

HZ 27564

2 F
1 7

classer à: BONZON

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 31

1995

Facteurs de la fertilité et conditions de mise en valeur
des sols ferrallitiques des massifs
du Sud de la Grande Terre

Historique et résultats des recherches.
Questions pour l'avenir

Bernard BONZON
Laurent L'HUILLIER
Sylvie EDIGHOFFER
Emmanuel BOURDON
Thierry BECQUER
Patrick LAUBREAUX

Convention Province Sud / ORSTOM
n° 53-PVF/DDR notifiée le 14 janvier 1991
Avenant n°4 du 8 septembre 1994

F 0100 06129

L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

ORSTOM

CENTRE DE NOUMÉA

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 31

1995

Facteurs de la fertilité et conditions de mise en valeur
des sols ferrallitiques des massifs
du Sud de la Grande Terre

Historique et résultats des recherches.
Questions pour l'avenir

* Bernard BONZON
* Laurent L'HUILLIER
* Sylvie EDIGHOFFER
* Emmanuel BOURDON
* Thierry BECQUER
** Patrick LAUBREAUX

* Orstom, Agropédologie, Nouméa
** AICA, Bourail

Convention Province Sud / ORSTOM
n° 53-PVF/DDR notifiée le 14 janvier 1991
Avenant n°4 du 8 septembre 1994



L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

CENTRE DE NOUMÉA

© ORSTOM, Nouméa, 1995

/Bonzon, B.
/L'Huillier, L.
/Edighoffer, S.
/Bourdon, E.
/Becquer, T.
Laubreaux, P.

Facteurs de la fertilité et conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre. Historique et résultats des recherches. Questions pour l'avenir

Nouméa : ORSTOM. Décembre 1995. 30 p.
Conv. : Sci. Vie ; Agropédol. ; 31

Ø68ANASOL

FERTILITE ; TOXICITE ; CARENCE ; NICKEL ; SOL / NOUVELLE CALEDONIE ; PROVINCE SUD /
SOL FERRALLITIQUE / OXYSOL

Imprimé par le Centre ORSTOM
Décembre 1995



SOMMAIRE

1 - PREMIÈRES INVESTIGATIONS (1988-1990).....	1
1.1 - Choix du type de sol, schéma directeur du projet, transfert de technologie.....	2
1.2 - Réalisations et recherches.....	4
1.3 - Résultats et premières conclusions.....	4
2 - MISE EN PLACE ET CONDUITE DU PROJET "SOLOXFER" (1991-1995).....	5
2.1 - Opération 1 : organisation structurale des sols ferrallitiques des massifs du Sud.....	6
2.1.1 - <i>Étude pédologique de base (1991-92)</i>	6
2.1.2 - <i>Enquête agropédologique sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur les sols oxydiques du Sud (1992-94)</i>	10
2.1.3 - <i>Impact des systèmes de culture sur l'évolution des caractéristiques physiques et de la lixiviation (1993/94)</i>	12
2.2 - Opération 2 : carences et déséquilibres minéraux des faciès oxydiques des sols ferrallitiques du Sud.....	13
2.2.1 - <i>Recherches expérimentales en serre (1991/94)</i>	13
2.2.2 - <i>Mise en place du dispositif expérimental de base destiné à la caractérisation au champ des arrières-effets des amendements phosphaté, organique et silicaté</i>	14
2.2.2.1 - <i>Mise en place d'un premier dispositif expérimental</i>	14
2.2.2.2 - <i>Installation du second dispositif expérimental</i>	15
2.3 - Opération 3 : toxicité des métaux lourds dans les sols oxydiques du Sud.....	18
3 - SYNTHÈSE ET DÉVELOPPEMENTS SOUHAITABLES	20
CONCLUSION.....	24
DOCUMENTS TRAITANT DES SOLS FERRALLITIQUES DU SUD	27

L'objectif de la présente note est de dresser un bilan des travaux conduits dans le cadre de la convention de recherche passée 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. En effet, le quatrième et dernier avenant annuel à cette convention a pris fin le 7 septembre 1995, la convention et son premier avenant ayant été notifiés à l'ORSTOM le 14 janvier 1991. Auparavant, de toutes premières investigations sur le même type de sols avaient été engagées dans le cadre de la convention Territoire-ORSTOM N° 4 pour l'étude des effets des fumures et des amendements calciques sur les sols cultivables de Nouvelle-Calédonie (années 1988 et 1989), ainsi que dans le seul cadre de l'ORSTOM.

Conduites par le Laboratoire d'Agropédologie du Centre ORSTOM de Nouméa, ces recherches s'appuient sur une étroite collaboration avec les Services de la Direction du Développement Rural, ainsi qu'avec le Centre de Recherche et d'Expérimentation Agronomiques de Bourail (CREA). Depuis le rattachement de ce dernier à l'Association Interprovinciale de Gestion des Centres Agricoles (AICA), cette dernière collaboration fait l'objet d'une convention particulière rattachée au protocole général d'accord passé entre l'AICA et l'ORSTOM. La convention est précisée annuellement par un avenant.

Développées dans le cadre de ces travaux, les études de physiologie végétale concernant la toxicité du nickel ont fait également l'objet d'une étroite collaboration avec le Laboratoire de Biotechnologie et de Physiologie Végétale Appliquée de l'Université de Montpellier II.

Enfin, au plan des moyens analytiques mis en oeuvre dans le cadre de cette grande opération, il convient de mentionner l'importance et le caractère essentiel des contributions des Laboratoires d'Analyses de l'ORSTOM et de l'AICA.

1 - PREMIÈRES INVESTIGATIONS (1988-1990)

Engager des recherches sur les difficultés d'ordre agropédologique affectant les cultures maraîchères et fruitières développées sur les sols ferrallitiques du Sud et les résoudre durablement préoccupaient depuis longtemps les Services Ruraux Territoriaux. En effet, les réponses qu'ils donnaient aux questions que leur soumettaient les pionniers du développement agricole de cette région¹ leur paraissaient souvent très empiriques. Surtout, les rendements

¹Pour mémoire, la région considérée s'étend du Canal des Loyauté au méridien E 166° 35' dans le sens est-ouest, du parallèle S 22° 05' au lagon sud dans le sens nord-sud. Elle couvre 121 280 ha, dont 106 767 hors zones réservées. Les zones dont les pentes sont comprises entre 0 et 5% représentent 21 959 ha dont 2 103 sont réservés. Les chiffres correspondants des zones dont les pentes vont de 5 à 10 % et de 10 à 15 % sont respectivement de 14 271 et 1461 ha pour les premières, de 11 344 et de 1420 ha pour les secondes (données tirées de l'étude préliminaire par télédétection des surfaces aménageables sur les communes du Mont Dore et de Yaté financée par la Province Sud et réalisée en 1990 par le LATICAL). Ces données intègrent à la fois les plaines et les plateaux, les fonds de vallées et les bords de plateaux. Bien arrosée, proche de Nouméa et encore faiblement lotie il y a 20 ans, elle semblait propice aux cultures maraîchères malgré la réputation de stérilité naturelle qui l'affectait depuis très longtemps déjà.

étaient rarement à la hauteur des espérances (cf tableau 1 ci-après) et les échecs cultureux, suivis d'abandons des terrains défrichés, assez nombreux après deux ou trois années d'exploitation. Pour ces raisons, lors de l'inventaire des sols potentiellement cultivables de Nouvelle-Calédonie, dressé par le Territoire et l'ORSTOM en 1979 pour hiérarchiser les recherches à entreprendre sur les facteurs de la fertilité des sols du pays, les sols ferrallitiques oxydiques avaient été placés en cinquième position, juste après les sols alluviaux et les vertisols équilibrés, les sols sodiques acides et les vertisols hypermagnésiens.

Tableau 1 : Comparaison des rendements réalisés sur sols oxydiques dans le sud de la Nouvelle-Calédonie par rapport à des rendements théoriques

Cultures en plein champ	Rendements réalisés dans le Sud du Territoire (Enquêtes agropédologiques, ORSTOM) (t/ha)	Rendements théoriques (Mémento fertilisation des cultures légumières, CTIFL 1982) (t/ha)
Ananas	25	50 à 65
Banane	15 à 30	45 à 60
Carotte	5 à 30	35 à 60
Concombre	20	50 à 60
Tomate	13 à 50	60 à 70

S'agissant de sols naturellement acides, les premières investigations sur les sols ferrallitiques du Sud de la Grande Terre furent donc lancées en 1988, à la fin des études de base engagées sur les vertisols hypermagnésiens, et supportées, en partie, par la convention Territoire-ORSTOM N° 4 mentionnée ci-dessus.

1.1 - Choix du type de sol, schéma directeur du projet, transfert de technologie

Les plus grandes difficultés rencontrées par les maraîchers s'observant sur les sols de glacis et de piedmonts¹ (cf. photo n°1 ci-contre), généralement du type ferrallitique ferritique, firent alors retenir ces faciès pour les études agropédologiques de base.

¹Manquant de place en plaine, les maraîchers ont, en effet, étendu progressivement leurs champs sur les glacis et les piedmonts adjacents.

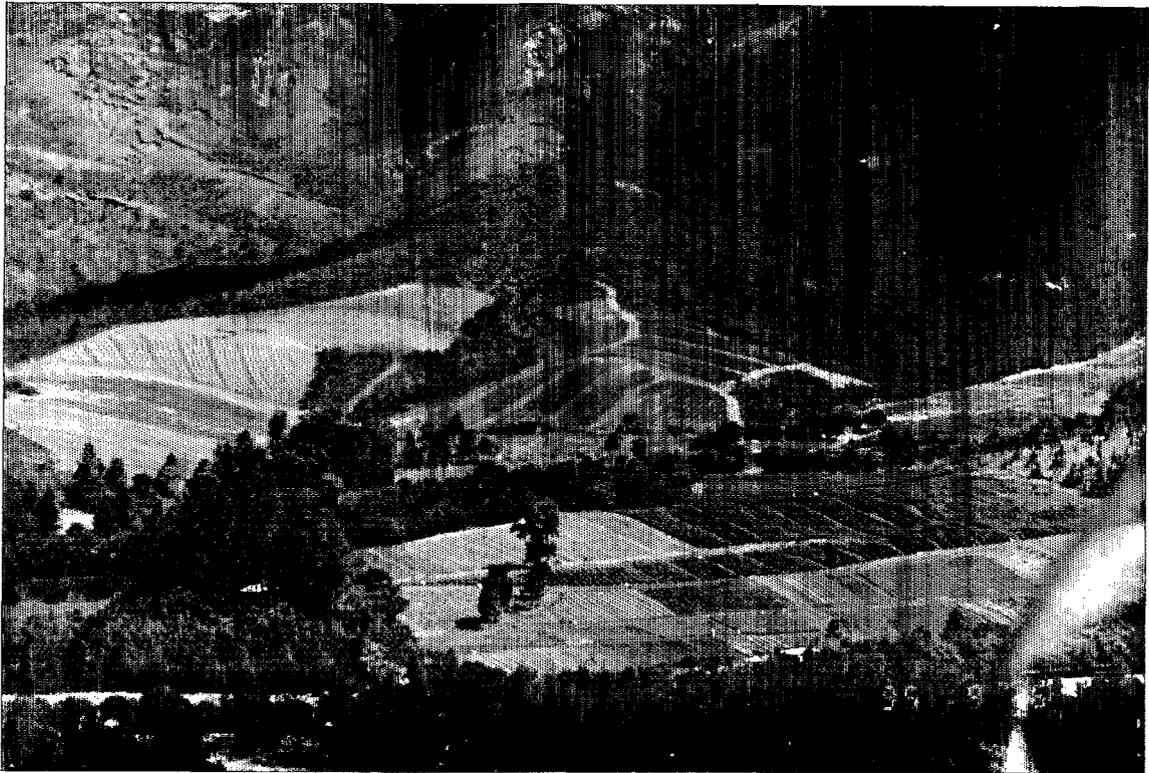


Photo N°1 : Vue générale de parcelles cultivées sur des sols de glacis et de piedmont dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie (vallée de la Lembi)

D'autre part, fort de l'expérience méthodologique acquise avec l'étude des vertisols hypermagnésiens acides lancée en 1983, les étapes retenues pour le premier schéma directeur du projet furent les suivantes :

- 1 - choix d'un site représentatif des sols ferrallitiques ferritiques**
↓
- 2 - à l'aide d'expérimentations sur vases de végétation, caractérisation des carences et des déséquilibres minéraux du sol du site et définition des moyens à mettre en oeuvre pour les corriger**
↓
- 3 - mise en place et suivi sur 5 ans d'une expérimentation de base au champ destinée à la vérification des conclusions tirées des expérimentations de courte durée en serre, et à la caractérisation de l'évolution sur 5 ans des facteurs de la fertilité**
↓
- 4 - étude sur 5 ans, à l'aide d'une expérimentation au champ multilocale et pluriannuelle, de la variabilité des facteurs de la fertilité des sols ferrallitiques ferritiques**
↓
- 5 - mise en place, chez un certain nombre de particuliers, d'un réseau de points d'observation de l'évolution à long terme des sols de ce faciès cultivés selon les normes se dégageant de l'expérimentation au champ**

Enfin, le lancement du programme devait s'accompagner d'un transfert de technologie de l'ORSTOM vers le CREA concernant les techniques d'expérimentation sur vases de végétation, le CREA devant prendre en charge une partie des études en serre du projet et souhaitant, par ailleurs, pouvoir disposer de cet outil pour la conduite de ses propres programmes.

