

CONVENTIONS  
SCIENCES DE LA VIE  
AGROPÉDOLOGIE

N° 52

2000

Mise en valeur des sols dérivés  
des massifs ultrabasiques  
du Sud de la Nouvelle-Calédonie

RAPPORT FINAL

Sylvie DUPONT  
Laurent L'HUILLIER  
Patrick LAUBREAUX  
Bernard BONZON

Avec la collaboration de  
IRD : Joseph OUCKEWEN  
Léon TAPUTUARAI  
William NIGOTE  
CREA : Raymond BARRETTEAU  
Grégoire SOUETE

Convention Province Sud/ORSTOM  
N° 294-PVF/DDR  
Notifiée le 12 novembre 1996  
Avenant n° 3 du 15 décembre 1998

CONVENTIONS  
SCIENCES DE LA VIE  
AGROPÉDOLOGIE

N° 52

2000

Mise en valeur des sols dérivés  
des massifs ultrabasiques  
du Sud de la Nouvelle-Calédonie

RAPPORT FINAL

\* Sylvie DUPONT  
\* Laurent L'HUILLIER  
\*\* Patrick LAUBREAUX  
\* Bernard BONZON

Avec la collaboration de  
IRD : Joseph OUCKEWEN  
Léon TAPUTUARAI  
William NIGOTE  
CREA : Raymond BARRETTEAU  
Grégoire SOUETE

\* IRD Nouméa  
\*\* CREA

Convention Province Sud/ORSTOM  
N° 294-PVF/DDR  
Notifiée le 12 novembre 1996  
Avenant n° 3 du 15 décembre 1998



Institut de recherche  
pour le développement

## AVANT PROPOS

Ce rapport dresse le bilan des études conduites de 1996 à 1998 dans le cadre de la convention de recherche passée entre la Province Sud et l'I.R.D. (ex-O.R.S.T.O.M.) pour la mise en valeur des sols dérivés des massifs ultrabasiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie.

Cette opération faisait suite à une première série de recherches réalisées de 1991 à 1995 sur l'étude des facteurs de la fertilité et des conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques, les carences et les déséquilibres minéraux affectant les faciès potentiellement cultivables et cultivés et les moyens de les réduire, et les toxicités dues au nickel, au chrome et au manganèse et qui faisaient, elles aussi, l'objet d'une convention avec la province Sud.

D'une façon générale, ces travaux ont reposé sur une étroite collaboration entre le Laboratoire d'Agropédologie (T. BECQUER, B. BONZON, E. BOURDON, E. OUCKEWEN, L. TAPUTUARAI et W. NIGOTE) et le CREA de l'AICA (S. DUPONT, L. L'HUILLIER, P. LAUBREAUX, R. BARETOT et G. SOUETE).

Plus précisément, cette collaboration a consisté en le détachement à plein temps de deux ingénieurs de recherche du CREA (S. DUPONT et L. L'HUILLIER) et en la réalisation de nombreuses expérimentations au champ et en serre.

La Direction du Développement rural de la province Sud a, de son côté, apporté une aide précieuse aux enquêtes agro-pédologiques effectuées chez les agriculteurs installés sur ces sols très particuliers.

Par ailleurs, ces recherches ont reçu également l'appui essentiel du Laboratoire Commun d'Analyses de l'I.R.D. à Nouméa (J.L. DUPREY). Des séries d'analyses particulières ont été effectuées aussi par le Laboratoire d'Analyses du CIRAD à Montpellier.

Enfin l'impression de ce rapport a été confié à l'Atelier de Reprographie du Centre I.R.D. de Nouméa (J.P. MERMOUD et N. GALAUD).

## PLAN

	Pages
<b>DOCUMENTS ANTERIEURS</b> .....	3
<b>1 - INTRODUCTION</b> .....	6
<b>2 - DERNIERS RESULTATS</b> .....	7
2.1 – ENQUETES CHEZ LES AGRICULTEURS.....	7
2.2 – TOXICITES METALLIQUES .....	7
<b>3 - SYNTHESE GENERALE</b> .....	15
3.1 - STATUT DE L'AZOTE ET DU POTASSIUM.....	15
3.2 - STATUT DU PHOSPHORE.....	15
3.3 - STATUT DU SOUFRE .....	16
3.4 - STATUT DE LA SILICE.....	16
3.5 - DESEQUILIBRE CALCO-MAGNESIEN.....	16
3.6 - TOXICITES METALLIQUES .....	17
3.7 - CONSEQUENCES POTENTIELLES DE LA MISE EN VALEUR DES SOLS DERIVES DES MASSIFS ULTRABASIQUES .....	18
3.7.1 - <i>Lixiviation et risque de pollution de la nappe phréatique</i> .....	18
3.7.2 - <i>Erosion</i> .....	18
<b>4 - REFLEXION POUR L'AVENIR</b> .....	19
4.1 - QUESTIONS RELEVANT DE LA RECHERCHE APPLIQUEE .....	19
4.1.1 - <i>Criblage inter-spécifique</i> .....	19
4.1.2 - <i>Observatoire de l'environnement</i> .....	19
4.2 - QUESTIONS RELEVANT DE LA RECHERCHE APPROFONDIE.....	20
<b>5 - CONCLUSION</b> .....	21

## DOCUMENTS ANTERIEURS

L'Huillier L. 1997. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Évaluation de la sensibilité au nickel des espèces cultivées. 1. Premiers résultats sur des espèces maraîchères. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **35** : 33 pp.

Bonzon B., Dupont S., Bourdon E., Becquer T., L'Huillier L., Laubreaux P. 1997. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Evaluation des effets de doses croissantes de phosphate sur une culture de maïs installée sur un faciès ferritique de glaci. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **36** : 61 pp.

Dupont S., Bonzon B. 1997. 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. 6 – Premier bilan de quatre années d'enquêtes. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **37** : 54 pp.

Bourdon E., Becquer T., Dupont S., Bonzon B., Laubreaux P. 1997. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Suivi de l'évolution morphologique et physique de deux faciès de sols ferrallitiques ferritiques sur glaci à la suite de leur mise en culture. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **39** : 55 pp.

Dubus I. 1997. Etude au laboratoire de la rétention du phosphore dans les sols ferrallitiques du Sud de la Grande Terre. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **41** : 53 pp.

Dubus I., Bonzon B. 1997. Etude du statut et de la capacité de fixation du phosphore dans les sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Grande Terre. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **42** : 32 pp.

L'Huillier L. 1998. Mise en valeur des sols dérivés des massifs ultrabasiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Détermination de la sensibilité des espèces cultivées aux métaux (Ni, Mn). 2. Résultats sur des espèces maraîchères, fruitières et fourragères. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **44** : 44 pp.

