

# Statut des nutriments et des métaux lourds des cultures maraîchères et fruitières développées sur les sols oxydiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie

S. EDIGHOFFER

Laboratoire d'Agropédologie, Centre ORSTOM, BP A 5, 98848, Nouméa, Nouvelle-Calédonie

## Résumé

Cette note présente le bilan de quatre années d'enquêtes agropédologiques réalisées chez quatre maraîchers des vallées de la Coulée et de la Lembï situées dans le massif péridotitique du Sud de la Grande Terre. Ces enquêtes ont comme objectif l'établissement d'un référentiel, tant pédologique qu'agronomique, sur les teneurs en nutriments et en métaux lourds du sol et des végétaux cultivés sur les principaux faciès de sols ferrallitiques des vallées en question. L'utilisation de l'espace agricole s'est fait en premier lieu en plaine alluviale et progressivement, par manque de surfaces agricoles disponibles, s'est étendue vers les pentes en zone de glacis. Des variations apparaissent dans la composition en métaux lourds de quatre faciès de sols (la plaine, le glacis, la plaine à hydromorphie temporaire et le glacis à hydromorphie temporaire), qui se traduisent par des différences d'assimilation de ces éléments par les plantes cultivées. Un autre objectif de ces enquêtes est aussi d'identifier les causes des symptômes anormaux de développement des plantes cultivées et de repérer les éventuels risques de toxicité, en nickel et en manganèse par exemple.

## Introduction

Sur les différents faciès des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre, les responsables du Développement Rural observent que les cultures qui y sont réalisées soulèvent de nombreux problèmes. En particulier, les rendements sont faibles (Tableau 1) et l'allure générale des plants est souvent anormale. Les problèmes induits sur la faible fertilité de ces sols avaient déjà été soulevés par Latham *et al.* (1978). Pour tenter de mieux comprendre ces problèmes, il fut donc décidé, dans le cadre de la convention de Recherche entre la Province Sud et l'ORSTOM pour l'étude des facteurs de la fertilité et des conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre, de réaliser une enquête agropédo-

logique chez les agriculteurs de la région en question.

L'enquête a comme objectif l'établissement d'un premier référentiel, tant pédologique qu'agronomique, sur les teneurs en nutriments et en métaux lourds du sol et des végétaux cultivés sur les principaux faciès des sols ferrallitiques des vallées de la Coulée et de la Lembï. Il s'agira en particulier d'identifier les causes des symptômes anormaux de développement chez les végétaux cultivés et de voir comment ces éléments sont absorbés en fonction du type de faciès de sol.

## Matériel et méthodes

Réalisée chez quatre exploitants agricoles des vallées de la Coulée et de la Lembï, l'enquête s'organisera, au niveau de chaque exploitation,

**Tableau 1** Comparaison des rendements réalisés dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie par rapport à des rendements théoriques

| Cultures en plein champ | Rendements réalisés dans le Sud du Territoire | Rendements théoriques (Odét <i>et al.</i> 1989) |
|-------------------------|---|---|
| Ananas-Pineapple        | 25 t/ha                                       | 50 à 65 t/ha                                    |
| Banane-Banana           | 15 à 30 t/ha                                  | 45 à 60 t/ha                                    |
| Carotte-Carrot          | 5 à 30 t/ha                                   | 35 à 60 t/ha                                    |
| Concombre-Cucumber      | 20 t/ha                                       | 50 à 60 t/ha                                    |
| Tomate-Tomato           | 13 à 50 t/ha                                  | 60 à 70 t/ha                                    |

en trois étapes (Edighoffer & Bourdon, 1993) :  
 1 - une collecte d'informations générales par l'intermédiaire d'un questionnaire à remplir chez l'agriculteur, collecte qui doit renseigner sur l'organisation et les itinéraires techniques propres à l'exploitation ;

2 - une reconnaissance des différents faciès pédologiques de l'exploitation, pour mieux comprendre le comportement et / ou les symptômes anormaux de développement des végétaux cultivés. Cette reconnaissance s'appuiera sur la carte morpho-pédologique au 1 / 25 000 ème des vallées de la Coulée et de la Lembi (Bourdon & Becquer 1992 a, b), ainsi que sur un travail de terrain de repérage des volumes de sols et de description de profils culturaux sur les parcelles sélectionnées ;

3 - des prélèvements d'échantillons de sols et de végétaux à des stades définis sur des parcelles sélectionnées.