1.2 - Réalisations et recherches

Le site représentatif des sols ferrallitiques ferritiques de piedmont fut choisi sur la rive gauche de La Coulée, fin 88, à l'issue d'une enquête conduite avec l'appui de Didier BLAVET, pédologue du Centre ORSTOM de Nouméa. Il fut décrit de façon détaillée plus tard par Emmanuel BOURDON (cf document n° 10).

La mise en oeuvre par le CREA des techniques d'expérimentation sur vases de végétation, technique mises au point par le Laboratoire d'Agropédologie, comporta, de la part de ce dernier, à la fois la fourniture des plans des équipements et des références techniques des matériaux et appareils à utiliser, et l'organisation d'un stage d'initiation théorique et pratique à l'utilisation des équipements. Serre, matériel de culture, équipements complémentaires (tunnels de séchage aux rayons infra-rouge, concasseur-tamiseur, etc...) et personnels du CREA étaient opérationnels en avril 89.

Quatre études expérimentales en serre furent alors conduites par le CREA, avec l'appui de l'ORSTOM, sur un volumineux échantillon de sol prélevé à la surface du site. Ces études s'échelonnèrent de mai 89 à décembre 90 (cf documents n°s 8, 12 et 27) avec, comme objectifs successifs :

- l'évaluation de la carence en phosphore à laquelle on s'attendait et de l'influence du pH ou de l'ion Ca^{++} sur son expression ;
- l'évaluation de la carence potentielle en silice et de son interaction avec la carence en phosphore ;
- la définition des doses optimales des amendements phosphatés et silicatés ;
- de premières informations sur les interactions "matière organique * phosphore " et "matière organique * silice" ainsi que sur la carence éventuelle en magnésium.

1.3 - Résultats et premières conclusions

Ces premiers travaux sur les sols ferrallitiques ferritiques du Sud, outre le fait qu'ils permirent à l'équipe du CREA d'accroître ses compétences - compétences expérimentales déjà reconnues depuis longtemps et vivement appréciées tant par l'ORSTOM qu'hors du Territoire par les instituts de recherches agronomiques internationaux (CYMIT, Institut de la Pomme de Terre, etc...) -, mirent surtout en relief la complexité des situations et des problèmes, ainsi que les dimensions phénoménales de la carence en phosphore.

En effet, l'enquête préalable au choix du site représentatif des sols ferrallitiques ferritiques avait très rapidement révélé la variabilité des faciès de ce type de sols dans le Sud.

Elle n'avait cependant pas permis de relier correctement cette variabilité aux variations morphopédologiques des formations superficielles de la région, question à peine abordée à l'époque par BOURDON et PODWOJEWSKI (cf. document n° 7, 1988). De plus, si le terrain choisi dans la vallée de La Coulée semblait superficiellement homogène et très proche au point de vue des propriétés physiques et chimiques de ceux des secteurs sur lesquels il y avait déjà eu des tentatives infructueuses de cultures, son étude méthodique par BOURDON (cf. document n° 10, 1990) révéla son hétérogénéité en profondeur. Il apparaissait donc inadapté à la conduite d'une expérimentation au champ d'une certaine ampleur.

D'autre part, au vu des résultats des analyses de sol et des études bibliographiques, il était logique de s'attendre à observer sur la plante-test des carences en phosphore et en silice (sans compter les carences en les autres éléments majeurs et en oligo-éléments, plus faciles, a priori, à corriger). Le rôle de la matière organique vis à vis du phosphore et de la silice devait aussi être précisé. Une attention particulière devait, enfin, être portée aux métaux lourds dont les teneurs sont extrêmement élevées dans les faciès oxydiques du Sud (métaux de transition serait plutôt l'expression à utiliser pour désigner l'ensemble "nickel, manganèse, chrome, cobalt, ...").

Les quatre études en serre mentionnées ci-dessus permirent, effectivement, de vérifier l'importance exceptionnelle de la carence en phosphore qui, pour être levée, nécessite - dans ces conditions expérimentales - des applications de P_2O_5 (sous forme de phosphate supertriple) de l'ordre de 7 t/ha. Par contre, elles ne mirent pas clairement en évidence de carence en silice. L'action favorable du lisier, pris comme matière organique de référence, pouvait être due, dans les conditions expérimentales où l'on s'était placé, plus à l'apport supplémentaire de nutriments qu'à un rôle spécifique de saturation préalable, par ses produits humifiés, des sites de fixation du phosphore. L'absorption des métaux lourds, dont les teneurs sont très élevées dans ce type de sols, apparaissait, quant à elle, fortement influencée par le niveau de l'application de phosphore, soulevant ainsi la question des seuils de toxicité de ces éléments pour la plante. Enfin, les interactions entre matière organique et phosphore d'une part, matière organique et silice d'autre part, n'apparaissaient jamais de façon clairement significative.

2 - MISE EN PLACE ET CONDUITE DU PROJET "SOLOXFER" (1991-1995)

Fonder le développement des cultures maraîchères et fruitières dans le Sud sur des bases scientifiques et techniques solides impliquait ainsi, dès 1990 :

1°/- de revenir de façon beaucoup plus méthodique sur l'organisation structurale des sols des massifs miniers de la région et, secondairement, de choisir un nouveau site pour la ou les futures expérimentations de base au champ ;

2°/- de préciser les premiers résultats des études expérimentales sur vases de végétation concernant l'influence de différentes formes de matières organiques ;

3°/- de s'assurer du parallélisme de comportement des principales espèces cultivables soumises aux mêmes niveaux d'amendements, notamment du parallélisme de leurs courbes de réponse à des doses croissantes de phosphore ;

4°/- de se préoccuper des toxicités éventuelles des métaux lourds pour les plantes, en particulier de la toxicité du nickel ;

5°/- d'aborder, enfin, la question fondamentale de l'évolution en conditions réelles de culture des effets et arrières-effets des amendements phosphatés, calciques et - éventuellement - silicatés.

Tels furent les thèmes du second projet, supporté cette fois par la seule Province Sud et faisant l'objet, début 91, de la convention de recherche de 4 ans entre elle et l'ORSTOM. Les thèmes de ce projet, baptisé par l'ORSTOM "SOLOXFER" en raison de l'accent mis sur les faciès oxydiques ferritiques des sols ferrallitiques des massifs du Sud, devaient être ainsi abordés dans le cadre de trois opérations concernant,

- la première, l'organisation structurale des sols ferrallitiques des massifs du Sud,
- la seconde, les carences et les déséquilibres minéraux des faciès oxydiques de ces sols,
- la troisième, la toxicité des métaux lourds présents dans ces mêmes faciès.

2.1 - Opération 1 : organisation structurale des sols ferrallitiques des massifs du Sud

2.1.1 - Étude pédologique de base (1991-92)

L'étude de l'organisation structurale des sols ferrallitiques des massifs du Sud devait aboutir, dans un premier temps, à une identification des différents faciès de sols ferrallitiques présents dans la région. Cette identification devait elle-même être reliée aux facteurs pédogénétiques de ces faciès afin de rendre aussi rationnelle que possible leur répartition dans le paysage. Ce travail s'appuierait sur trois zones témoins¹ sur lesquelles devaient être ainsi caractérisées les variations morphologiques, chimiques et physiques des sols en fonction des modelés et des différentes formations géologiques présentes.

Les résultats de cette étude sur les zones 2 et 3 ont été présentés par BOURDON et BECQUER en 1992 (cf. documents 24 et 25). D'une façon générale, les limites initiales données aux zones de référence ont été très largement débordées afin de mieux faire apparaître la logique de la distribution des sols de la région. L'aire cartographiée autour des zones 2 et 3 atteint ainsi 1296 ha au lieu des 120 ha initialement prévus. 78 % de cette aire sont couverts par des sols ferrallitiques ferritiques de montagne et de piedmonts, le reste par des sols de plateaux, des sols colluviaux et des sols alluviaux. Les caractéristiques chimiques, minéralogiques et physiques de ces derniers, les plus intéressants potentiellement du point de vue agricole, sont très proches, néanmoins, de celles des premiers en raison de l'origine de leurs matériaux. **Du point de vue agropédologique on peut donc considérer que la quasi-totalité des sols des zones 2 et 3 appartient au groupe des sols oxydiques dont les propriétés majeures, dans le contexte du Sud, sont les suivantes :**

- de très fortes teneurs en oxydes de fer devant engendrer de très fortes capacités de rétention pour le phosphore ;
- de faibles teneurs en silice - et donc en silicates - susceptibles d'induire des carences en cet élément chez les plantes ;

¹Les zones choisies sont situées, pour mémoire,

- en amont du bassin versant de la Rivière des Pirogues pour la première (superficie : 100 ha),
- sur la rive gauche de la Lembé pour la seconde (superficie : 40 ha),
- sur la rive droite de la Lembé et la rive gauche de la Coulée pour la troisième (superficie : 80 ha).

- des teneurs très élevées en métaux lourds : nickel, chrome, cobalt et manganèse ;
- une capacité d'échange en cations liée essentiellement à la matière organique évoluée, généralement faible et variable avec le pH.

Les processus pédologiques et les unités géomorpho-pédologiques, de même que la carte qui en résulte, sont rappelés ci-après.

S'agissant de zone 1, choisie au milieu d'une intrusion de roches calco-alcalines, les résultats de son étude ont été présentés par BOURDON et al. en 1993 (cf. document 29). Représentative de situations géologiques se rencontrant assez souvent dans les massifs du Sud, mais de faible extension, cette zone présente des sols ferrallitiques classiques (avec argiles kaolinitiques), juxtaposés à des sols oxydiques de recouvrement issus de l'altération des roches péridotitiques environnantes. On y observe également des sols résultant du remaniement des deux précédents. Du point de vue agricole, la diversité pédologique est donc la règle dans de telles zones. S'agissant des faciès ferrallitiques classiques ils se caractérisent par :

- un pH très acide, susceptible d'engendrer des toxicités aluminiques ;
- une désaturation presque complète en bases échangeables ;
- une capacité d'échange à pH 7 relativement satisfaisante (7 mé%), mais très supérieure à la capacité d'échange du sol à son pH naturel (1,5 mé%) ;
- des réserves en phosphore très faibles ;
- un comportement agropédologique certainement plus proche de ceux des sols ferrallitiques classiques, beaucoup mieux connus que les sols oxydiques.