Dupont S., Bonzon B. 1998. Mise en valeur des sols dérivés des massifs ultrabasiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Enquête sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur différents faciès ferritiques. 7 – Bilan complet de quatre années d'enquêtes. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **45** : 35 pp.

Dupont S., L'Huillier L., Laubreaux P., Bonzon B. 1998. Mise en valeur des sols dérivés des massifs ultrabasiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Evaluation des effets de doses croissantes de phosphate sur une culture de maïs sur un faciès ferritique de glaci (premiers résultats du quatrième cycle). Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **46** : 21 pp.

L'Huillier L. 1998. Mise en valeur des sols dérivés des massifs ultrabasiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Organisation de la base de données Sol / Plante de la Province Sud. Nouméa: ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie Agropédol.* **47** : 44 pp.



Vue d'un sol ferrallitique ferritique.  
Zone de ouénarou, sol de glaciaire, champ expérimental IRD / CREA  
(essais amendements phosphatés, et variétaux sur maïs).



Séquence de sols ferrallitiques ferritiques. Zone de Ouénarou (parc de la Rivière Bleue). Sols sur pente, piedmont, glacis et plaine.

## 1 - INTRODUCTION

L'étude des facteurs de la fertilité et des conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du sud de la Grande terre, lancée en 1991, a commencé par des recherches expérimentales en serre sur les deux premiers horizons de surface de faciès très proches les uns des autres. Les faciès en question ont été identifiés en 1988 par D. BLAVET et décrits en 1990 par E. BOURDON. Les résultats de ces premiers travaux ont confirmé des carences et des déséquilibres, mais surtout, ont permis de préciser la dose optimale d'amendement phosphaté à appliquer sur une culture de maïs (7 t/ha de  $P_2O_5$  mélangées à 3000 t de terre) pour lever la stérilité naturelle de ce type de sol en premier cycle. Ces recherches ont mis également en évidence l'influence de l'amendement phosphaté sur l'assimilation des métaux lourds (nickel, manganèse, chrome et cobalt), toujours présents à des teneurs élevées, et conduit, de ce fait, à s'interroger sur la toxicité de ces éléments pour les plantes cultivées et sur l'influence des techniques culturales, notamment des fertilisations sur cette toxicité.

Enfin, l'expérimentation en plein champ avec du maïs cultivé sur l'horizon 0-20 cm du site expérimental de la station de Ouénarou, a montré qu'il était préférable, d'apporter des formes de phosphate soluble (de préférence du superphosphate triple par rapport à du phosphate tricalcique très peu soluble) et en quantité relativement faible (au maximum 4 t/ha de  $P_2O_5$ ).

L'expérimentation sur mandariniers, menée également à la station de Ouénarou sur un faciès de glakis, avait comme principal objectif d'étudier l'effet de la profondeur d'amendements phosphatés, calciques et organiques sur le développement général d'une plante pérenne, le mandarinier. Cependant, dès la première année d'observation des profils racinaires, aucune différence significative n'a pu être constatée entre les différents traitements.

Les dernières expérimentations au champ, en serre, en salle de culture et enquêtes ont permis de préciser de nombreux points, notamment : le devenir à plus ou moins long terme d'un amendement phosphaté sur ces sols, le conseil en matière de fertilisation phosphatée, les carences ou déficiences en éléments minéraux des végétaux cultivés dans ces conditions, les conseils en matière de fertilisation minérale, les différences de sensibilité aux métaux de transition de la plupart des plantes cultivées, les risques de toxicité métallique en fonction du végétal cultivé et du type de sol.

## 2 - DERNIERS RESULTATS

### 2.1 – ENQUETES CHEZ LES AGRICULTEURS

Les enquêtes agropédologiques, réalisées depuis 1992 chez des agriculteurs cultivant sur des sols ferrallitiques ferritiques et sur des sols dérivés des massifs ultrabasiques, ont permis de constater que des toxicités en métaux lourds pouvaient apparaître en fonction du faciès de sol. En effet, en plaine et encore plus en plaine hydromorphe la fraction disponible en nickel est plus importante (nickel extrait au DTPA) ce qui se traduit par des rendements plus faibles et des teneurs en nickel plus élevées dans les feuilles des plantes maraîchères et fruitières. Des teneurs élevées en manganèse ont également été observées dans les feuilles de cultures maraîchères (teneurs qui se sont révélées toxiques pour la tomate), mais dans ce cas davantage en zone de glacis.

Les enquêtes ont montré que l'assimilation d'éléments minéraux dans les feuilles de plantes cultivées est très fortement liée aux teneurs en ces éléments dans les sols et types de faciès de sols.

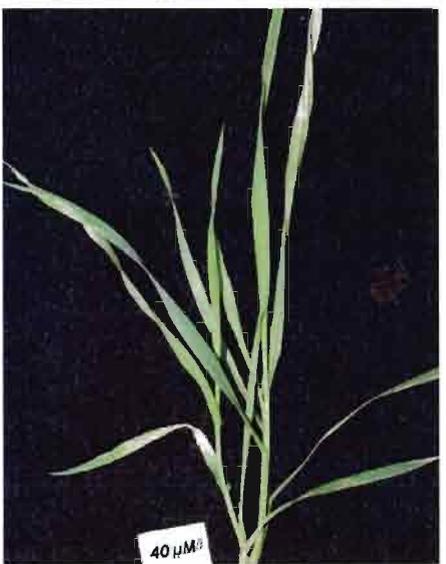
Pour les éléments minéraux indispensables à la croissance des végétaux, comme le calcium et le magnésium, leurs teneurs dans les végétaux dépendent essentiellement de leurs teneurs dans les sols. Les zones de plaine (hydromorphes ou non hydromorphes) sont systématiquement hyper-magnésiennes, avec des teneurs en calcium très faibles. Ceci se traduit par une assimilation du magnésium dans les feuilles plus élevée pour les végétaux cultivés sur ces deux faciès de sols, avec une forte probabilité de carence en calcium induite par un excès de magnésium.

