous and deciduous seedling growth. *Soil. Sc. Amer. Proc.* 31(2), 203-210.
- TAHANI N., GUITARD D., 1987.- Etat des contraintes externes dans un billon soumis à un séchage radial. Communication au 2ème colloque Science et Industries du Bois, Nancy.
- VERGER J.P., BAFFET M., DUTREUIL J.P., JAVELLAUD J., 1983.- Etude pédologique du taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.), commune de Châlus. Rapport contrat DDA. Université, 46 p + annexes.
- VERGER J.P., MORVAN H., FOURNIER J.M., MARGA F., MAISONNIER C., FREYSSAC V., DESJOBERT T., DOMAIN P., 1993.- Nutrition minérale du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) ; rôle dans le développement de la roulure ; exemple du Limousin. Laboratoire de Biologie Cellulaire Végétale et Valorisation des Espèces Ligneuses, Limoges, rapport du programme AGROBIO, 36 p.
- WILSON B. F., 1962.- A survey of the incidence of ring shake in Eastern Hemlock. *Harvard Forest Papers* n°5.