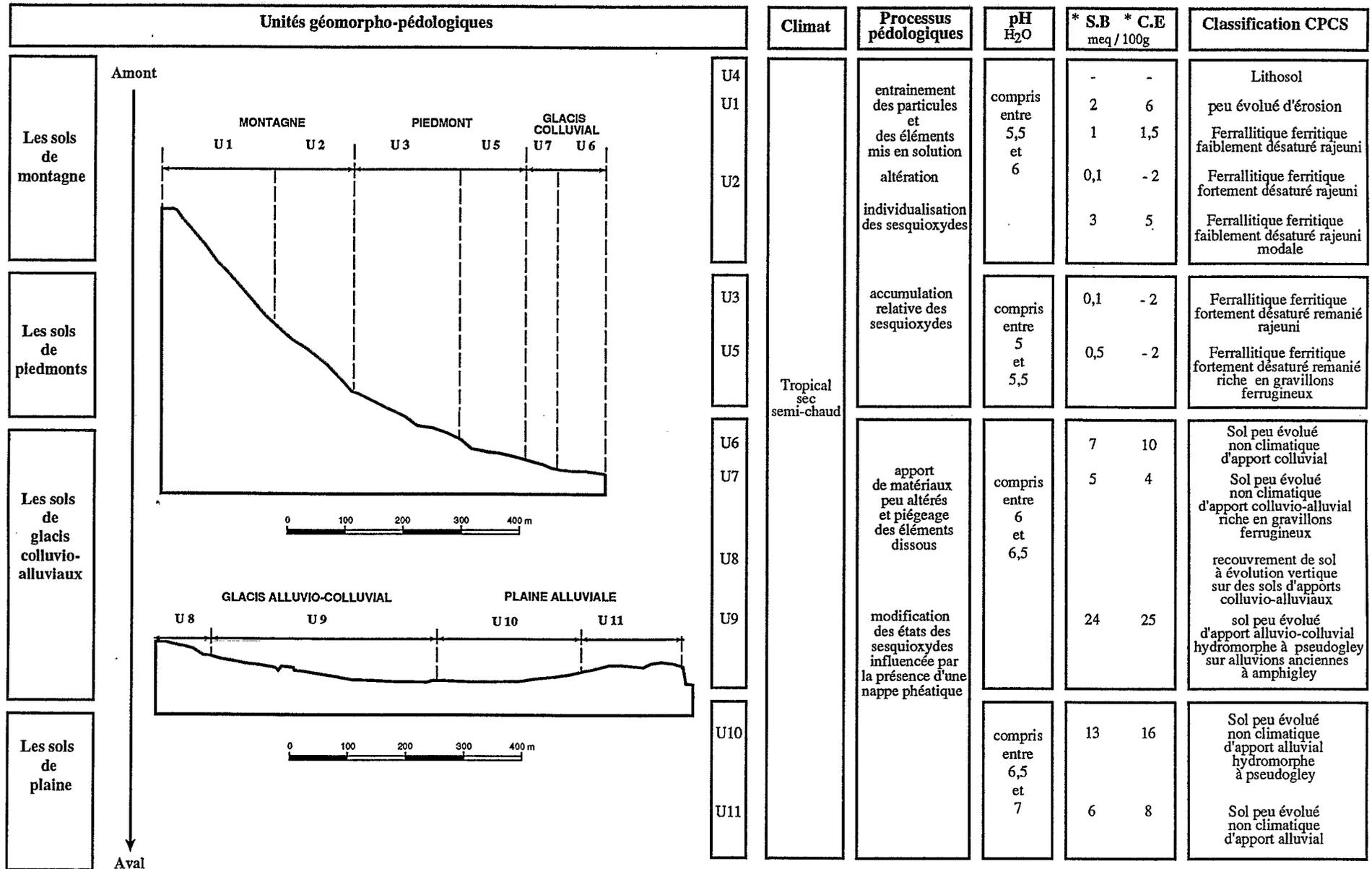
Conséquences des constats précédents :

1°/- les recherches avals pouvaient porter essentiellement sur les faciès oxydiques des sols ferrallitiques du Sud, étant donné les moyens humains et matériels limités dont disposaient aussi bien le CREA que le Laboratoire d'Agropédologie ;

2°/- des recherches expérimentales conduites sur un faciès de piedmont ou de glacis particulier devaient avoir une valeur très générale. Les résultats des recherches expérimentales en serre conduites entre 88 et 91 sur l'horizon de surface du premier site de la vallée de la Coulée conservaient ainsi toute leur valeur informative ;

3°/- les répercussions sur le comportement des végétaux cultivés des variations observées sur les différents faciès de sols oxydiques mis en valeur devaient être appréciées à partir d'enquêtes agropédologiques fines, des expérimentations multilocales étant techniquement et financièrement difficiles à envisager ;

4°/- le schéma directeur adopté lors du lancement des premières recherches (cf ci-dessus § 1.1) devait être modifié (allégé et raccourci), la quatrième étape pouvant donc être supprimée, la cinquième être lancée en même temps que la seconde et avoir justement comme premier objectif de statuer sur la variabilité du comportement des espèces cultivées sur les différents faciès mis en valeur.

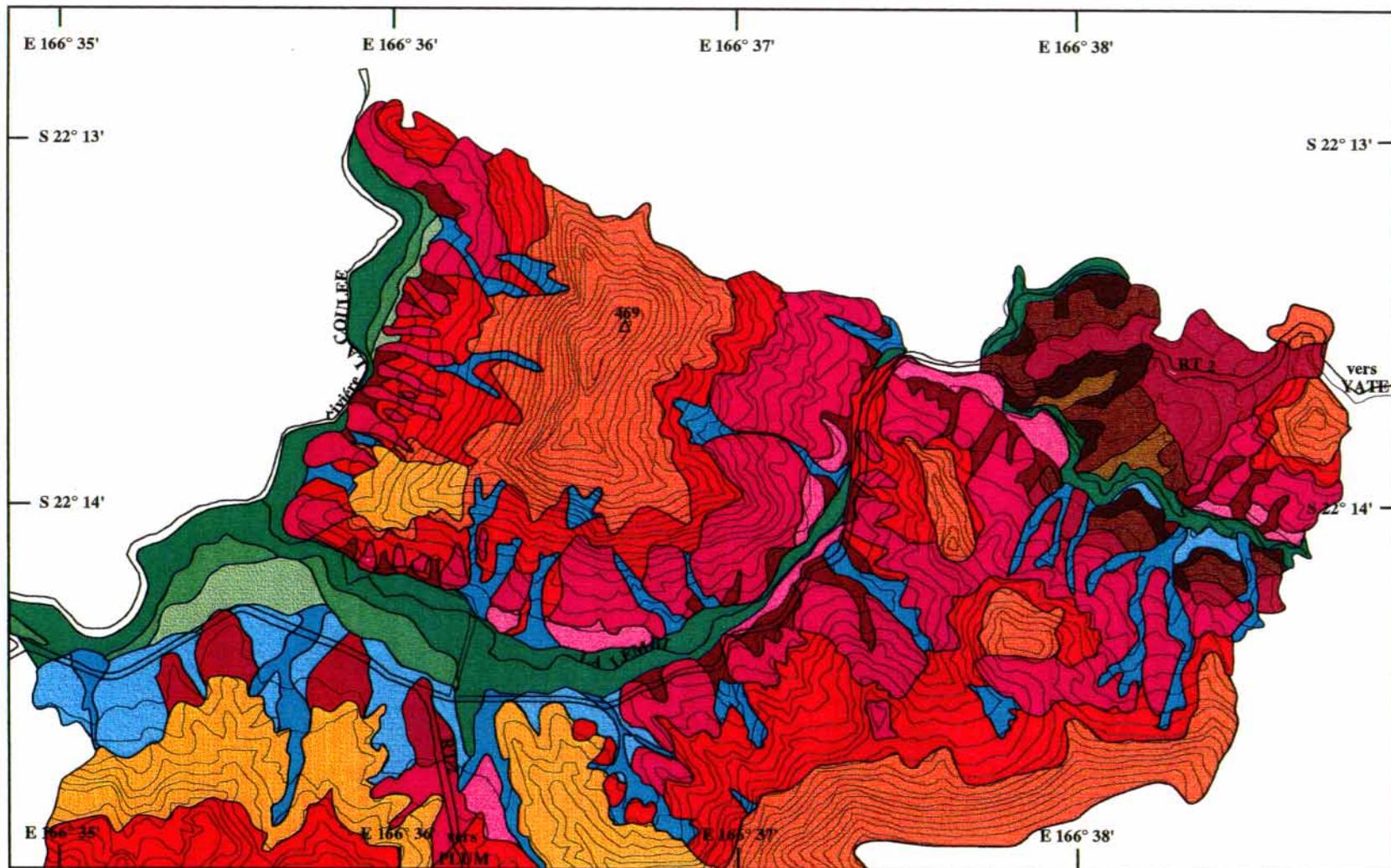


S.B : Somme des bases échangeables

C.E : Capacité d'échange

(*) S.B et C.E sont données pour des valeurs indicatives

CARTE GEOMORPHO-PEDOLOGIQUE DES VALLEES DE LA COULEE ET DE LA LEMBI.



LEGENDE

Modelé de montagne associé aux formations de piedmonts issues de péridotites.

- U1
- U2
- U3
- U4
- U5

Modelé de plaine et glacis colluvial issu d'apports colluvio-alluviaux.

- U6
- U7

Modelé de plaine et glacis alluvio-colluvial issu d'apports alluvio-colluviaux.

- U8
- U9
- U10
- U11

Modelé de colline associé aux formations issues de péridotites (sesquioxides) sur les formations d'altération (roches acides).

- U12
- U13
- U14

Modelé de colline et glacis colluvio-alluvial issu d'apports colluvio-alluviaux (roches acides).

- U15

ECHELLE 1 / 25000



2.1.2 - Enquête agropédologique sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur les sols oxydiques du Sud (1992-94)

Faisant suite à l'étude pédologique de base, une enquête agropédologique a donc été lancée en 1992 sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur les sols oxydiques du Sud. Ces enquêtes ont été conduites en s'appuyant sur les cartes pédologiques au 1/25 000 de BOURDON et BECQUER (cf. documents n^{os} 24 et 25). Les objectifs et les modalités de conduite de cette enquête ont été présentés EDIGHOFFER, BOURDON et BECQUER en 1992 (cf. les documents n^{os} 16, 17 et 18).

Après 4 années d'enquêtes, les travaux d'EDIGHOFFER et al. (cf. documents n^{os} 32, 33, 38, 46, 47 et 48) mettent clairement en évidence les faits suivants (cf. tableau 2 ci-dessous) :

Tableau 2 : Comparaison des teneurs en éléments minéraux et en métaux lourds des différents faciès de sols (glacis et plaine à hydromorphie temporaire ou non) .

Les valeurs sont les moyennes \pm leurs écarts types. Le nombre d'observations figure entre parenthèses.

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

1 - les teneurs en nickel total sont les plus élevées (1,17 %) en zones hydromorphes de plaines et de glacis, avec, cependant, une meilleure disponibilité sur les glacis hydromorphes où l'on observe une teneur moyenne en Ni-DTPA de 252 ppm contre 162 en plaine hydromorphe. En zones non hydromorphes, les teneurs en nickel sont plus élevées en plaine (1,09 % de nickel total et 52,5 ppm de nickel extrait au DTPA) qu'en glacis (0,6 % de nickel total et 9,9 ppm de nickel extrait au DTPA) ;

2 - corrélativement aux teneurs en nickel total du sol, l'absorption de nickel par les plantes cultivées (cf. Figs. 1,2 et 3 ci-contre) est plus forte en plaines et en zones hydromorphes de glacis où elle atteint et dépasse, parfois, les seuils de toxicité indiqués dans la littérature. Tel est le cas, en particulier, d'aubergines cultivées en plaine et présentant des teneurs de 90 ppm de Ni dans leurs feuilles alors que SALIM et al (1988) (cf. document n^o 46) donnent 27 ppm comme seuil de toxicité. Tel est également le cas de citronniers en zone de glacis hydromorphes dont les teneurs des feuilles en Ni sont proches de 100 ppm alors que le seuil de toxicité se situerait aux environs de 50 ppm (VANSELOW, 1966) (cf. document n^o 46) ;

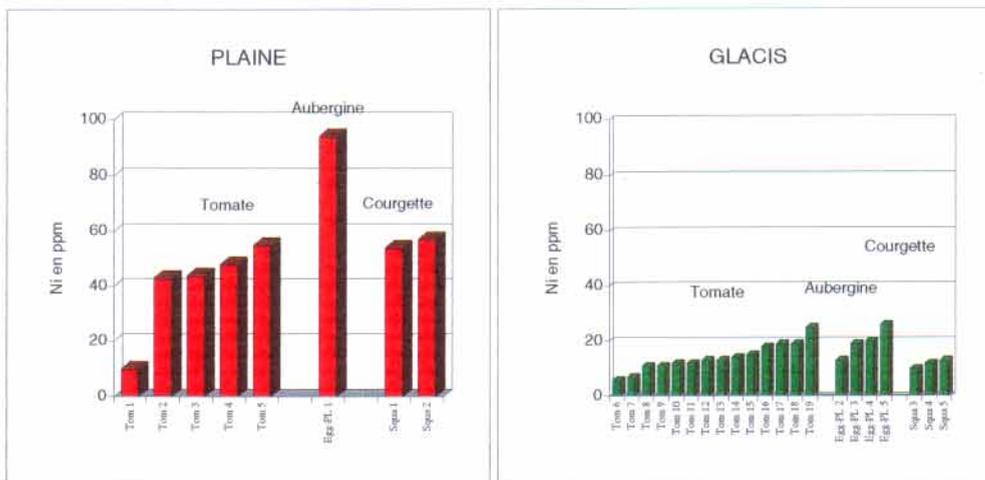


Fig 1 : TENEURS EN NICKEL DANS LA TOMATE, L'AUBERGINE (teneur toxique > 27 ppm) ET LA COURGETTE.