### 2.2 – TOXICITES METALLIQUES

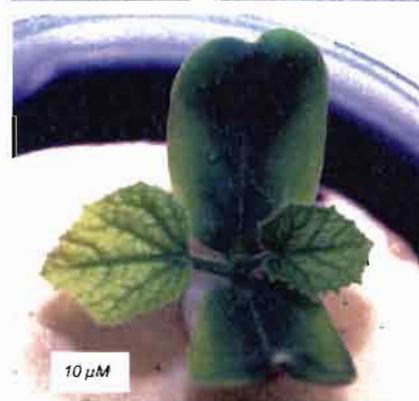
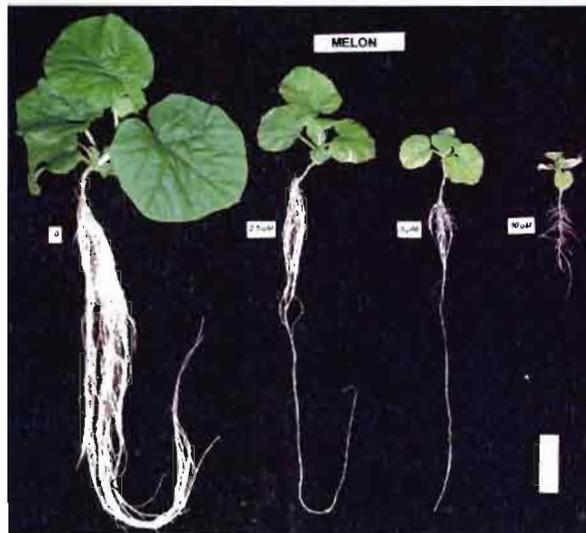
Les dernières expérimentations en salle de culture avec le manganèse (Mn) et le chrome (Cr) ont montré que :

- 4 Mn est par lui-même beaucoup moins toxique que le nickel ou le chrome : les concentrations toxiques relevées sont de l'ordre de 30 à 60  $\mu\text{M}$  ;
- 5 Des différences importantes de sensibilité à Mn entre les espèces ont encore été relevées (voir les figures ci-après) : le maïs est ainsi plus tolérant que le haricot ou la tomate ;
- 6 Cr a un potentiel de toxicité très fort : de concentrations de l'ordre de 0,2  $\mu\text{M}$  sont déjà toxiques pour certaines espèces ;
- 7 Là encore des différences ont été notées entre les espèces : le maïs est à nouveau plus tolérant au chrome que le haricot et le melon (voir figures ci-après).

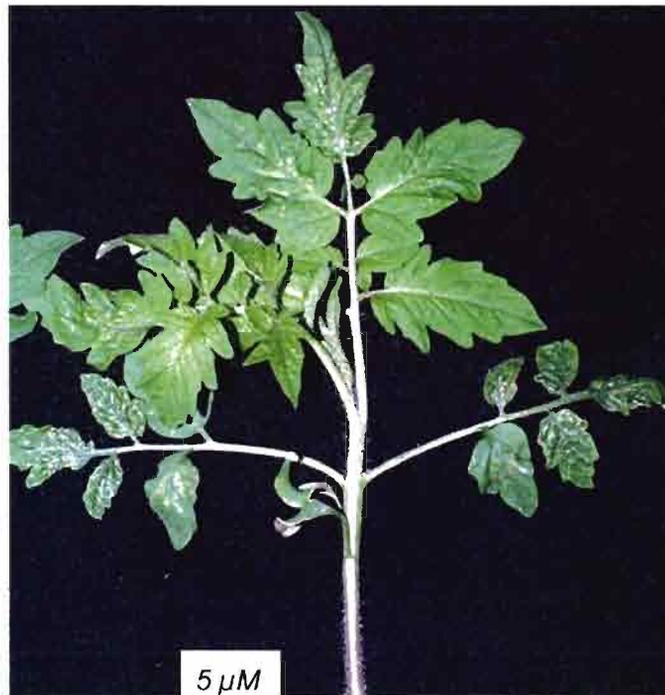
Le tableau 2 (à la fin) résume et récapitule les actions de chacun de ces éléments.



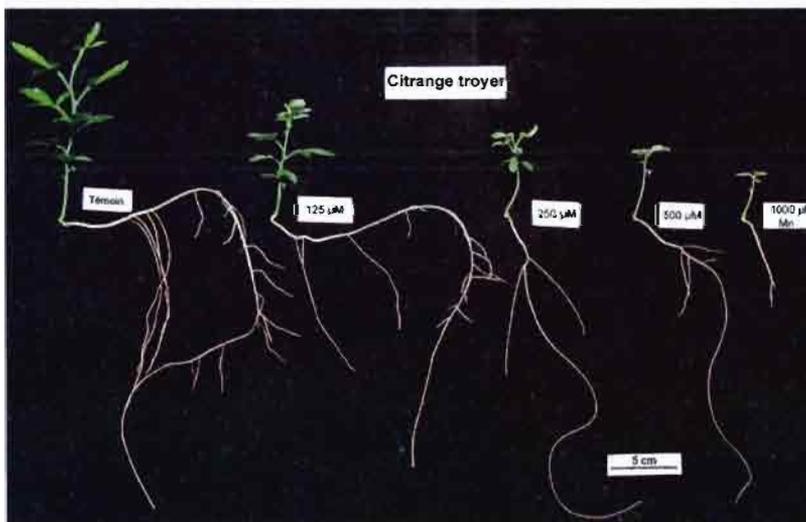
Effets du nickel sur le blé. Plants cultivés pendant 18 jours sur solution nutritive contenant différentes concentrations en Ni (0 - 10 - 20 - 40  $\mu\text{M}$ ).  
Noter les chloroses à 20  $\mu\text{M}$  et surtout à 40  $\mu\text{M}$ , et la baisse de croissance à 40  $\mu\text{M}$ .



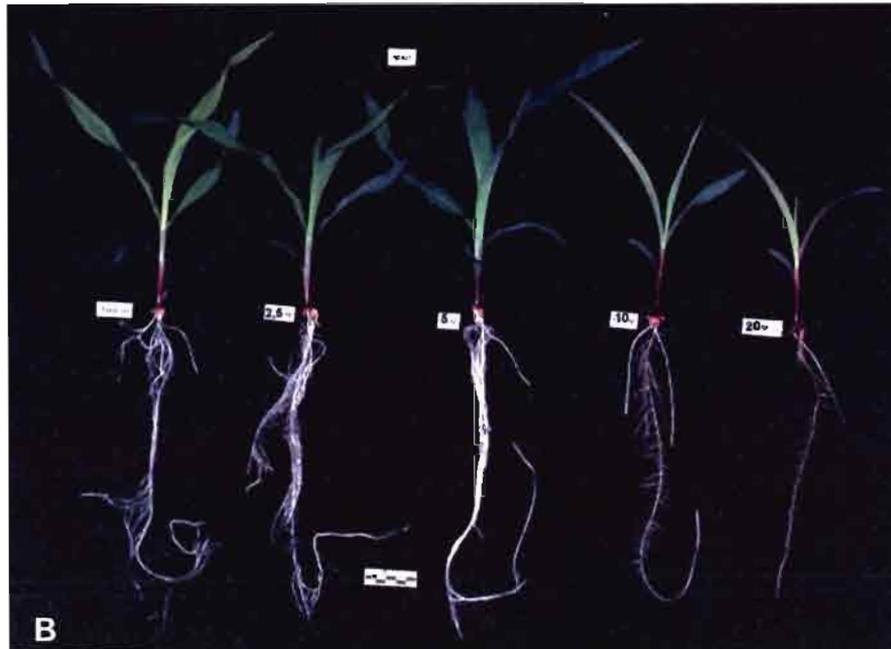
Effets du nickel sur le melon. Plantes cultivées pendant 18 jours sur solution nutritive contenant différentes concentrations en Ni (0 - 2,5 - 5 - 10  $\mu\text{M}$ ).  
Noter les chloroses foliaires et la baisse de croissance dès 2,5  $\mu\text{M}$ .