L'utilisation de l'espace agricole s'est fait en premier lieu en plaine alluviale et progressivement, par manque de surfaces agricoles disponibles, s'est étendue vers les pentes en zone de glacis. Actuellement, la zone de piedmont n'est pas encore mise en valeur par les maraîchers de cette région.

Ces enquêtes réalisées chez quatre agriculteurs de la région de la Coulée et la Lembi ont permis d'analyser 53 échantillons de sols de 0 à 20 cm de profondeur (Tableau 2). Ces échantillons de sols correspondent approximative-

ment à l'horizon cultivé (Ap). Des observations morphologiques de profils culturaux ont permis de distinguer dans chacune des deux zones, plaine et glacis, un faciès présentant une hydromorphie temporaire et un faciès non hydromorphe. Les sols analysés se répartissent donc en quatre types de faciès de sol : des sols de glacis (22 échantillons), des sols de glacis à hydromorphie temporaire (4 échantillons), des sols de plaine à hydromorphie temporaire (4 échantillons) et des sols de plaine (23 échantillons). Les teneurs en éléments totaux ont été dosés, ainsi que les teneurs en nickel extrait au DTPA (Lindsay & Norvell, 1978). A chaque prélèvement de sols est associé une plante cultivée, qui a également été prélevée et analysée en éléments minéraux et en métaux lourds.

## Résultats

### TENEURS EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX DES SOLS CULTIVÉS

Globalement les sols de glacis à hydromorphie temporaire sont plus riches en silice (12,5 % de SiO<sub>2</sub>), mais les sols de plaine hydromorphe et de plaine ont des teneurs en silice très importantes (7,6 % de SiO<sub>2</sub> en plaine et 11,9 % en plaine hydromorphe).

Les teneurs en calcium sont très élevées pour les sols de glacis hydromorphe (0,5 %) et très faibles pour la plaine hydromorphe (0,12 %). Les teneurs en magnésium sont bien plus

**Tableau 2** Comparaison entre les différents faciès de sols (glacis et plaine à hydromorphie temporaire ou non) de leurs teneurs moyennes en éléments minéraux et en métaux lourds.

| Éléments minéraux                          | GLACIS          | GLACIS à hydromorphie temporaire | PLAINE à hydromorphie temporaire | PLAINE          |
|--|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| SiO <sub>2</sub> (%)                       | 1,71 ± 0,6 (22) | 12,5 ± 7,6 (4)                   | 11,9 ± 1,4 (4)                   | 7,6 ± 4,3 (23)  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)         | 67,6 ± 5 (22)   | 49,6 ± 16 (4)                    | 48,8 ± 4,7 (4)                   | 56,7 ± 11 (23)  |
| CaO (%)                                    | 0,3 ± 0,2 (22)  | 0,49 ± 0,3 (4)                   | 0,12 ± 0,03 (4)                  | 0,33 ± 0,4 (23) |
| MgO (%)                                    | 0,29 ± 0,1 (22) | 4,25 ± 3 (4)                     | 3,4 ± 0,26 (4)                   | 2,15 ± 1,6 (23) |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (mg/g) | 4,14 ± 2 (11)   | -                                | -                                | 2,46 ± 1,5 (14) |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en t/ha      | 12              | -                                | -                                | 7,4             |
| MnO <sub>2</sub> (%)                       | 0,99 ± 0,4 (22) | 0,68 ± 0,19 (4)                  | 0,7 ± 0,1 (4)                    | 0,9 ± 0,2 (23)  |
| MnO <sub>2</sub> Ech (ppm)                 | 31,3 ± 19 (22)  | 32,5 ± 38 (4)                    | 37,5 ± 25 (4)                    | 21 ± 21 (23)    |
| NiO (%)                                    | 0,6 ± 0,17 (22) | 1,17 ± 0,03 (4)                  | 1,17 ± 0,24 (4)                  | 1,09 ± 0,2 (23) |
| Ni DTPA (ppm)                              | 9,9 ± 10 (22)   | 252 ± 181 (4)                    | 164 ± 73 (4)                     | 52,5 ± 36 (23)  |

Les valeurs sont les moyennes ± leurs écarts types, entre parenthèses le nombre d'observations.