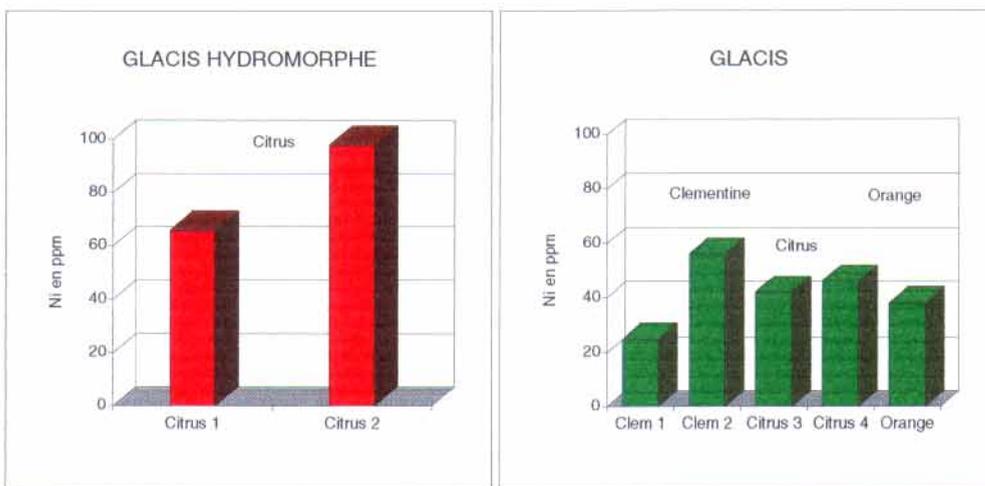


Fig 2 : TENEURS EN NICKEL DANS LE CITRUS (teneur toxique > 50 ppm), LA CLEMENTINE ET L'ORANGE.

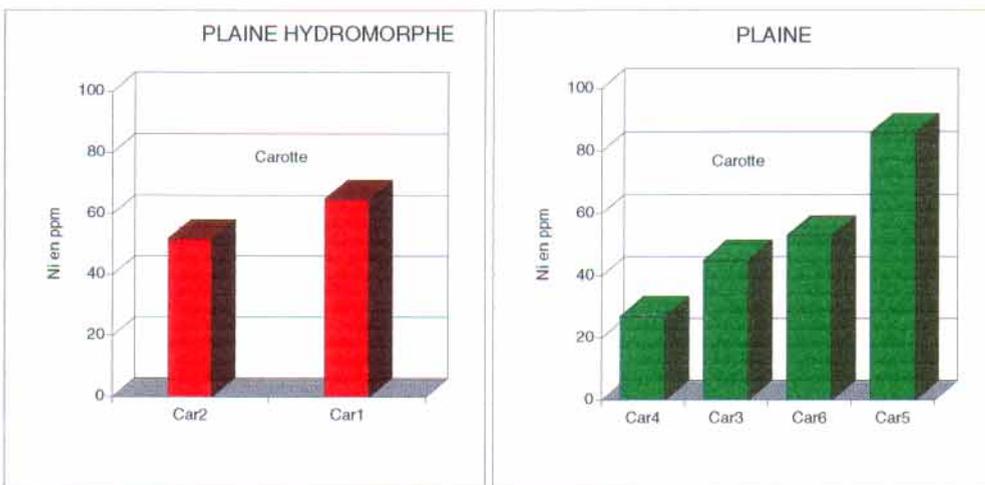


Fig 3 : TENEURS EN NICKEL DANS LA CAROTTE

Figures 1 à 3 : répartition du nickel chez les plantes cultivées.

3 - les teneurs en manganèse total d'une part et en manganèse assimilable du sol d'autre part sont élevées et comparables en plaines et en glacis (0,9 % de manganèse total et 30 ppm de manganèse échangeable). Pour cette raison vraisemblablement, l'absorption de manganèse par les plantes cultivées est de même importance sur les deux zones où elle atteint parfois les seuils de toxicité. Ainsi, pour des teneurs en manganèse total du sol de 0,9 %, on observe des teneurs de 1200 ppm de Mn dans les feuilles de tomate, alors que LE BOT et al.(1990) (cf. document n°46) ont constaté, à ce niveau chez cette espèce, un début de toxicité dès 916 ppm ;

4 - les teneurs en magnésie (MgO) sont plus élevées en plaine (2,15 %) et en zones hydromorphes (de plaine - 3,4 % - et de glacis - 4,3 %) que sur glacis (0,29 %). Pour des teneurs équivalentes en chaux (0,3 %), cela se traduit par des rapports Mg/Ca plus élevés sur les plantes maraîchères et fruitières cultivées en plaine (culture de tomates avec un rapport Mg/Ca de 0,3 en glacis et de 1,6 en plaine) et en zones hydromorphes (culture de citronniers avec un rapport Mg/Ca de 0,3 en glacis et de 2,5 en glacis hydromorphe) ;

6°/- les teneurs en silice sont, elles aussi, plus élevées en plaine (7,6 %) et en zones hydromorphes (glacis hydromorphe : 12,5 % et en plaine hydromorphe : 11,9 %) que sur glacis (1,7 %), et cela se répercute également sur les teneurs en silice des végétaux (culture de courgette avec des teneurs en silice de 0,01 % en glacis et de 0,16 % en plaine, culture de carotte avec des teneurs en silice de 0,02 % en plaine et de 0,06 % en plaine hydromorphe) ;

7°/- les teneurs en phosphore total des sols cultivés depuis quelques années sont très élevées et peuvent atteindre des niveaux importants jusqu'à 7 et 12 t/ha de P₂O₅ dans l'horizon 0-25 cm respectivement en plaine et en glacis.

2.1.3 - Impact des systèmes de culture sur l'évolution des caractéristiques physiques et de la lixiviation (1993/94)

Les examens de profils pédologiques et culturaux réalisés au cours des enquêtes précédentes ont permis de se rendre compte que **sur tous les faciès, sous végétation naturelle comme sous cultures**, les plantes sont manifestement affectées par de sérieux problèmes de développement racinaire : leurs enracinements sont généralement très superficiels et souvent confinés dans certains volumes. Pour les cultures, l'action des engins intervenant sur le terrain est prépondérante, renforçant les problèmes naturels : traces de passage des roues, semelles de labour et de rotavator sont autant d'obstacles au développement racinaire qui peuvent aussi bien limiter la nutrition minérale et l'alimentation en eau des plantes que favoriser l'asphyxie racinaire ou simplement la lixiviation. Les examens de profils culturaux ont révélé également la quasi-inutilité des passages de griffes pour l'ameublissement des horizons de profondeur (situés en dessous des fonds de labour). Les cultures fruitières semblent les plus touchées par ces problèmes physiques. Ces observations (cf. documents n°s 36 et 37 de BOURDON et al.) ont ainsi conduit le Laboratoire d'Agropédologie à proposer, à partir de 1993, une étude de **l'impact des systèmes de culture sur l'évolution des caractéristiques physiques et de la lixiviation pour les différents faciès de sols ferrallitiques**. Cette étude se développe actuellement sur le dispositif expérimental de Ouénarou (cf. ci-après § 2.2.2.2).

2.2 - Opération 2 : carences et déséquilibres minéraux des faciès oxydiques des sols ferrallitiques du Sud

2.2.1 - Recherches expérimentales en serre (1991/94)

Complétant les quatre premières études expérimentales en serre réalisées en 1989 et 1990, deux nouvelles séries de travaux furent réalisés encore en 1991 et 1992 par le CREA, toujours en collaboration avec l'ORSTOM et sur l'échantillon de sol prélevé sur le site de La Coulée, pour comparer les effets

- de différents amendements organiques,
- de doses croissantes d'amendements phosphatés sur haricot vert et sur laitue.

La première mit en évidence l'intérêt du fumier de volailles (à la dose de 15 t/ha) par rapport au fumier de bovin (à la dose de 45 t/ha) ou au lisier de porc (à la dose de 120 m³/ha), ces quantités de produits apportant chacune la même quantité de P₂O₅ (173 kg/ha) permettant théoriquement de produire 15 t/ha de grains de maïs. Elle montra aussi que cette dose de 15 t/ha de fumier de volailles était la dose maximale à ne pas dépasser dans les conditions de l'expérience.

La seconde révéla un excellent parallélisme de comportement de la laitue et du haricot vert devant des doses croissantes d'amendement phosphaté, le développement le plus vigoureux s'observant sur les deux espèces pour la dose de 7t/ha déjà repérée sur maïs.

Les rapports relatifs à ces deux séries d'études ont été présentés en octobre 1993 (cf. document 30 de CAPPART et BONZON et document 31 de CAPPART et al.).

Une septième série d'essais en serre fut lancée en mai 93 par l'ORSTOM pour vérifier que les résultats généraux obtenus sur l'horizon de surface du sol de La Coulée s'appliquaient bien au sol du nouveau site choisi sur la Station Forestière de Ouénarou pour la future expérimentation de base au champ. **Les conclusions de ces essais furent qu'effectivement les réponses à des doses croissantes de phosphore étaient semblables (la dose optimale de 7 t/ha de P₂O₅ étant ressortie de nouveau) et que celles relatives à l'intérêt d'une application d'amendement silicaté n'étaient guère plus évidentes que lors des premiers tests réalisés par le CREA.**

Enfin, une huitième série d'essais fut mise en place en juin 1994 par le CREA (cf. document 52 de GUÉROULT) pour préciser :

- la réponse du maïs à des doses croissantes de fumier de poule (15,4 ; 30,8 et 46,2 t/ha, la première dose étant, pour mémoire, sensée couvrir les besoins en phosphore du maïs pour une production de 15 t/ha de grains) ;

- l'interaction entre le fumier de poule et la fumure (ou l'amendement) phosphaté ;

- le rôle éventuel sur l'assimilation du phosphore par la plante d'un activateur biologique commercial réputé efficace.

Les deux premiers essais confirmèrent l'impossibilité de fournir par le fumier de poule la quantité de phosphore nécessaire à la plante pour un développement normal.

Le troisième n'apporta aucune information certaine quant à l'influence de l'activateur biologique sur la nutrition phosphatée du maïs. Cependant, l'expérience mériterait d'être reprise en se plaçant dans des conditions expérimentales différentes (temps de réaction sur le sol du phosphore de l'amendement plus longs, doses de phosphore plus faibles).

2.2.2 - Mise en place du dispositif expérimental de base destiné à la caractérisation au champ des arrières-effets des amendements phosphaté, organique et silicaté

Caractériser l'évolution en fonction du temps des effets sur le sol et sur la plante des masses considérables de phosphate supertriple nécessaires à la levée de la carence en phosphore des sols oxydiques du Sud impliquait, bien évidemment, la mise en place sur le terrain d'un dispositif expérimental pluriannuel adapté à ces travaux. De la même façon, la pérennité des effets favorables du couple "amendement phosphaté * amendement organique" ne pouvait être mise en évidence et expliquée qu'en s'appuyant sur une expérimentation comparable de longue durée. Enfin, mettre en évidence l'intérêt à moyen terme d'un amendement silicaté devait aussi être testé. L'ensemble de ces essais nécessitait un champ homogène sur glacis, d'une certaine superficie (de un à deux hectares), irrigable (afin d'éliminer en grande partie le facteur de variation et d'échec expérimental "conditions d'alimentation en eau des cultures") et disponible pour une période minimale de cinq ans.

Plusieurs sites, répondant a priori à ces critères, furent ainsi examinés au cours de l'année 1992. Grâce à l'obligeance du Service de l'Environnement de la Direction du Développement Rural, celui qui fut retenu finalement en février 93, après une reconnaissance pédologique du terrain par l'ORSTOM, est situé sur la rive droite de la Rivière Bleue dans la Station Forestière de Ouénarou.

2.2.2.1 - Mise en place d'un premier dispositif expérimental

Le défrichage et la préparation d'une première zone du site par le CREA démarra en mai 93, aussitôt après son étude pédologique fine par l'ORSTOM. Dans le même temps étaient conduites à Nouméa les deux expérimentations en serre (cf. ci-dessus le § 2.2.1) destinées à vérifier les résultats des études réalisées antérieurement sur le faciès oxydique de piedmont de La Coulée. Ces essais permirent, mi-juin, d'arrêter les protocoles des deux expérimentations au champ envisagées déjà en 1992¹. Les semis de ces expérimentations furent réalisés le 6 juillet 1993 pour la première (une étude de l'interaction "phosphore*matière organique"), le 5 août pour la seconde (celle concernant les "arrières effets de doses croissantes d'amendement phosphaté"). Des erreurs dans les adaptations apportées aux protocoles de 1992 - une dispersion complètement aléatoire des traitements à l'intérieur de chacun des deux essais rendant impossibles leurs analyses de variance, non seulement en terme de carré-latin, ce qu'ils auraient dû être, mais même en terme d'essais en blocs complets équilibrés - rendirent malheureusement nécessaires l'abandon du dispositif, dès que l'on s'en aperçut, en septembre 93.

¹ Les protocoles de ces essais avaient été définis, en effet, avec beaucoup de soins en 1992, lors de l'établissement de l'avenant 1 à la convention particulière passée entre l'AICA et l'ORSTOM.