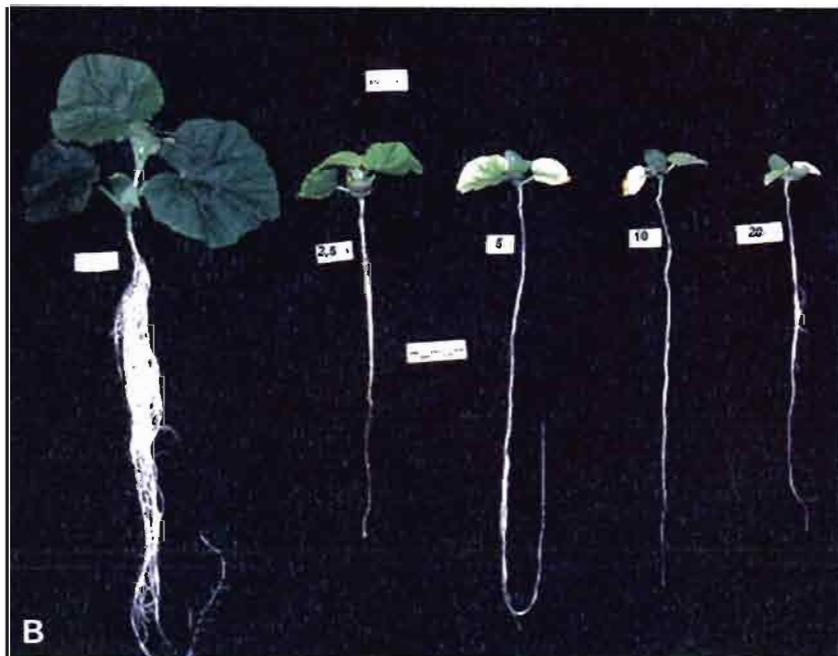
Effets du nickel sur la tomate. Plants cultivés pendant 19 jours sur solution nutritive contenant différentes concentrations en Ni (0 - 1,25 - 2,5 - 5  $\mu\text{M}$ ).  
Noter la baisse de croissance et les chloroses foliaires à 5  $\mu\text{M}$ .



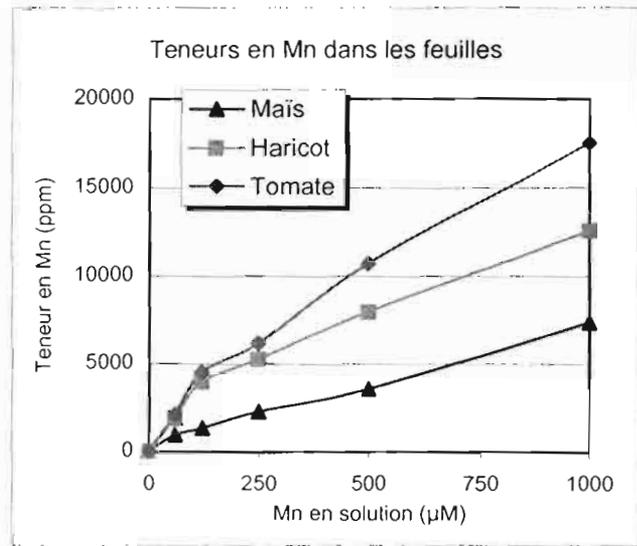
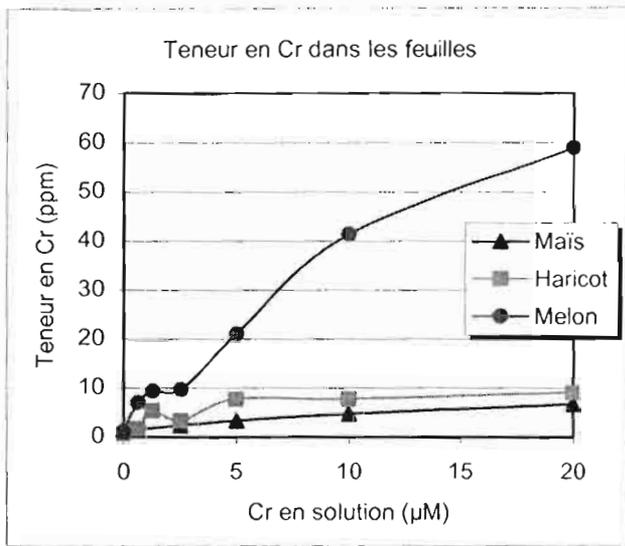
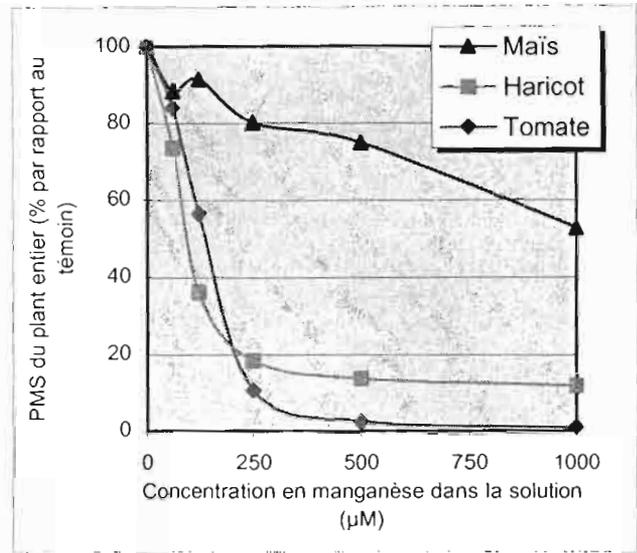
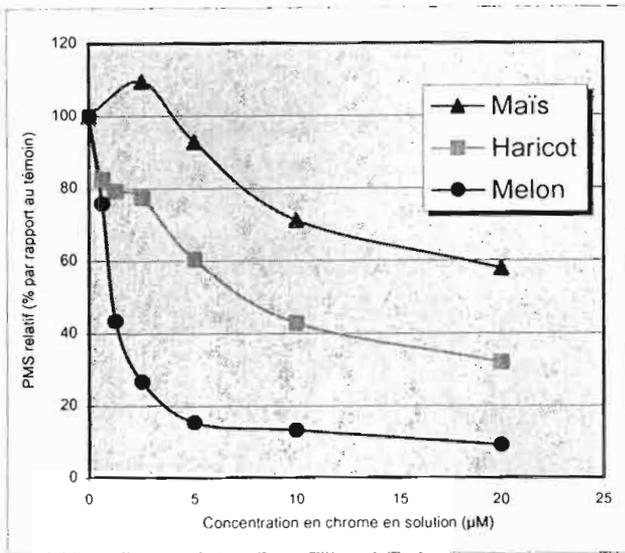
Effets du manganèse sur le Citrange Troyer. Plants cultivés pendant 55 jours sur solution nutritive contenant différentes concentrations en Mn (0, 125, 250, 500, 1000  $\mu\text{M}$ ). Noter la baisse de croissance à partir de 125  $\mu\text{M}$ , et les tâches chlorotiques sur les feuilles à partir de 250  $\mu\text{M}$ .