élevées en glacis hydromorphe (4,25 %).

Les teneurs en nickel total sont plus importantes en zones hydromorphes en glacis comme en plaine (1,17 %) avec une meilleure disponibilité du nickel en glacis hydromorphe (mesure au DTPA : 252 ppm en glacis hydromorphe et 164 ppm en plaine hydromorphe).

Les teneurs en fer sont légèrement plus élevées en zone non engorgée et notamment en glacis (Fe : 67,6 % en glacis et 56,7 % en plaine), pour des valeurs comparables dans les zones à hydromorphie temporaire (plaine et glacis hydromorphes : 49 %).

Les teneurs en manganèse sont comparables en plaine comme en glacis (0,9 %), l'hydromorphie de ces deux zones nous donne des valeurs bien plus faibles en manganèse (0,7 %), par ailleurs, on n'observe pas d'augmentation de la teneur en manganèse échangeable dans ces zones.

On constate également que ces sols cultivés sont déjà très riches en phosphore total : 12 t/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en glacis et 7,4 t/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en plaine.

#### ASSIMILATION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX PAR LES PLANTES

Pour comprendre l'assimilation des éléments minéraux par les plantes cultivées, dans les différents faciès de sols, des comparaisons de teneurs en éléments minéraux dans les tiges et feuilles ont été effectuées pour des espèces cultivées au moins sur deux de ces quatre faciès de sol. En raison du faible nombre d'observations végétales en commun trois comparaisons seront effectuées :

- des cultures maraîchères (tomate, aubergine et courgette) cultivées en plaine et en glacis non hydromorphes ;

- des agrumes (clémentine, citron et orange) cultivés en glacis non hydromorphe et en glacis à hydromorphie temporaire ;  
 - des carottes cultivées en plaine non hydromorphe et en plaine à hydromorphie temporaire.

#### Assimilation de la silice (Fig. 1).

Les tomates en moyennes absorbent plus de silice en glacis qu'en plaine, alors que pour l'aubergine l'absorption est équivalente en plaine et en glacis. Par contre, la courgette assimile plus de silice en plaine qu'en glacis. Le citronnier, cultivé en glacis hydromorphe, a des teneurs en silice 10 fois supérieur aux teneurs en silice du citronnier poussant sur un glacis non hydromorphe. Les carottes ont des teneurs en silice dans leurs feuilles plus importantes en plaine hydromorphe qu'en plaine non hydromorphe. Globalement, la silice est mieux absorbée par les végétaux (sauf la tomate) en plaine (par rapport au glacis), mais aussi mieux absorbée en zone hydromorphe (plaine ou glacis). Ces assimilations plus importantes dépendent des teneurs en silice des sols où ces plantes sont cultivées. La plaine et les zones hydromorphes (de plaine et de glacis) ont des teneurs en silice bien plus importantes (environ 10 %) que le glacis non hydromorphe (environ 2%). L'assimilation de la silice par les plantes dépend donc, du type de sol.

#### Assimilation du fer (Fig. 2).

Les tomates et les aubergines absorbent autant de fer en plaine qu'en glacis, alors que la courgette a des teneurs en fer bien plus importantes en plaine. Les citronniers cultivés en glacis hydromorphes ont des teneurs en fer supérieur dans leurs feuilles par rapport aux teneurs en fer de citronniers cultivés en zone de glacis non

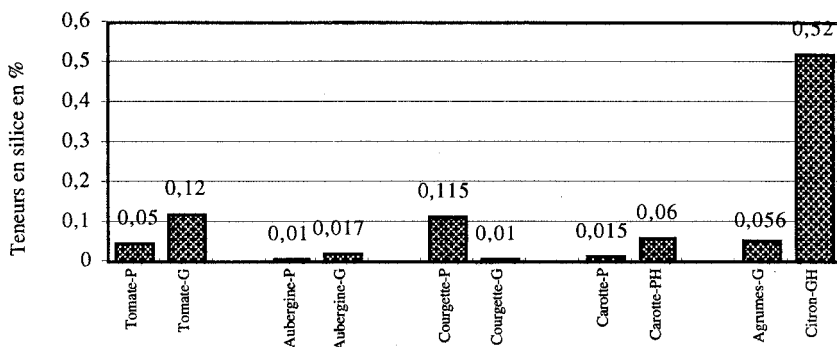


Fig. 1 Comparaisons de teneurs moyennes en silice de plantes cultivées en plaine et en glacis