2.2.2.2 - Installation du second dispositif expérimental

Les sols d'une seconde zone du site furent alors étudiés en détail par l'ORSTOM entre janvier et mars 1994 (cf. ci-après la carte des sols de BOURDON et EDIGHOFFER). Cette étude permis de définir et d'organiser un nouveau périmètre expérimental (cf. le croquis ci-après) pour la conduite :

1 - d'une étude des effets et arrières-effets de doses croissantes de P_2O_5 sous forme de phosphate supertriple (2, 4, 6, 8 et 10 t/ha). Cette étude repose sur un carré-latin 5*5 ;

2 - d'observations sur l'évolution concomitante de la végétation, du profil cultural (notamment des caractéristiques hydrodynamiques du sol) et de la lixiviation sur deux faciès pédologiques légèrement différents et sous 3 types d'amendements (4 t/ha de P_2O_5 sous forme de phosphate supertriple seul, 4 t/ha de P_2O_5 plus 20 t/ha de scorie du nickel - un silicate de magnésium -, 4 t/ha de P_2O_5 plus 20 t/ha d'un compost urbain) ;

3 - d'une parcelle de *Sesbania rostrata*, légumineuse africaine susceptible d'être utilisée comme plante de couverture intercycle, car hautement fixatrice d'azote et de cycle court ¹;

4 - d'une éventuelle future micro-expérimentation.

Commencée le 11 avril, la préparation du terrain - défrichage, enfouissement de la petite végétation, premier épierrage, épendage et enfouissement de croûte calcaire (1,5 t/ha à 45 % de CaO pour relever le pH du sol) et d'urée (140 kg/ha à 46 % d'azote pour favoriser l'humification des résidus de la végétation originelle), mise en place des drains séparant 7 bandes de cultures, carroyage du champ, épendage et enfouissement des différents amendements avec épierrage complémentaire, semis d'un gazon stolonifère sur toutes les zones hors expérimentation - fut achevée le 17 juin 1994. Afin de permettre aux amendements de réagir sur le sol, les semis furent effectués le 27 juillet suivant. La récolte eut lieu le 9 janvier 1995.

Les principaux résultats obtenus furent les suivants :

1°/ - les rendements en grains passent de 8,2 à 9,2 puis à 9,9 t/ha sur les parcelles ayant reçu 2, 4 et, finalement, 10 t/ha de P_2O_5 , l'augmentation la plus importante se situant ainsi entre 2 et 4 t/ha de P_2O_5 ;

2°/- une très forte hétérogénéité s'observe sur l'essai consacré à l'étude des effets et arrières-effets de doses croissantes de phosphore, aussi bien sur les données recueillies avant la préparation du terrain que sur celles obtenues à la récolte du champ. Les très forts coefficients de variation observés sur le rendement en grain, la masse des résidus de récolte et les teneurs en éléments minéraux des parties aériennes du maïs, en phosphore notamment, s'expliquent, cependant, autant par la très forte hétérogénéité initiale du terrain (peut être liée en partie à sa végétation originelle), que par les difficultés rencontrées pour mélanger de façon homogène les

¹Cette étude reçoit l'appui de Gérard RINAUDO, Chef du Laboratoire de Microbiologie du Centre ORSTOM de Nouméa.

CHAMP EXPERIMENTAL DE OENAROU

1 - Carte des sols

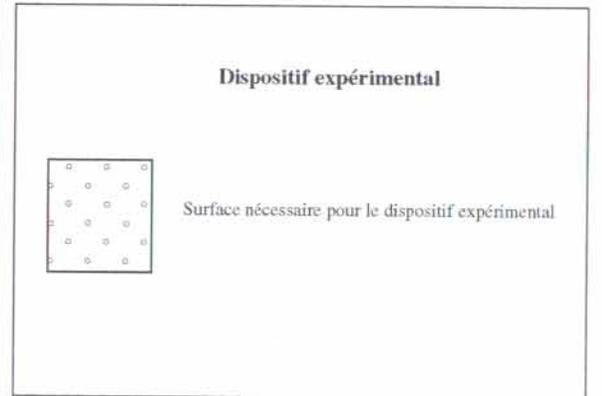
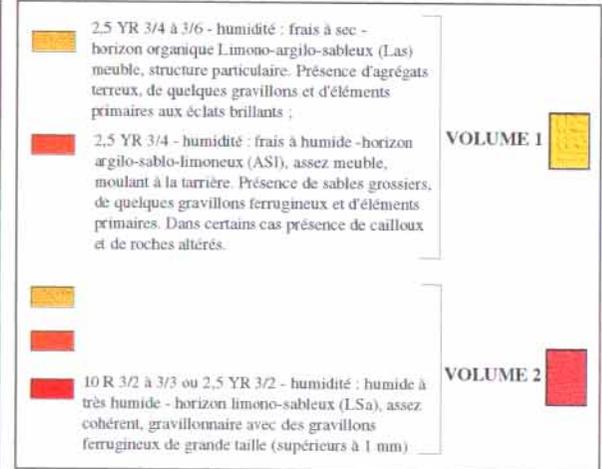
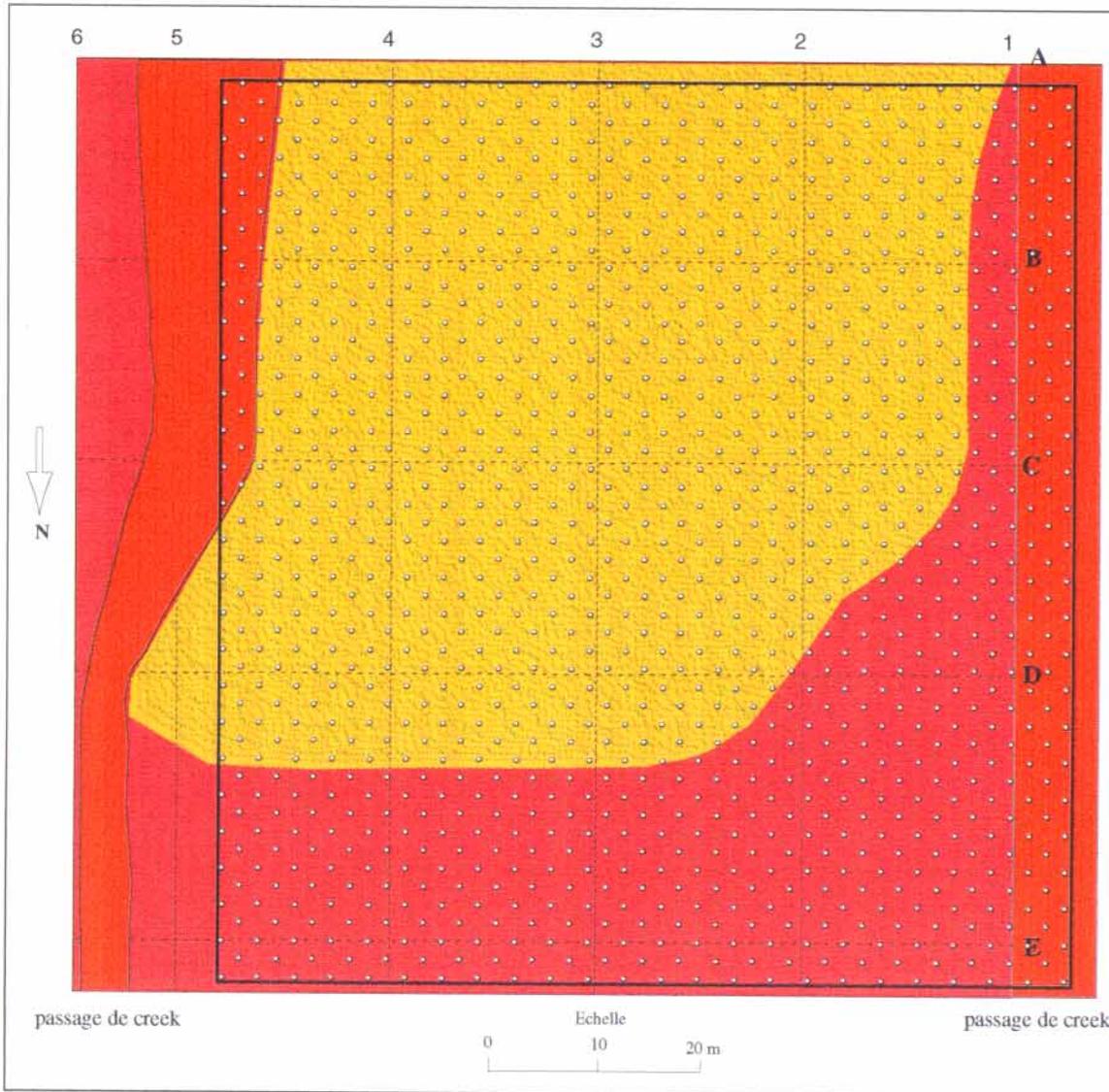
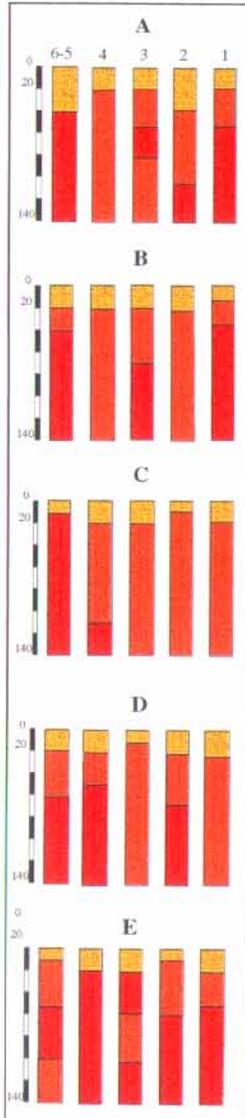
ORSTOM
Centre de Nouméa
Laboratoire d'Agropédologie

S. Edighoffer
E. Bourdon
T. Becquer

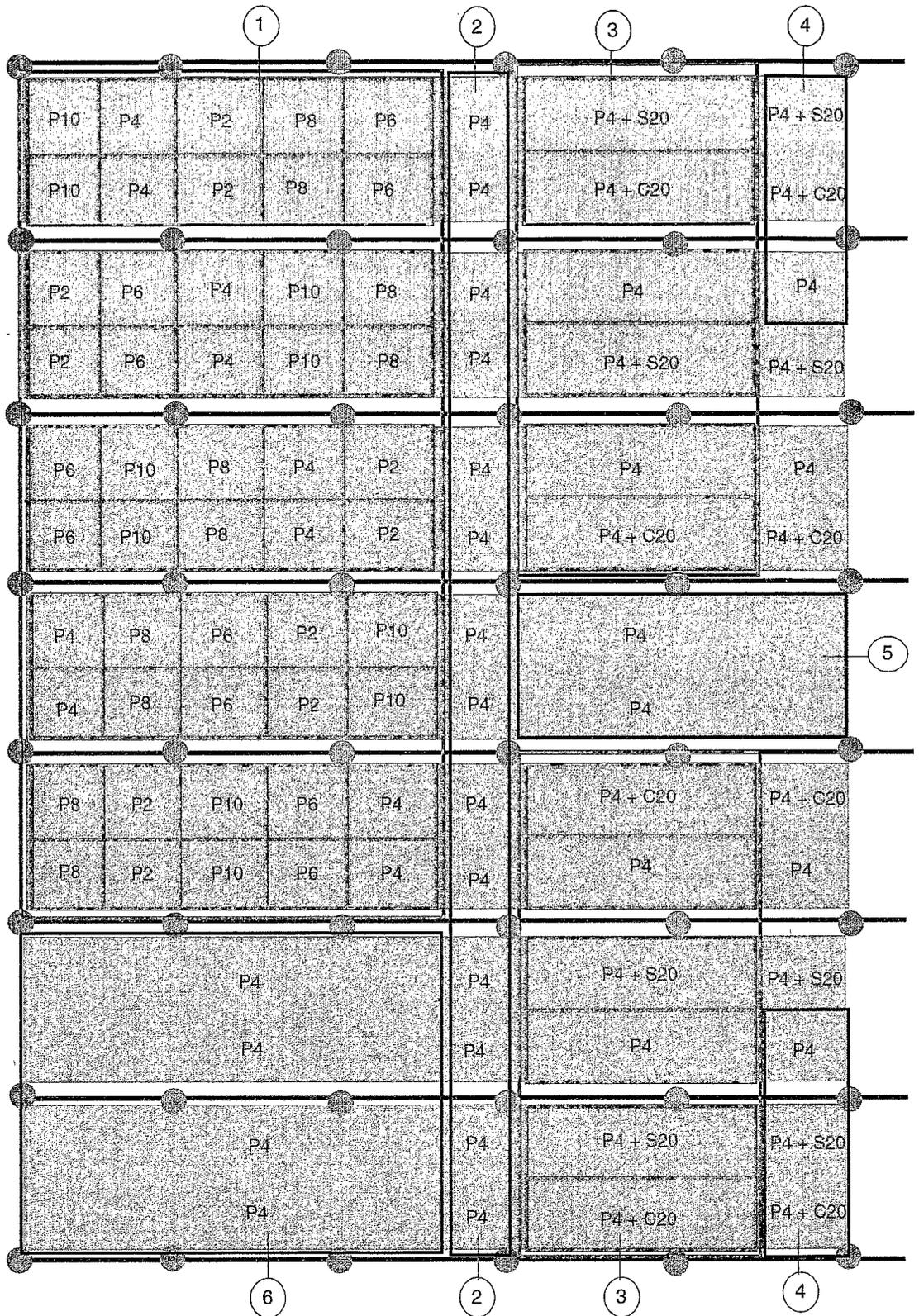
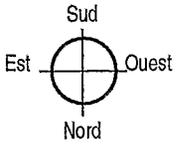
Vue en coupe des variations latérales
des horizons diagnostiques
constituant le pédo-comparateur