Effets du chrome sur le maïs. Plants cultivés pendant 13 jours sur solution nutritive contenant différentes concentrations en Cr (VI) (0 - 2,5 - 5 - 10 - 20  $\mu\text{M}$ ).  
Noter la baisse de croissance et la coloration violette à partir de 10  $\mu\text{M}$  (photos B et C).



**Effets du chrome sur le melon. Plants cultivés pendant 19 jours sur solution nutritive contenant différentes concentration en Cr (VI) (0 - 2,5 - 5 - 10 - 20  $\mu$ M). Noter la baisse de croissance à partir de 2,5  $\mu$ M, les variations dans la longueur des racines, et les chloroses foliaires.**



Effets du chrome et du manganèse sur quelques plantes cultivées.  
Plants cultivées sur solution nutritive contenant différentes concentrations en métaux.

### 3 - SYNTHÈSE GÉNÉRALE : CONNAISSANCES ACQUISES ET REMÈDES ACTUELS

Les résultats des recherches, conduites au titre de la présente convention, confirment, en les précisant, les problèmes de carences, de déséquilibres calco-magnésien et de toxicités métalliques soupçonnées par les ingénieurs des services ruraux de la province Sud et par les maraîchers.

Le tableau 1 ci-après résume la situation des nutriments et des métaux de façon très schématique. Il propose les commentaires suivants :

#### 3.1 - STATUT DE L'AZOTE ET DU POTASSIUM

Très soluble, les niveaux de ces éléments présents dans les sols dérivés des massifs ultrabasiques ont toujours des teneurs très faibles lors d'une première mise en culture. Les carences qui en résultent sont, cependant, faciles à corriger.

En se fondant sur des hypothèses de productivité, ou si l'on dispose de références expérimentales ou d'enquêtes, les doses totales à appliquer en ces deux nutriments pourraient être ainsi de l'ordre de grandeur des exportations correspondant aux productions espérées. La quantité d'azote doit cependant être affectée d'un coefficient de l'ordre de 1,8 pour compenser les pertes par minéralisation et volatilisation. Par ailleurs, afin de limiter au maximum les pertes par lixiviation profonde (une certaine lixiviation dans l'horizon de surface - ou de labour - est nécessaire pour amener les nutriments au niveau des racines dont 60 %, en terme de masse, se situent généralement dans cet horizon), un fractionnement des apports d'engrais aussi poussé que possible est souhaitable.

Les doses à appliquer doivent, naturellement,

- correspondent aux quantités assimilables par la culture dans l'intervalle de deux applications (ces quantités étant toujours affectées du coefficient de 1,8 pour l'azote) ;
- être adaptées à l'évolution des besoins des cultures au cours de leur cycle végétatif.

A titre d'exemple, les doses de potassium à appliquer à une culture de maïs seront fonction :

- du type d'irrigation (avec ou sans irrigation) ;
- du nombre d'applications envisagées (1 application par semaine en culture avec irrigation fertilisante, toutes les 3 à 4 semaines dans les autres cas jusqu'à ce que la végétation ne permettent plus de passer dans les inter-rangs) ;
- de la longueur estimée de l'intervalle « semis – sortie de l'inflorescence mâle », si l'on peut appliquer des engrais jusqu'à ce stade, le maïs s'arrêtant d'absorber le potassium à la floraison mâle.

#### 3.2 - STATUT DU PHOSPHORE

Ce nutriment majeur est celui qui fait, encore actuellement, problème. En effet, si l'on connaît les raisons de son exceptionnelle carence pour la plupart des plantes cultivées dans les sols ferrallitiques ferritiques et de sa déficience générale dans les autres sols dérivés des massifs ultrabasiques (une très énergique fixation des ions  $PO_4^{3-}$  par les oxydes métalliques du sol), on ne dispose toujours pas des moyens de limiter ses doses aux besoins effectifs et la plupart des espèces annuelles cultivées sont incapables de détacher le phosphore des oxydes métalliques du sol, ses principaux fixateurs.

Un fractionnement des épandages de phosphate super triple à la surface du sol va se heurter (à cause de cette fixation), aux très faibles possibilités de déplacement du phosphore dans le profil (quelques mm, quelques cm au mieux, dès sa mise en solution). L'application d'engrais solubles sur le feuillage, comme le phosphate d'ammoniaque ou du phosphate de potassium, est plus efficace, mais avec un coût très élevé et certainement avec un très fort taux de fixation finale par le sol. Son utilisation peut être intéressante lors de phases de croissance particulièrement demandeuses en phosphore, telles que la floraison, et lorsque la surface foliaire est importante.

D'un autre côté, envisager une saturation progressive des sites de fixation par des applications massives d'engrais phosphatés (du phosphore supertriple essentiellement) est à exclure : la capacité de fixation des sols ferritiques est au moins de 80 % de leur masse (2400 t/ha d'après les travaux d'Igor DUBUS pour l'horizon 0-30 cm).

En tout état de cause, une application du phosphore le plus localisé possible est conseillé.

A moyen et long terme, des solutions devraient pouvoir être trouvées, certaines espèces, voire certaines variétés semblent disposer des capacités d'assimiler le phosphore fixé par les oxydes métalliques (cf. le paragraphe suivant). La mycorhization des racines est très certainement une voie intéressante à explorer.

### 3.3 - STATUT DU SOUFRE

Fugace, cette carence ne se rencontre pratiquement pas sur les sols ferrallitiques ferritiques de piedmont et peut être de glaciaire. Les symptômes d'une carence en soufre ont été parfois pris pour ceux d'une carence en fer du fait de leur disparition par application de sulfate ferreux. L'utilisation d'engrais sulfatés (sulfate d'ammoniaque et sulfate de potassium) les font disparaître très facilement, les besoins en soufre des plantes étant modérés.