hydromorphe, mais ces valeurs restent proches des valeurs normales. Les feuilles de carottes cultivées en plaine ont des teneurs en fer supérieures à celles cultivées en plaine hydromorphe. Globalement, le fer est un élément autant absorbé en plaine qu' en glacis. Les agrumes assimileraient mieux le fer en glacis

cium plus importantes. Les carottes assimilent autant de calcium en plaine hydromorphe ou non hydromorphe et les agrumes ont des teneurs plus élevées en calcium en zone de glacis. Pour la tomate, les teneurs observées sont deux fois plus importantes que la norme, et autour de la norme pour les agrumes.

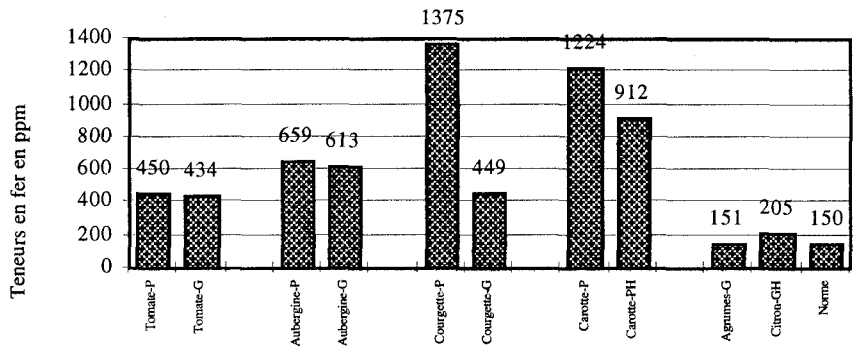


Fig. 2 Comparaisons de teneurs moyennes en fer de plantes cultivées en plaine et en glacis

hydromorphe et les carottes en plaine non hydromorphe. Cependant, ces affirmations sont à nuancer, car elles reposent sur un très faible nombre de répétitions. Ces sols contiennent de

Assimilation du magnésium (Fig. 4). Les cultures maraîchères : tomates, aubergines et courgettes, ont des teneurs en magnésium plus élevées en plaine, alors que les agrumes

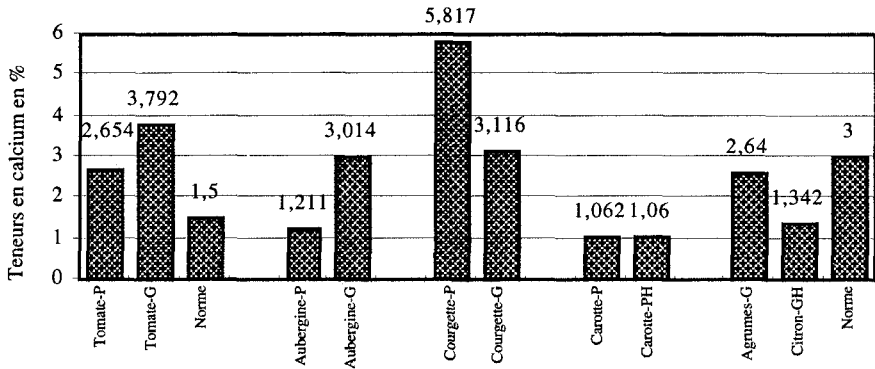


Fig. 3 Comparaisons de teneurs moyennes en calcium de plantes cultivées en plaine et en glacis

grandes quantités de fer (Tableau 2), et les risques de pollution des parties aériennes sont importants, malgré un lavage très soigné des végétaux à l'eau permutée.

Assimilation du calcium (Fig. 3).

Les tomates et les aubergines ont des teneurs en calcium dans leurs feuilles très élevées quand elles sont cultivées en glacis. Par contre, c'est en plaine que les courgettes ont des teneurs en cal-

assimilent beaucoup plus de magnésium en glacis hydromorphe. Il est important de noter que ces très fortes teneurs en magnésium sont très largement supérieures aux valeurs normales pour la tomate et les agrumes. Généralement la plaine et les zones hydromorphes (de plaine et de glacis) sont riches en magnésium et en calcium (Tableau 2), l'assimilation de ces éléments par les plantes se fait donc en fonction des disponibilités dans les sols cultivés.