Cartographie des volumes de sols
(vue en plan)

Descriptions
des horizons diagnostiques
constituant les volumes de sols



2 - Expérimentation. Répartition des traitements



LEGENDE

P2 = 2 t/ha de P₂O₅
 P4 = 4 t/ha de P₂O₅
 P6 = 6 t/ha de P₂O₅
 P8 = 8 t/ha de P₂O₅
 P10 = 10 t/ha de P₂O₅
 S20 = 20 t/ha de Scories de nickel
 C20 = 20 t/ha de Compost

- ① Evolution des arrières effets du phosphore ;
- ② Bande centrale (statut initial du sol) ;
- ③ Evolution des propriétés physiques ;
- ④ Evolution de la lixiviation ;
- ⑤ Non défini ;
- ⑥ Intérêt de Sesbania Rostrata.

amendements dans l'horizon de labour (0-30 cm), le second épierrage réalisé à cette occasion y ayant certainement contribué pour beaucoup ;

3°/- aucune influence des amendements organique et silicaté n'est décelable tant sur les parties aériennes du maïs (masses et minéralo-masses), que sur les caractéristiques physiques et chimiques du profil cultural. L'importance des résidus de la végétation originelle et de l'hétérogénéité du sol en sont probablement responsables ;

4°/- les teneurs en nickel dans les tiges et feuilles à la récolte sont très élevées (23,3 ppm). Elles dépassent le seuil de toxicité de la variété utilisée, Hycorn 80, choisie en raison de sa tolérance relative au nickel. Cette observation pose cependant le problème de l'origine de ce nickel : provient-il entièrement du sol, ou bien proviendrait-il pour partie de l'eau du Lac de Yaté utilisée pour l'irrigation.

2.3 - Opération 3 : toxicité des métaux lourds dans les sols oxydiques du Sud

Les teneurs élevées en métaux lourds - chrome, cobalt, nickel et manganèse - dans les sols oxydiques du Sud, de même que les teneurs élevées en manganèse et nickel observées chez le maïs sur les premiers essais en serre (cf. document n° 12) et l'influence dans ce cas de la fumure phosphatée (la teneur en manganèse augmentait avec l'élévation de la dose de phosphore, tandis que celle en nickel diminuait), soulevaient tout naturellement la question de la toxicité éventuelle de ces éléments pour les cultures dans cette région¹. L'étude méthodique de ce problème fut donc envisagée. Confiée à Laurent L'HUILLIER², ancien VAT auprès du Laboratoire d'Agropédologie de l'ORSTOM entre 1989 et 1990, elle reçut parallèlement l'appui du Professeur d'AUZAC, Chef du Laboratoire de Biotechnologie et de Physiologie Végétale Appliquée de l'Université de Montpellier II et directeur de thèse de L. L'HUILLIER³.

Les recherches ont porté, pour l'essentiel, sur le nickel en s'appuyant sur des expérimentations en serre (cf. documents n°s 11, 13, 21, 26, 28 et 34), sur des tests rapides en laboratoire (cf. documents n°s 23 et 34), ainsi que sur des études physiologiques menées au Laboratoire du Pr. d'AUZAC (cf. documents n°s 39 et 40). Les principaux résultats de ces travaux, conduits sur maïs, sont les suivants :

1 - le nickel est toxique pour le maïs quand sa teneur dépasse 12 ppm dans les tiges et feuilles sur des plants de 75 cm de hauteur (du sol à la dernière feuille dégainée). Ce seuil diminue avec le développement de la plante ;

2 - sa toxicité revêt un caractère insidieux lorsqu'elle est légère, aucun symptôme particulier n'apparaissant sur les parties aériennes. Elle se traduit alors par un simple ralentissement de la croissance et, lors de la fécondation, par une mauvaise nouaison entraînant

¹Paul QUANTIN et Tanguy JAFFRE des Laboratoires de Pédologie et de Botanique s'étaient déjà posé la question en 1974 en utilisant de l'avoine comme plante test. Les conclusions de leurs observations allaient dans le sens d'une toxicité éventuelle du nickel.

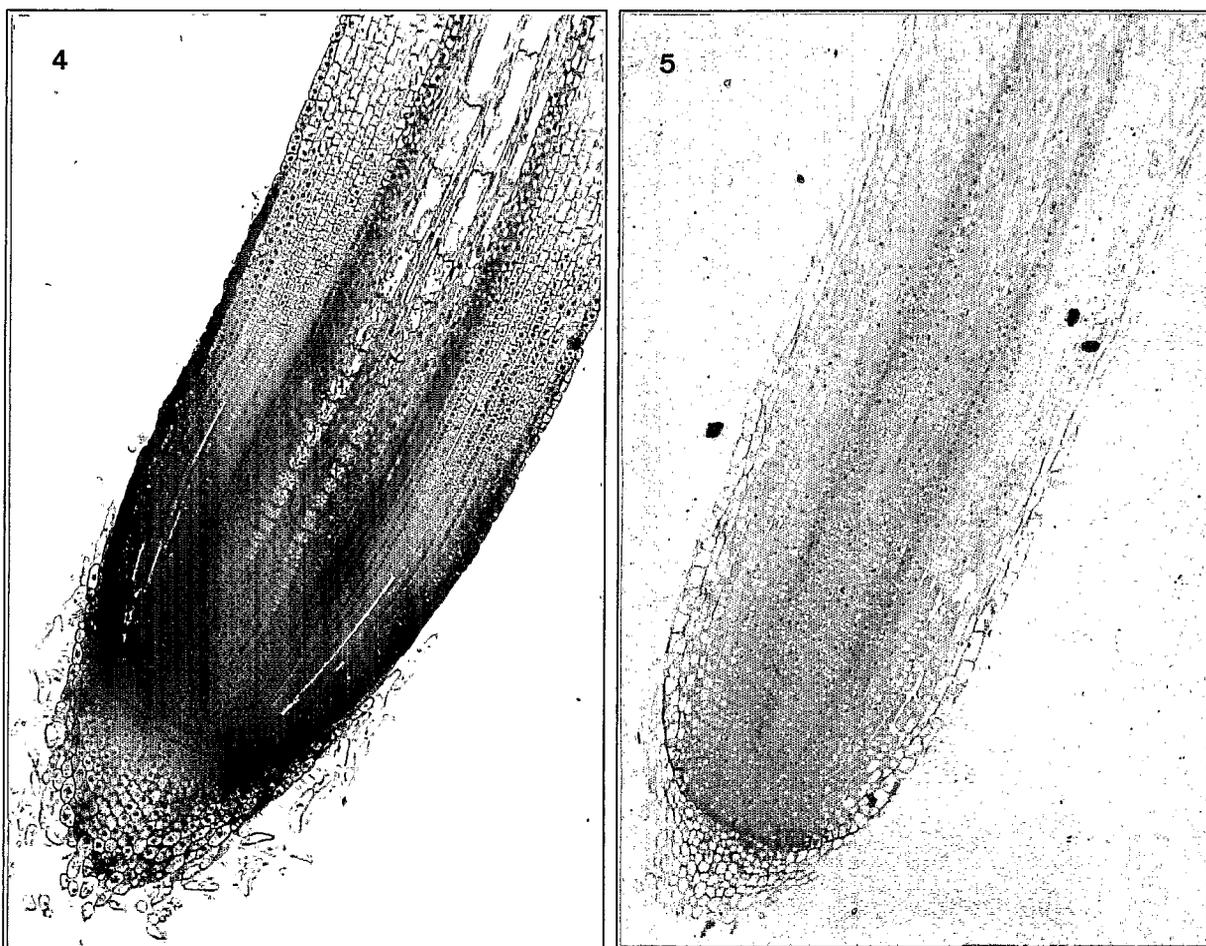
²Sylvie EDIGHOFFER a participé également aux premières recherches (cf documents n°s 11, 13 et 26)

³L. L'HUILLIER a soutenu sa thèse le 20 décembre 1994. Intitulée "Biodisponibilité du maïs dans les sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie. Effets toxiques de Ni sur le développement et la physiologie du maïs", elle reçut la mention "Très honorable avec les félicitations du jury" et "l'Imprimatur immédiat".

de médiocres rendements en grains. Lorsqu'elle est plus accusée, elle entraîne un mauvais développement des racines, une nécrose de l'extrémité des jeunes feuilles pouvant s'étendre à la totalité du limbe, un aspect chétif des plants ;

3 - ces problèmes de développement ne semblent cependant pas liés à une carence induite en un nutriment particulier, même si l'on constate qu'à l'accroissement de la teneur en nickel correspond une diminution des teneurs en fer et en manganèse dans les tissus végétaux ;

4 - la première action toxique du nickel se situe au niveau des méristèmes racinaires. Il agit en diminuant l'activité mitotique des cellules de cette zone, se traduisant par une faible croissance des racines (Figs. 4 et 5) ;



Figures 4, 5. Effets du nickel sur les racines de maïs (cv. XL 94).
(coupes longitudinales au niveau du méristème racinaire).

4 : plant témoin; 5 : plant exposé à 60 μM de Ni pendant 8 jours. Chez le plant intoxiqué (Fig. 5), la faible coloration bleue et le faible nombre de cellules en cours de division traduit des cellules peu actives, à l'origine de la faible croissance.

5 - l'absorption de nickel est fortement diminuée en présence de nutriments. Dans l'eau pure le nickel est toxique à partir de 3 $\mu\text{mole/l}$, alors que dans une solution nutritive complète il doit atteindre le seuil de 30 $\mu\text{mole/l}^1$;

6 - des différences de sensibilité importantes existent entre les variétés de maïs commercialisées à Nouméa et testées par le CREA. Ces différences ont été mises en évidence à l'aide d'un test rapide de laboratoire sur de jeunes plantules, test conçu par L. L'Huillier. Hycorn 80 semble ainsi la moins sensible des variétés testées, XL 94 la plus sensible. Des différences de sensibilité encore plus importantes existent entre les espèces. D'autre part, le test pourrait être adapté facilement à l'étude de la sensibilité des mêmes plantes à d'autres toxicités ;

7 - une étude en serre de la disponibilité du nickel pour les végétaux sur deux principaux faciès arables de la région - les sols de piedmont et de plaine - confirme que le nickel est beaucoup plus absorbé sur les faciès de plaine. En outre, l'extraction par le DTPA constitue une bonne méthode de la détermination de nickel assimilable sur ces sols.