### 3.4 - STATUT DE LA SILICE

Les teneurs extrêmement faibles en silice des sols ferrallitiques ferritiques, surtout sur pente et piedmont, pourraient à long et très long terme entraîner des déficiences en cet élément chez les plantes cultivées (chez les graminées en particulier). Mais elle n'a été observée qu'une fois sur un champ d'ananas situé sur un sol oxydique d'apport colluvial sur platier corallien soulevé dans la région de YATE.

### 3.5 - DESEQUILIBRE CALCO-MAGNESIEN

Le magnésium est souvent à des niveaux très supérieurs au calcium dans les sols ferrallitiques ferritiques d'apport alluvial, les sols bruns et les vertisol magnésien. Il est générateur d'une déficience en calcium dès que sa teneur (exprimée en milliéquivalent) dépasse celle du calcium. Des rapports Mg/Ca échangeables supérieurs à 5 se traduisent par l'apparition de sévères carences en calcium chez les plantes.

Dans ces conditions, l'application d'amendements calciques fait disparaître facilement déficience et carence en calcium, à condition de respecter les trois règles suivantes :

- abaisser au moins à 2 le rapport Mg/Ca échangeable du sol ;
- ne pas élever le pH du sol au dessus de 6,5 unités pH ;
- être correctement mélangé au sol.

Une seule forme d'amendement est donc envisageable lorsqu'on se situe sur un sol de pH à 6 ou 6,5, généralement un sol ferrallitique ferritique de vallée ou un sol brun magnésien : du gypse. Lorsque le pH du sol est inférieur à 6,5 la première chose à faire est d'établir une courbe de réponse du pH du sol à des doses croissantes de l'amendement que l'on se propose d'utiliser (le plus souvent du calcaire broyé, ou de la chaux éteinte).

Deux cas se présentent alors :

- ou bien il faut apporter du gypse en complément du calcaire broyé (ou de la chaux éteinte) pour atteindre le rapport Mg/Ca souhaité ;
- ou bien le rapport Mg/Ca échangeable souhaité est obtenu avant d'avoir atteint un pH de 6,5 auquel cas seul l'amendement sous la forme disponible de calcaire broyé ou de chaux éteinte peut être utilisé.

### 3.6 - TOXICITES METALLIQUES

Dans l'état actuel de nos connaissances deux éléments peuvent apparaître avec des niveaux toxiques dans les sols dérivés des massifs ultrabasiques et, plus particulièrement, dans les sols ferrallitiques ferritiques : le nickel et le manganèse. Le chrome est également un élément ayant un très fort potentiel toxique, mais sa forme est très stable et peu soluble dans ces sols. Les risques seraient donc moindres, mais cela reste à vérifier car les données de terrain manquent encore (besoins d'analyses chimiques beaucoup plus sensibles que pour Mn et Ni).

Les symptômes de toxicité sont difficilement identifiables du fait de l'absence de spécificité. De plus, ils apparaissent généralement en même temps voire après la diminution de la croissance, si bien qu'il n'y a pas de diagnostic précoce possible.

Le tableau 2 (ci-après) résume les effets toxiques des métaux sur les végétaux expérimentés lors de ces travaux. Ils dépendent des espèces, voire des variétés cultivées. Les monocotylédones sont toujours plus tolérantes que les dicotylédones. Les différences de sensibilité qui ont été constatées permettent d'envisager : soit de favoriser les espèces tolérantes dans les sols à risques, soit d'éviter les espèces sensibles dans ces conditions.

D'une façon générale, les faciès de plaine ont une probabilité plus élevée de présenter des toxicités par le nickel. Les conditions hydromorphes et les pH acides favorisent également l'assimilabilité du nickel et du manganèse, donc les risques de toxicité. Enfin il semble que le manganèse soit naturellement plus assimilable sur pente et piedmont.

Plusieurs solutions qui se renforcent mutuellement, existent pour réduire ces toxicités :

- choisir des variétés tolérantes ou résistantes, mais aucune information n'est généralement disponible à ce sujet sur les catalogues des producteurs de semences. Par contre, des résultats concernant la tolérance des espèces sont donnés dans ce rapport (tableau 2) ;
- drainer le profil cultural du champ à cultiver ceci pour limiter l'hydromorphie temporaire éventuelle qui favoriserait le développement des toxicités ;
- remonter le pH du sol à au moins 6,0 en appliquant du calcaire broyé ou de la chaux éteinte pour limiter l'assimilabilité du nickel et du manganèse (de plus, le calcium agit aussi directement en freinant la pénétration des métaux dans les racines).

### 3.7 - CONSEQUENCES POTENTIELLES DE LA MISE EN VALEUR DES SOLS DERIVES DES MASSIFS ULTRABASIQUES

La mise en valeur des sols dérivés des massifs ultrabasiques, déjà difficile à cause des carences, des déséquilibres calco-magnésiens ou des toxicités métalliques est délicate et peut faire courir deux principaux risques à l'environnement si elle est conduite sans précautions :

- une possibilité de pollution de nappes phréatiques par les produits lixiviés ;
- une forte érodibilité.

#### 3.7.1 - Lixiviation et risque de pollution de la nappe phréatique

Le risque de pollution de la nappe phréatique est d'autant plus grand que l'on :

- applique de fortes fumures azotées et potassiques ;
- fractionne faiblement ces apports ;
- maîtrise mal la carence en phosphore ou le déséquilibre calco-magnésien, ou encore qu'il y a toxicité métallique ;
- irrigue trop fortement ;
- favorise un développement racinaire superficiel ;
- se situe sur des sols de fortes perméabilité et/ou de faible capacité d'échange, cas notamment des sols ferrallitiques ferritiques.

Par suite, toutes les opérations culturales doivent être conçues et réalisées avec le souci de limiter au maximum les entraînements de minéraux (et de produits phytosanitaires) vers la nappe. Il est néanmoins un point sur lequel il semble difficile d'intervenir : la morphologie générale du système racinaire. En effet, le développement des racines vers les horizons de profondeur qui permettraient à la fois :

- une diminution des pertes en N et K ;
- une augmentation des réserves en eau pour les plantes,

et limité par :

- l'influence des pratiques culturales qui tendent toutes à avoir des barrières de développement pour les racines ;
- les variations de perméabilité, de pH, de teneurs en nutriments (qui diminuent avec la profondeur), ou celles des teneurs en éléments toxiques assimilables ou encore celles du rapport Mg/Ca échangeable (qui au contraire, augmentent avec la profondeur) ;
- l'impossibilité dans laquelle on se trouve d'intervenir (pratiquement - économiquement) pour modifier de façon homogène l'état des caractéristiques physiques et/ou chimiques des horizons de profondeur (situés en dessous des fonds de labour).