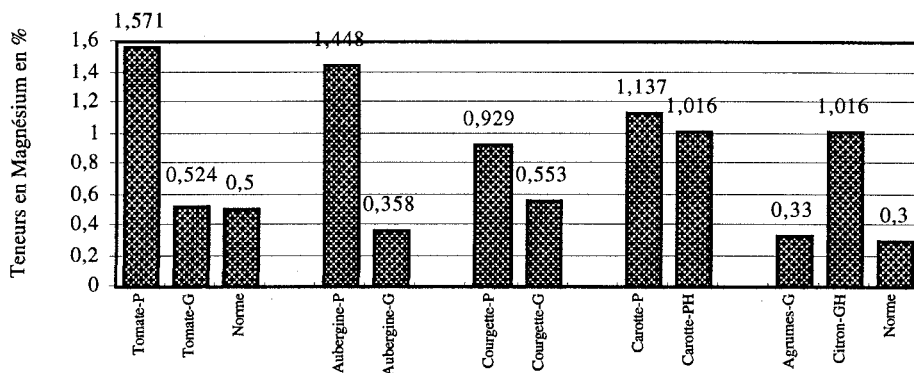


Fig. 4 Comparaisons de teneurs moyennes en magnésium de plantes cultivées en plaine et en glacis

*Assimilation du manganèse (Fig. 5).*

Globalement, l'assimilation du manganèse est identique pour les tomates cultivées en plaine ou en glacis, pour les citronniers cultivés en glacis hydromorphe et en glacis non hydromorphe, pour les carottes cultivées en plaine hydromorphe ou en plaine non hydromorphe. Par contre, les aubergines assimilent mieux le manganèse en glacis, et les courgettes en plaine. Pour des teneurs en manganèse comparables dans les sols de plaine et de glacis (0,9 %) l'assimilation de cet élément est donc indépendante du type de sols (hydromorphe ou non hydro-

seuls de toxicités en manganèse dans les parties aériennes de jeunes plants de céréales : >150 ppm pour l'orge, >160 ppm pour le blé, > 200 ppm pour le riz, > 300 ppm pour l'avoine, > 350 ppm pour le maïs et 800 ppm pour la betterave.

*Assimilation du nickel (Fig. 6).*

Le nickel est mieux assimilé par les plantes maraîchères en zone de plaine (par rapport au glacis), avec des teneurs très élevées (90 ppm de Ni) observées chez l'aubergine cultivée en plaine. Selon Salim *et al.* (1988) une toxicité peut apparaître pour des teneurs supérieures à 27

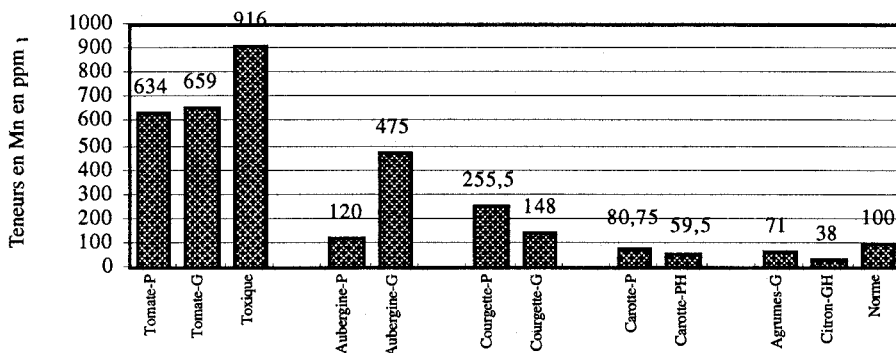


Fig. 5 Comparaisons de teneurs moyennes en manganèse de plantes cultivées en plaine et en glacis

morphe) où elles sont cultivées. Le Bot *et al.* (1990) constatent un début de toxicité dès 916 ppm de manganèse dans les parties aériennes de feuilles de tomates. Les fortes teneurs en manganèse observées dans les tomates cultivées en plaine et en glacis (600 ppm en moyenne avec un maximum de 1200 ppm) doivent être toxiques. Zorn & Prause (1993) donnent les

ppm. Les citronniers absorbent également beaucoup de nickel dans leurs feuilles en zone de glacis hydromorphe (par rapport au glacis non hydromorphe), ces teneurs sont probablement toxiques, car elles sont proches de 100 ppm de nickel alors qu'une toxicité a été observée dès 50 ppm (Vanselow 1966). Les carottes ont également des teneurs en nickel très élevées (autour