3 - SYNTHÈSE ET DÉVELOPPEMENTS SOUHAITABLES

Les recherches conduites depuis 1991 au titre de la convention Province Sud-ORSTOM sur les facteurs de la fertilité et les conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre permettent, aujourd'hui, d'avoir sur ces questions à la fois une information beaucoup plus précise et beaucoup plus large qu'au départ, et une vision beaucoup plus claire des développements techniques et scientifiques qu'il serait souhaitable de leur donner, qu'il s'agisse

- de l'organisation structurale des sols du Sud, c'est à dire de la nature et de la localisation de leurs différents types et faciès en fonction des facteurs de la pédogenèse,

- des conditions agropédologiques des exploitations maraîchères et fruitières installées majoritairement sur des faciès ferritiques,

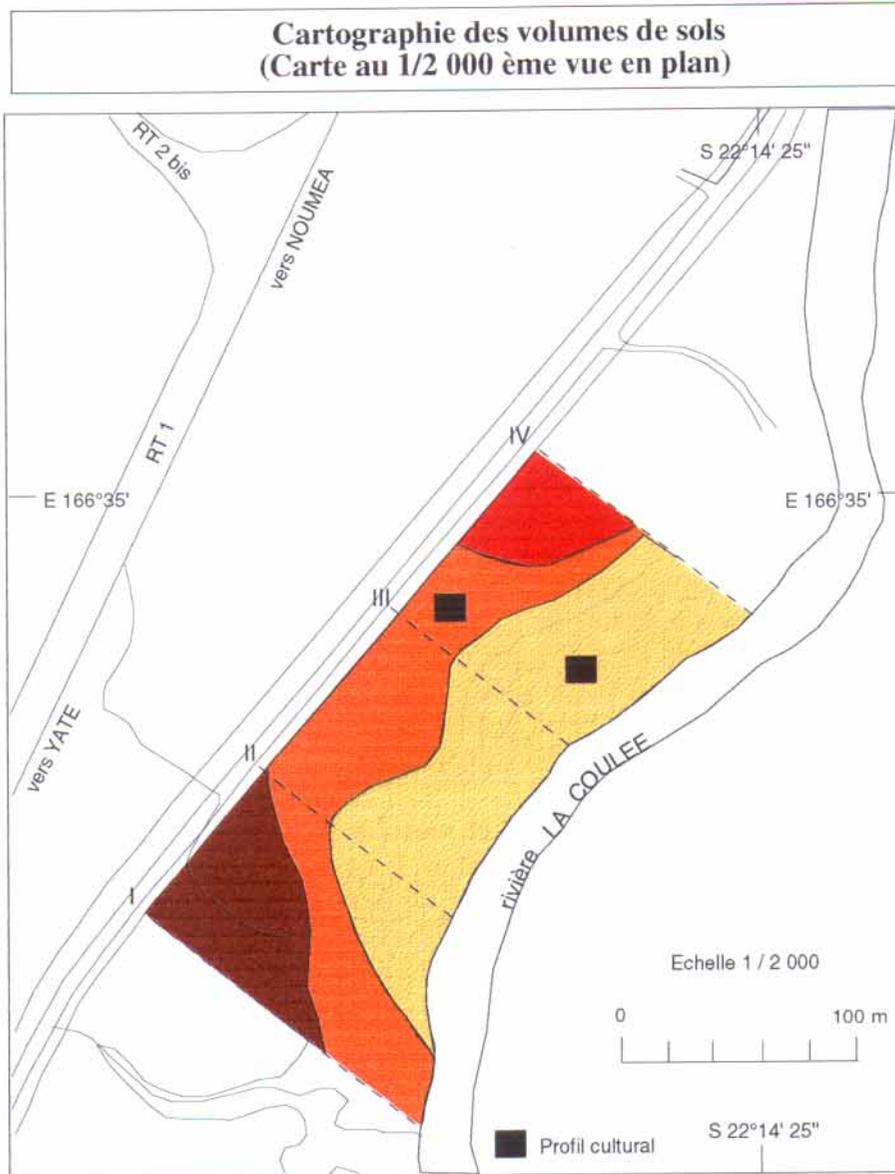
- des contraintes chimiques et physiques de ces derniers.

Au plan technique, il résulte ainsi de ces travaux que :

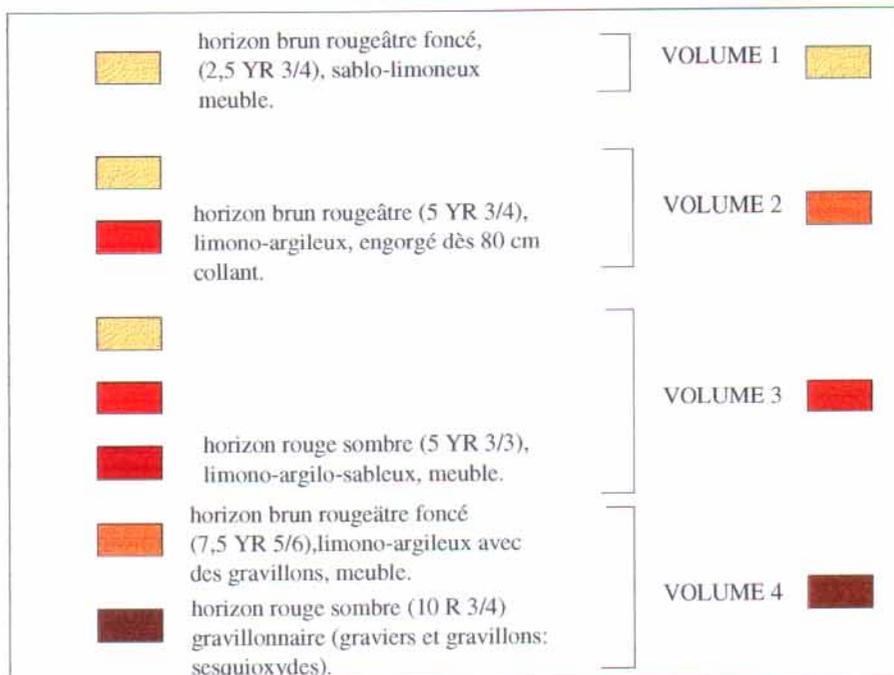
1°/- des esquisses pédologiques au 1/25 000 ème, analogues à celles de l'étude de l'organisation structurale des sols des trois zones témoins de la convention (cf. § 2.1.1), doivent être réalisées préalablement à toute caractérisation agropédologique fine de champs cultivés ou de projets d'exploitation dans de telles conditions de milieux. En effet, c'est à partir de cette échelle qu'il est possible d'identifier les types et les faciès de sols présents sur une exploitation pour préciser ensuite, au 1/2 000 ème, les faciès et les volumes de sols (cf. carte ci-contre) - aux variations décimétriques - des parcelles de cette exploitation. Pour mémoire, le 1/2 000 ème est

¹Ces résultats sont à rapprocher des observations faites sur les teneurs en nickel des grains d'un maïs cultivé sur un vertisol hypermagnésien acide riche en nickel : ces teneurs diminuaient significativement lorsqu'augmentaient les doses de chaux appliquées au champ (4, 8 et 12 t/ha de CaO) pour réduire le déséquilibre calco-magnésien.

ÉTUDE D'UNE PARCELLE AGRICOLE EN PLAINE ALLUVIALE :
UN EXEMPLE DE DIAGNOSTIQUE AGROPÉDOLOGIQUE CHEZ L'AGRICULTEUR



LÉGENDE DES FIGURÉS



l'échelle minimale pour la définition des aménagements et des conditions de mise en valeur d'une parcelle agricole. C'est également l'échelle de référence tant pour la mise en place, l'exploitation et l'observation de l'évolution à long terme d'un réseau de points d'observation des sols sous cultures, que pour la réalisation ultérieure des compléments agropédologiques d'un système d'informations géographiques agricoles ;

2°/- les contraintes chimiques des sols ferrallitiques ferritiques de vallées, de glacis et de piedmonts - type et faciès de sols cultivés et cultivables dominants du Sud - sont difficiles à lever. Néanmoins, de premières solutions ont été trouvées aux problèmes majeurs de la correction de la carence en phosphore et de la correction de la toxicité du nickel, cette dernière n'ayant fait l'objet, jusqu'en 1990, d'aucune étude systématique dans ces conditions de milieux.

Très faibles, les réserves en phosphore total doivent être amenées initialement aux environs de 2‰ (par un apport de l'ordre de 7 t/ha de P_2O_5 à mélanger aux 30 premiers centimètres du sol) pour lever la carence en cet élément due à sa fixation sur les oxydes métalliques du sol. Toutefois, la question de l'évolution dans le temps de cette fixation demeure. Le dispositif expérimental, installé dans ce but pour cinq ans sur la Station Forestière de Ouénarou, permettra d'en mesurer l'importance.

De leur côté, les teneurs élevées en nickel engendrent certainement des toxicités chez de nombreuses espèces maraîchères et fruitières. Il en est de même, très vraisemblablement, pour les autres métaux de transition, manganèse, chrome et cobalt. Des tests hydroponiques rapides de sensibilité intra-spécifique au nickel ont été mis au point sur plantules de maïs. Ces tests sont facilement adaptables à de nombreuses autres plantes et devraient permettre de sélectionner espèces et variétés tolérantes ou résistantes. D'une mise en oeuvre relativement facile, ils devraient également pouvoir être adaptés assez aisément à la caractérisation des sensibilités aux autres métaux de transition. Ils doivent, cependant, être complétés par des tests à mettre au point concernant le comportement sur sol nickelifère (ou manganifère, etc...) de ces mêmes espèces ou variétés. À ce sujet, il serait certainement très utile d'étudier l'influence du statut minéral de la plante sur l'action toxique d'un métal : une plante déficiente en un élément - comme Ca^{2+} - devient-elle, par exemple, plus sensible au nickel ?

S'agissant toujours du nickel, on peut recommander sur les sols de plaine - où Ni est le plus disponible - de ne pas abaisser le pH du sol en dessous de 6, sous risque d'augmenter la mobilité du nickel dans le sol et donc son absorption par les végétaux.

Enfin, les sols ferrallitiques ferritiques sont des sols à charges variables et à très faible CEC : cette dernière dépend du pH du sol ; elle augmente avec celui-ci ainsi qu'avec la teneur en matière organique. Par suite, relever aux environs de 6 le pH des sols ferritiques de glacis et de piedmont et renforcer leur statut organique doit améliorer les coefficients d'utilisation de tous les nutriments facilement lixiviables et diminuer la pollution des nappes phréatiques. Les plaques lysimétriques installées sur le champ expérimental de Ouénarou devraient montrer ainsi l'intérêt, pour une diminution de la lixiviation, d'un amendement organique complétant l'amendement phosphaté. Les sols de vallée devraient cependant faire l'objet d'études de base complémentaires en raison de leur caractère ferritique moins accentué, de leur pH-eau supérieur à 7 et surtout de leur déséquilibre calco-magnésien souvent très fort ;

3°/- les contraintes physiques des sols ferrallitiques ferritiques, sont également très fortes. Il s'agit principalement des facteurs - porosité, compacité, etc... - conditionnant l'extension et le fonctionnement des systèmes racinaires. Bien que relativement drainants à l'origine, ces sols montrent une capacité à se compacter très facilement. Les observations en cours sur les deux faciès de glacis de Ouénarou recevant divers amendements incorporés à l'horizon de labour 0-30 cm devraient permettre d'en mieux comprendre les raisons. Toutefois, la difficulté de modifier les caractéristiques chimiques et physiques des horizons de profondeur (situés en dessous de l'horizon de labour) rend problématique l'obtention d'enracinements profonds indispensables aux cultures arbustives et pérennes. Des études devraient donc être lancées pour trouver au moins une solution technique à ce problème.

Au plan scientifique, ces travaux ont montré principalement :

1°/- la très forte organisation structurale des différents types et faciès de sols ferrallitiques des massifs du Sud. Cette organisation régit actuellement l'essentiel des caractéristiques physiques et chimiques des sols cultivés de cette région, notamment les niveaux des éléments potentiellement toxiques pour les plantes, nickel, chrome, cobalt et manganèse. Cependant, il faut s'attendre à ce que, progressivement, les cultures modifient significativement l'ensemble de ces caractéristiques, comme elles le font déjà pour le phosphore.

Orienter les recherches agropédologiques de base en matière de chimie des sols vers la rétention des éléments minéraux et la mobilité des métaux de transition permettrait donc, à terme, d'expliquer l'évolution sous cultures des sols ferritiques et, dans la mesure où elles la devanceraient, de lui éviter de tendre vers des situations culturelles dommageables pour la production et l'environnement. Pour les mêmes raisons - comprendre l'évolution potentielle des caractéristiques physiques du sol afin de l'orienter dans un sens favorable aux cultures et à l'environnement -, engager des recherches sur les facteurs de la compacité, de la porosité et de la prise en masse du sol, devrait constituer un autre axe fort des recherches agropédologiques ;

2°/- la complexité des mécanismes de la toxicité du nickel. Cet élément intervient à plusieurs niveaux chez le maïs, pris comme plante de référence. La mise en évidence de différences de sensibilité entre variétés de maïs et de différences encore beaucoup plus fortes entre espèces cultivées donne à penser, cependant, que plusieurs mécanismes de la toxicité, de la tolérance ou de la résistance existent. La même complexité des mécanismes de la toxicité doit exister, très vraisemblablement, pour les autres métaux de transition, chrome, cobalt et manganèse que les plantes cultivées absorbent - les enquêtes agropédologiques l'ont bien mis en évidence - en quantités importantes, comme, au demeurant, les espèces endémiques.

Étudier systématiquement ces mécanismes chez les plantes cultivées mériterait donc d'être entrepris méthodiquement et même étendu au cas des espèces endémiques adaptées aux conditions du Sud calédonien. Il devrait en résulter, notamment, des tests mieux adaptés à la sélection des espèces ou des variétés résistantes ou tolérantes au nickel et aux autres métaux de transition du sol.