#### 3.7.2 - Erosion

Le risque d'érosion est, de notoriété publique, très fort. Peu de dispositions sont prises, en effet, pour le limiter, bien que l'on se trouve dans une zone exposée régulièrement à de très fortes pluies en période cyclonique. Or toutes sortes de dispositifs culturaux existent pour atténuer ce risque :

- des cultures en courbes de niveau avec des banquettes anti-érosives ;
- des drains horizontaux ouverts, régulièrement espacés, enherbés et débouchant dans d'autres drains enherbés conduisant vers des bassins de décantation ;
- protection des terres au repos par des plantes de couverture installées longtemps avant la période cyclonique ;
- etc..

## 4 - REFLEXION POUR L'AVENIR

Le bilan des connaissances générales qui vient d'être dressé sur les problèmes de mise en valeur des sols dérivés des massifs ultrabasiques et sur les moyens de les résoudre a mis aussi en évidence l'existence de deux séries d'inconnues qu'il faudrait lever pour :

- 1- améliorer encore la situation technique des agriculteurs exploitant ces milieux ;
- 2- renforcer la protection de l'environnement dans et autour de ces zones.

Ces questions relèvent à la fois de la recherche appliquée et de la recherche approfondie.

### 4.1 - QUESTIONS RELEVANT DE LA RECHERCHE APPLIQUEE

#### 4.1.1 - Criblage inter-spécifique

Qu'il s'agisse de la carence en phosphore, du déséquilibre calco-magnésien ou des toxicités métalliques, d'importantes différences ont été mises en évidence dans le comportement des espèces et bien des variétés cultivées. Pour chaque espèce des criblages très systématiques mériteraient donc d'être engagés sur le comportement de ces variétés capables :

- de pourvoir à leur nutrition phosphatée dans les sols ferrallitiques ferritiques ;
- de tolérer le déséquilibre calco-magnésien dans les sols oxydiques alluviaux, les sols bruns ou les vertisols hypermagnésiens ;
- de tolérer ou de résister aux toxicités métalliques.

Ces criblages pourraient reposer sur des essais conduits sur cultures hydroponiques pour les déséquilibres calco-magnésiens et les toxicités métalliques.

#### 4.1.2 - Observatoire de l'environnement

Pour ce qui est des problèmes d'environnement et, plus précisément, des risques de pollution des nappes phréatiques et des cours d'eau, quelques méthodes existent maintenant pour caractériser les capacités de fixation et de dégradation des pesticides dans le sol.

Un travail méthodique pourrait donc être entrepris sur le devenir dans les sols dérivés des massifs ultrabasiques des pesticides utilisés par les agriculteurs. Complétant ce travail, un suivi de l'évolution des teneurs en nutriments et en pesticides des sols, des nappes phréatiques et des cours d'eau pourrait être lancé sans tarder. Rassemblées dans une base de données, ces

### 4.2 - QUESTIONS RELEVANT DE LA RECHERCHE APPROFONDIE

Les propositions de recherches ci-dessus, considérées comme relevant de la Recherche Appliquée, ont, bien évidemment, des correspondances étroites avec des questions relevant d'avantage de la Recherche Approfondie.

- La fixation du phosphore

Ainsi en est-il des criblages inter-spécifiques et/ou intervariétaux concernant l'assimilation du phosphore. Les différences mises en évidence devraient permettre de lancer des investigations beaucoup plus précises sur les processus en jeu.

- Sensibilité aux déséquilibres calco-magnésiens et aux toxicités métalliques

Ainsi en est-il également des processus limitant ou favorisant le déséquilibre calco-magnésien des végétaux cultivés sur les sols magnésiens. De façon subalterne, faut-il caractériser ce déséquilibre au niveau du sol à partir des teneurs en éléments échangeables ou en élément totaux.

D'autre part, y a-t-il des liens entre la tolérance ou la résistance au nickel et au manganèse et la sensibilité au déséquilibre calco-magnésien ?

Par ailleurs, qu'en est-il réellement des toxicités au cobalt et au chrome ? Quelles influences les techniques culturales ont-elles sur l'évolution de ces problèmes ?

Enfin quelles influences à long terme, et très long terme, sur la santé animale, peuvent avoir le déséquilibre calco-magnésien ou les métaux de transition absorbés par les espèces fourragères ? La même question essentielle peut être posée au niveau de la santé humaine pour tous les végétaux ou parties de végétaux comestibles. Ce tour d'horizon n'est pas exhaustif, le choix des questions à aborder en priorité peut être lié à des objectifs économiques et sociaux, mais toutes sont liées.

## 5 - CONCLUSION

La province Sud, avec les massifs ultrabasiques recouvrant 30 % de son territoire et influençant au moins 50 % de ses terres, s'est préoccupée, à juste titre, des difficultés agropédologiques rencontrées par ses agriculteurs installés sur les types de sols dérivés des massifs ultrabasiques. Les résultats des travaux conduits par l'IRD en collaboration avec le CREA et le service des productions végétales et des forêts de la direction du développement rural de la province ont permis de préciser ces difficultés, de leur apporter des solutions ou d'en évaluer l'importance avant de se lancer dans la mise en valeur d'une parcelle ou d'une zone.

Ainsi en est-il :

- de la carence en phosphore des sols ferrallitiques ferritiques, qui peut certainement être surmontée en grande partie par des applications foliaires de phosphate soluble (d'ammoniaque ou de potassium), plus efficaces par rapport au phosphate mono-calcique (superphosphate triple) mais plus onéreuses.
- du déséquilibre calco-magnésien des sols des vallées qui peut être assez facilement surmonté par des applications de chaux, de calcaire broyé ou de gypse ou par un mélange de l'un des deux premiers produits avec le troisième. La méthode permettant de préciser la nature et la ou les doses de produits à épandre ;
- des toxicités au nickel et au manganèse qui affectent plus particulièrement certaines espèces cultivées sur certains types de sols.

Ces travaux ont permis également de mettre en évidence des questions relevant de la recherche appliquée ou de la recherche approfondie, mais qu'il faudrait aborder à présent pour rendre la mise en valeur de ces sols plus économique et plus sûre pour leur environnement, comme les criblages intervariétaux sur la défixation du phosphore, la sensibilité aux déséquilibres calco-magnésien et aux toxicités métalliques, les risques de pollution des nappes phréatiques et des cours d'eau.