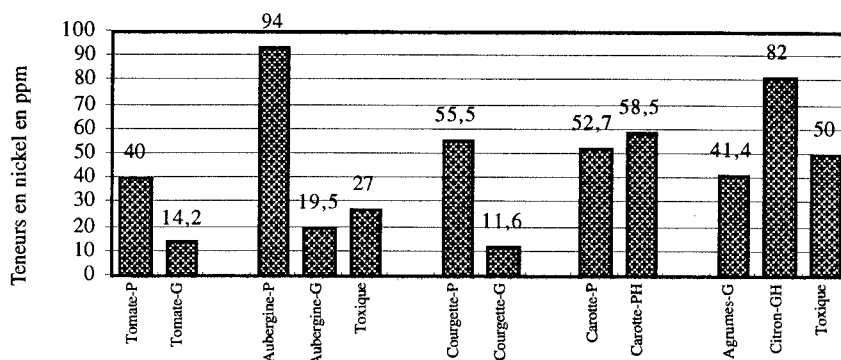


Fig. 6 Comparaisons de teneurs moyennes en nickel de plantes cultivées en plaine et en glacis

de 50 ppm de Ni dans leurs feuilles) en plaine hydromorphe ou en plaine non hydromorphe. Ces teneurs en nickel observées dans les parties aériennes de végétaux cultivées sont très élevées, et elles dépendent du type de sol où elles sont cultivées. En effet, les zones hydromorphes, de plaine et de glacis, comme la plaine non hydromorphe, sont très riches en nickel total (1,17 % pour les zones hydromorphes et 1,09 % en plaine non hydromorphe) et très riches en nickel assimilable par les plantes (Tableau 2). Globalement quelque soit le végétal, le nickel sera mieux absorbé en zone hydromorphe et en plaine, avec des niveaux très élevés, probablement toxiques pour la plante.

### Discussion

D'après les premières observations il apparaît des risques de toxicité en métaux lourds sur différents faciès de sols. En effet, en plaine et en zones hydromorphes (plaine et/ou glacis) la fraction disponible de nickel est plus importante (Ni extrait au DTPA), ceci se traduit par des teneurs en nickel plus importantes dans les feuilles de plantes maraîchères et de plantes fruitières cultivées en plaine et en zones hydromorphes par rapport aux mêmes plantes cultivées en zone de glacis non hydromorphe. Ces teneurs très importantes sont probablement toxiques pour l'aubergine (Salim *et al.* 1988) et pour le citronnier (Vanselow 1966) cultivés en plaine et en glacis hydromorphe. Il semble donc que le nickel soit assimilé différemment par les plantes suivant le type de sol où on les cultive.

Un bon indicateur de la biodisponibilité du nickel est l'extraction réalisée à l'aide du DTPA. En effet, plus un sol est riche en Ni

DTPA, plus on a de chance d'avoir des teneurs importantes dans les parties aériennes des plantes cultivées et donc d'avoir une possible toxicité en nickel, qui pourrait entraîner des problèmes de développement végétatif et des rendements plus faibles.

Un intérêt tout particulier devrait être porté au manganèse, qui est bien assimilé par les plantes maraîchères et fruitières quel que soit le type de sols. En effet, pour des teneurs comparables en manganèse dans les sols de glacis et de plaine (à hydromorphie temporaire ou non hydromorphe) on constate des teneurs en manganèse très élevées et qui varient considérablement entre les différentes espèces cultivées. Ces niveaux sembleraient toxiques pour la tomate (Le Bot *et al.* 1990).

Pour les autres éléments indispensables à la croissance des végétaux comme la silice, le calcium et le magnésium, leurs teneurs dans les végétaux dépend essentiellement de leurs teneurs dans les sols. Les zones de plaine (hydromorphes ou non hydromorphes) et de glacis hydromorphe sont hyper-magnésiennes, avec des teneurs en calcium très faibles. Ceci se traduit par une assimilation du calcium et du magnésium dans les feuilles plus élevée pour les végétaux cultivés sur ces trois faciès de sols, avec une probable carence en calcium (sauf pour la tomate) induite par un excès de magnésium. En effet, Bonzon *et al.* (1991) ont montré sur vertisol hypermagnésien qu'un déficit en calcium chez le maïs entraînait des feuilles lacérées, une diminution de croissance et des baisses de rendements.

## Conclusion

Après constatations de teneurs élevées en nickel et en manganèse dans les feuilles de certains végétaux cultivés, ces deux éléments sont susceptibles d'induire une toxicité :

- pour le nickel, celle-ci semble correspondre à une zonation pédologique bien définie (Becquer *et al.* 1997) ;

- pour le manganèse le phénomène est moins net.

Toutefois d'autres critères peuvent intervenir pour expliquer ces faibles rendements :

- un rapport Mg/Ca généralement élevé, qui peut provoquer une diminution de croissance ;

- l'hydromorphie temporaire dans certaines zones, peut être néfaste pour le développement des agrumes.

## Remerciements

L'auteur remercie la Province Sud de la Nouvelle-Calédonie pour l'aide financière apportée dans le cadre de la convention de recherche entre la Province Sud et l'ORSTOM pour «l'étude des facteurs de la fertilité et des conditions de la mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre».

## Bibliographie

- Becquer T., Bourdon, E. & L'Huillier L. (1997) Mobilité du nickel dans les sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. *Écologie des milieux sur roches ultramafiques et sur sols métallifères* (eds T. Jaffré, R.D. Reeves & T. Becquer), ORSTOM, Nouméa, ce volume.
- Bonzon B., Collet L., Boucaron C., Gourdon F., de Monpezat P. & L'Huillier L. (1991b). Étude des effets des amendements calciques sur un vertisol hyper-magnésien. Résultats du cinquième cycle cultural de l'expérimentation au champ. *Rapport de conventions, sciences de la vie, Agropédologie*, **10**, 75 pp. ORSTOM, Nouméa.
- Bourdon E. & Becquer T. (1992a) Étude préliminaire de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre : zones de la Coulée et de la Lembi. *Rapport de conventions, sciences de la vie, Agropédologie*, **12**, 19 pp. ORSTOM, Nouméa.
- Bourdon E. & Becquer T. (1992b) Étude de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre : zones de la Coulée et la Lembi - Caractérisation physico-chimique des sols. *Rapport de conventions, sciences de la vie, Agropédologie*, **16**, 88 pp. ORSTOM, Nouméa.
- Edighoffer S. & Bourdon E. (1993) Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Enquête sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur différents faciès ferritiques. 1 - Définition et mise à l'épreuve de la démarche agropédologique grâce à une première enquête réalisée chez M. Cochard. *Rapport de conventions, sciences de la vie, Agropédologie*, **22**, 87 pp. ORSTOM, Nouméa.
- Latham M., Quantin P. & Aubert G. (1978) Étude des sols de la Nouvelle-Calédonie. *Notice explicative*, **78**. ORSTOM, Paris.
- Le Bot J., Kirkby E.A., & van Beusichem M. L. (1990) Manganese toxicity in tomato plants : Effects on cation uptake and distribution, *Journal of Plant Nutrition*, **13**, 513-526.
- Lindsay W. L. & Norvell W. A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, **42**, 421-428.
- Odet J., Musard M. & Wacquart C. (1989) Mémento fertilisation des cultures légumières, 389 pp. CTIFL.
- Salim R., Haddad M. & El-Khatib I. (1988) Effect of nickel treatment on the growth of egg-plant. *Journal of Environmental Science and Health*, **A23**, 369-379.
- Vanselow A.P. (1966) Nickel. *Diagnostic criteria for plants and soils* (ed. H.D. Chapman), pp. 302-309. University of California, Riverside.
- Zorn, W. & Prause, A. (1993) Manganese content of cereals maize and beet as indicator of soil acidity. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, **156**, 371-376.



Écologie des milieux sur roches ultramafiques  
et sur sols métallifères

*The ecology of ultramafic and metalliferous areas*



Éditeurs scientifiques - *Scientific editors*

T. Jaffré  
R. D. Reeves  
T. Becquer

L'Institut  
français  
de recherche  
scientifique  
pour le  
développement  
en coopération

ORSTOM

CENTRE DE NOUMÉA