Tableau 1. SITUATION AGRO-GEOLOGIQUE DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

DERIVES DES MASSIFS ULTRABASIQUES

Type de Sols	Superficie (sur Grande Terre) (ha)	Carences en macro-éléments et éléments secondaires										Carences en micro- éléments	Déséquilibre		Toxicités				
		N		P		K		S		Si		B, Mo, Zn	Mg/Ca		Ni		Mn		
		Hl	Hp	Hl	Hp	Hl	Hp	Hl	Hp	Hl	Hp		Hl	Hp	Hl	Hp	Hl	Hp	
Sols ferrallitiques ferritiques	382 000																		
. de plateaux		F	TF	TF	TF	F	TF	F	F	P	P	P			P	P	P	P	
. de pentes		F	TF	TF	TF	F	TF	F	F	P	P	P			M	M	P	P	
. de piedmont		F	TF	TF	TF	F	TF	F	F	P	P	P			M	M	P	P	
. de glacis		F	TF	TF	TF	F	TF	F	F	P	P	P	f	f	M	M	P	P	
. de plaine		F	TF	TF	TF	F	TF			P	P	P	TF	TF	P	P	P	P	
. sur plateaux coralliens		F	TF	TF	TF	F	TF			P	P	P		P	P	P	P		
Sols peu évolués d'apport avec produits ferritiques	36 000	M	F	F	F	M	TF					P	M	M	P	P	P	P	
Vertisols magnésiens	90 000	M	F	M	M	M	F					P	F	TF	P	P	P	P	
Sols bruns, associés à des sols ferrallitiques	684 000	M	F	M	M	M	M					P	F	TF	P	P	P	P	

Hl : Horizon de liaison (ou de surface : 0 - 30 cm de profondeur)

Hp : Horizon de profondeur (situé au dessous de 30 cm de profondeur)

Contraintes

TF : Très Forte

F : Forte

M : Moyenne

f : faible

P : Potentielle

**Tableau 2.** Récapitulatif de la tolérance au nickel (Ni) des plantes cultivées<sup>a</sup>.

Nom commun	Seuil maximum en solution <sup>b</sup> ( $\mu\text{M Ni}$ )	Pente <sup>c</sup> (% par $\mu\text{M}$ )	Seuil maximum dans	
			les parties aériennes <sup>d</sup> ( $\mu\text{g Ni} \cdot \text{g}^{-1} \text{ms}$ )	Classement <sup>e</sup>
Aubergine	~ 3 (0 – 5)	18,0	~ 30 (2 – 59)	MS
Bigaradier Gou Tou	~ 2,5 (0 – 5)	18,5	~ 60 (2 – 120)	S
Blé	10	1,8	25	T
Carotte	5	16,8	45	MS
Citrange Troyer	5	9,2	80	MS
Citrus volkameriana	5	7,0	66	MS
Concombre	~ 1,5 (0 – 5)	14,7	~ 50 (0 – 170)	S
Courgette	~ 1 (0 - 2,5)	12,0	~ 40 (0 – 81)	S
Dolichos	~ 2 (0 – 5)	12,0	~ 20 (0 – 56)	S
Haricot	5	4,6	40	MS
Laitue	10	15,2	93	MT
Leucaena	~ 2 (0 – 5)	12,0	~ 25 (0 – 47)	S
Lime rangpur	~ 4	12,0	48	MS
Litchi	5	9,1	38	MS
Maïs	~ 30 (20 – 40)	1,0	~ 75 (62 – 95)	T
Melon	~ 0,5 (0 - 2,5)	29,0	~ 25	SS
Navet	~ 1,5 (0 – 4)	12,5	~ 30 (2 – 78)	S
Pastèque	~ 1,5 (0 – 5)	14,7	~ 50 (0 – 178)	S
Poivron	~ 1,5 (0 – 4)	12,5	~ 20 (3 – 49)	S
Poncirus trifoliata	5	7,9	50	MS
Radis	~ 1,5 (0 – 4)	12,2	~ 30 (7 – 69)	S
Rhodes	10	9,8	62	T
Rough lemon	5	17,0	54	MS
Sesbania	~ 5	5,0	~ 30 (0 – 57)	MS
Siratro	~ 1 (0 – 5)	23,0	~ 15 (0 – 79)	SS
Sorgho	20	2,7	44	T
Squash	~ 1 (0 - 2,5)	13,8	50	S
Tomate	~ 2 (0 - 2,5)	13,5	~ 20 (17 - 32)	S

**Tableau 2 (suite).** Récapitulatif de la tolérance au manganèse (Mn) des plantes cultivées<sup>a</sup>.

Nom commun	Seuil maximum en solution <sup>b</sup> (μM Mn)	Pente <sup>c</sup> (% par μM)	Seuil maximum dans	
			les parties aériennes <sup>d</sup>	Classement <sup>e</sup>
			(μg Mn . g <sup>-1</sup> ms)	
Citrange Troyer	~ 60 (0 – 125)	0,25	~ 1700	MS
Haricot	~ 30 (0 – 62,5)	0,50	~ 1000	S
Maïs	~ 60 (0 – 125)	0,05	~ 1000	MT
Tomate	~ 30 (0 – 62,5)	0,36	~ 1000	S

**Tableau 2 (suite).** Récapitulatif de la tolérance au chrome (Cr) des plantes cultivées<sup>a</sup>.

Nom commun	Seuil maximum en solution <sup>b</sup> (μM Cr)	Pente <sup>c</sup> (% par μM)	Seuil maximum dans	
			les parties aériennes <sup>d</sup>	Classement <sup>e</sup>
			(μg Cr . g <sup>-1</sup> ms)	
Haricot	~ 0,3 (0 – 0,625)	5,5	~ 1,5	S
Maïs	~ 5	2,2	~ 3,3	T
Melon	~ 0,2 (0 – 0,625)	40	~ 2	SS

<sup>a</sup> Tolérance calculée sur les poids de matière sèche de la plante entière.

Données à utiliser comme guide des tolérances relatives entre les espèces cultivées. Les tolérances absolues varient en fonction du climat, des conditions de sol et des pratiques culturales.

Voir les rapports précédents pour connaître les variétés utilisées.

<sup>b</sup> Solution de Hoagland modifiée diluée quatre fois. Certains seuils sont estimés (marqués ~) d'après les courbes de réponse et se situent entre les chiffres mis entre parenthèses.

<sup>c</sup> Pente = pourcentage de baisse de croissance de la plante pour chaque augmentation d'une unité de métal en solution (en μM). Ainsi, plus la pente est forte, plus l'influence de l'élément est grande.

<sup>d</sup> Bien prendre en compte que le seuil dans les parties aériennes dépend beaucoup de l'âge de la plante.

<sup>e</sup> SS : très sensible ; S : sensible ; MS : modérément sensible ; MT : modérément tolérant ; T : Tolérant.