Au plan opérationnel, enfin, il convient de remarquer la “productivité” de cette grande opération, productivité que l’on peut apprécier autant par les résultats techniques et scientifiques qui viennent d’être rappelés que par les documents déjà produits. Trois raisons majeures au moins l’expliquent :

1°/- l’importance des moyens humains, matériels et financiers réunis. Par exemple, à l’équipe et aux moyens du Laboratoire d’Agropédologie de l’ORSTOM il convient d’associer une partie de ceux du CREA, de ceux des Laboratoires d’Analyse de l’ORSTOM et de l’AICA, ainsi que ceux mis en oeuvre dans le cadre de la collaboration établie avec le Laboratoire de Biotechnologie et de Physiologie Végétale Appliquée de l’Université de Montpellier II pour les travaux sur la toxicité du nickel ;

2°/- le continuum assuré entre recherches appliquées et recherches de base, dû, principalement, à la finalité du thème ;

3°/- le caractère motivant du thème général des recherches et de ses composantes.

CONCLUSION

Les résultats des études conduites sur les facteurs de la fertilité et les conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud confirment, en partie, le bien-fondé des solutions trouvées empiriquement par les quelques maraîchers ayant réussi à exploiter de façon économique et continue les sols de vallées, de glacis et de piedmonts du Sud. Ces résultats dépassent, naturellement, ce simple constat.

En premier lieu, les recherches ont permis de préciser les types et faciès de sols arables du Sud. Plus généralement, elles ont montré le rôle majeur des facteurs géo-morphologiques de la pédogenèse dans la différenciation des faciès et l’intérêt d’esquisses pédologiques au 1/25000 ème. Cette échelle permet, en effet, d’organiser ensuite correctement la caractérisation au 1/2 000 ème des sols de parcelles cultivées, échelle adaptée, notamment, à la conduite d’enquêtes agropédologiques sur les relations sol-plante-techniques culturales, et à la création d’un fichier agropédologique.

En second lieu, s’agissant des sols de glacis et de piedmonts, les plus difficiles à exploiter car souvent exclusivement du type ferritique, elles en ont précisé, pour des cultures maraîchères de cycle court, les conditions initiales de mise en valeur : essentiellement des applications de l’ordre de 7 t/ha de P_2O_5 sous forme de phosphate supertriple à mélanger aux trente premiers centimètres du sol. Des compléments d’informations et des ajustements à ce premier résultat expérimental résulteront des études en cours et des essais pluriannuels installés sur la Station Forestière de Ouénarou, principalement : nécessité d’apports complémentaires d’amendement phosphaté, intérêt d’application d’amendements organique et silicaté, importance de la lixiviation en culture intensive et bilans apparents des nutriments solubles, évolution des caractéristiques physiques et modalités d’amélioration du profil cultural.

En troisième lieu, ces recherches ont montré que les plantes cultivées dans les vallées, sur glacis et sur piedmonts présentaient des teneurs élevées en métaux de transition : nickel, chrome, cobalt et manganèse, atteignant et dépassant parfois les seuils de toxicité signalés dans

la bibliographie. Ceci explique vraisemblablement les rendements relativement faibles observés chez les maraîchers. Pour ce qui est du nickel, les études de fond conduites sur le maïs, pris comme plante-test, ont mis en évidence plusieurs mécanismes de toxicité. Elles ont montré également l'existence de différences importantes de comportement selon les variétés dont certaines semblent plus résistantes, ou tolérantes, que d'autres. Ce faisant, elles ont abouti à la mise au point de tests de sensibilité efficaces, applicables aux autres espèces cultivées et, probablement, transposables aux criblages analogues qui devraient être réalisés sur les sensibilités inter- et intra-spécifiques aux autres métaux de transition. L'étude de la toxicité du nickel, ou de la tolérance, ou encore de la résistance à cet élément, comme aux autres éléments potentiellement toxiques des sols du Sud, devrait cependant être poursuivie en raison des solutions qui devraient, très logiquement, en résulter pour l'adaptation des cultures - espèces ou variétés et techniques culturales -. La question est d'autant plus importante que l'utilisation des composts urbains - riches eux-mêmes en métaux de transitions - doit se généraliser en raison de leur intérêt pour l'amélioration des autres caractéristiques physiques et chimiques des sols sous cultures maraîchères ou fruitières.

D'une façon générale, cette grande opération a contribué, non seulement à l'amélioration des connaissances concernant les facteurs de la fertilité des sols ferrallitiques du Sud, mais aussi à la formation de spécialistes et à l'adaptation des méthodes et des techniques d'études agropédologiques et agrophysiologiques, préparant ainsi les structures locales de recherches à des développements scientifiques et techniques productifs dans ces deux domaines essentiels au progrès de l'agriculture en Province Sud.

DOCUMENTS TRAITANT DES SOLS FERRALLITIQUES DU SUD

1969

1 - TRESCASES J. J., 1969. Premières observations sur l'altération des péridotites de Nouvelle-Calédonie (Pédologie, Géochimie, Géomorphologie). Cahiers ORSTOM (Pédologie), vol. 1, 1, 27-57.

1978

2 - LATHAM M., QUANTIN P. et AUBERT G., 1978. Etudes des sols de la Nouvelle-Calédonie. Carte pédologique et d'aptitudes culturales et forestières des sols à l'échelle du 1/1 000 000 eme. Paris : ORSTOM. Notice explicative, 138p.

1980

3 - JAFFRE T., 1980. Étude écologique du peuplement végétal des sols dérivés de roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Paris : ORSTOM. Trav. et Doc., 124, 273p.

1986

4 - LATHAM M., 1986. Altération et pédogénèse sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Génèse et évolution des accumulations de fer et de silice en relation avec la formation du modelé. Paris : ORSTOM. Etudes et thèses, 331p.

1987

5 - BLAVET D., 1987. Caractères morphologiques et analytiques, et commentaires de quelques profils pédologiques (exemples de profils représentatifs des principaux sols des régions Ouest, Nord et Sud de la Nouvelle-Calédonie). Nouméa : ORSTOM, 103 p.

6 - PODWOJEWSKI P. et BEAUDOU A. G., 1987. Légende et carte morphopédologique de la Nouvelle-Calédonie au 1/200 000 eme. Nouméa : ORSTOM. *Conv. Sci. Terre. Pédologie*, 1.

1988

7 - BOURDON E. et PODWOJEWSKI P., 1988. Morphopédologie des formations superficielles dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie (Rivière des Pirogues, Plaine des Lacs). Nouméa : ORSTOM. *Rapports scientifiques et techniques Sci. Terre. Pédologie*, 2, 44p.

1989

8 - PUJOL G., 1989. Étude sur vase de végétation, sur un maïs, d'amendements phosphaté et calcique sur un sol ferrallitique ferritique du sud néo-calédonien. Mémoire de fin d'étude de l'École Supérieure d'Ingénieurs et de Techniciens pour l'Agriculture. CREA ed., 101p. multig.

1990

9 - BOURDON E., 1990. Observation d'une toposéquence dans le parc naturel de la Rivière Bleue. Nouméa : ORSTOM. 6 p., multig.

10 - BOURDON E., 1990. Variations morphologiques et physico-chimiques d'une parcelle d'expérimentation de la Vallée de la Coulée (Sud de la Nouvelle-Calédonie). Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, 5 : 36p.

1991

11 - EDIGHOFFER S., 1991. Étude de l'influence des teneurs élevées en nickel des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie, sur le comportement des plantes cultivées : premières études expérimentales de reconnaissance des problèmes à l'aide du maïs choisi comme plante-test. Mémoire de fin d'études. Nouméa : ISARA-ORSTOM. : 105p.

12 - GOURDON F., PUJOL G., BOUCARON C. BONZON B., L'HUILLIER L. et COLLET L., 1991. Mise en valeur des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Grande Terre. Carences en phosphore et en silice : résultats des deux premières études expérimentales en serre. Nouméa : ORSTOM. *Conv.: Sci. Vie : Agropédol.*, 9 : 53p.

13 - L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER S., 1991. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Etude de la toxicité du nickel sur les plantes cultivées : synthèse des connaissances actuelles. Nouméa : ORSTOM. *Conv.: Sci. Vie : Agropédol.*, 11 : 16p.

1992 - Séminaire "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud"

14 - BECQUER T. et BOURDON E. - Etude de l'organisation des sols dans le paysage et constitution d'un référentiel des sols. Application à la cartographie et à l'évaluation des sols du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

15 - BOURDON E. et BECQUER T. - Etude de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du sud de la Grande Terre (poster). Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

16 - BOURDON E., EDIGHOFFER S. et BECQUER T. - Etude d'un modelé de piedmont des massifs du Sud de la Nouvelle Calédonie : démarche à suivre pour la cartographie d'une parcelle agricole (poster). Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995)

17 - EDIGHOFFER S. - Enquête sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur les différents faciès des sols ferrallitiques des massifs du Sud. Définition de la démarche méthodologique au niveau de la parcelle agricole. Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

18 - EDIGHOFFER S. et BOURDON E. - Etude d'une parcelle agricole en plaine alluviale : exemple d'un diagnostic agropédologique chez l'agriculteur (poster). Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

19 - JAFFRE T. et RIGAULT F. - Réhabilitation des zones dégradées sur roches ultramafiques : les contraintes phyto-édaphiques. Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

20 - JAFFRE T. et RIGAULT F. - Végétalisation des anciens sites miniers de Nouvelle-Calédonie à l'aide d'espèces de la flore locale (poster). Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

21 - L'HUILLIER L. - Expérimentation en serre sur vase de végétation : influence du Nickel sur la croissance et la nutrition du maïs (poster). Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

22 - L'HUILLIER L. - Étude des effets toxiques de sulfate de nickel sur la croissance du maïs. Application à l'étude des sols ferrallitiques ferritiques. Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

23 - L'HUILLIER L. - Mise en évidence de seuils de toxicités métalliques à l'aide d'un test biologique (poster). Communication présentée à l'atelier "Sols et fertilité des petites îles du Pacifique Sud", Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 16-21 novembre 1992.(à paraître en 1995).

1992 - Autres publications

24 - BOURDON E. et BECQUER T., 1992 - Etude préliminaire de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du sud de la Grande Terre : zone de La Coulée et de la Lembi. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **12** ; 19p., multigr.

25 - BOURDON E. et BECQUER T., 1992 - Etude de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du sud de la Grande Terre : zone de La Coulée et de la Lembi. Caractérisation physico-chimique des sols. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **16** ; 88p., multigr.

26 - L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER S., 1992 - Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Etude des effets de doses croissantes de sulfate de nickel sur la croissance, le développement et la nutrition du maïs. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **13**, 84 p.multigr.

27 - GOURDON F., BOUCARON C. et BONZON B., 1992. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Interaction phosphore-silice et influence de la matière organique : résultats de la troisième et de la quatrième études en serre. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **14**, 60 p.multigr.

28 - L'HUILLIER L., 1992 - Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Effet d'une fumure organique sur la croissance et la nutrition minérale du maïs cultivé sur un sol ferrallitique riche en métaux lourds (Ni, Mn, Cr, Co). Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **15**, 112 p., multigr.

1993

29 - BOURDON E., BECQUER T. et TORTELIER M.- C., 1993. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Étude de l'organisation des sols : bassin amont de la rivière des Pirogues. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **19**, 72 p., 3 cartes, 6 tableaux et diagrammes, multigr.

30 - CAPART I et BONZON B., 1993 - Mise en valeur des sols des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Effets de doses croissantes d'amendement phosphaté sur laitue et haricot (Etude en serre n° 6). Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **21** ; 58p., multigr.

31 - CAPART I, BOUCARON C., GOURDON F. et BONZON B., 1993 - Mise en valeur des sols des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Effets de doses et de formes différentes d'amendements organiques sur maïs (Etude en serre n° 5). Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **20** ; 26p., multigr.

32 - EDIGHOFFER S. et 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 agropédologiques grâce à une première enquête réalisée chez M. COCHARD. . Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **22**, 83 p., 3 fig, 17 tableaux, 2 cartes et diagrammes, 2 photos, multigr.

33 - EDIGHOFFER S., 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. 2 - Observations réalisées chez M. COCHARD. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **23**, 115 p., 23 fig, 24 tableaux, 2 cartes et diagrammes, 4 photos, multigr.

34 - L'HUILLIER L., 1993. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Développement complet du maïs intoxiqué par le nickel. Etudes complémentaires des effets du nickel sur la nutrition et la croissance du maïs. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **18**, 60 p., multigr.

1994

35 - BECQUER T., 1994 - Etude de la fertilité des sols oxydiques de Nouvelle-Calédonie : Projets de recherches sur le cycle biogéochimique des éléments minéraux. Communication à la Réunion des Pédologues de l'ORSTOM, Bondy, 6 septembre 1994.

36 - BOURDON E., BECQUER T. et EDIGHOFFER S., 1994 - Evaluation de la compacité des sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie - relation avec l'enracinement. Communication à la Réunion du Groupe Structure et Fertilité, Montpellier, 12-13 septembre 1994.

37 - BOURDON E., BECQUER T., EDIGHOFFER S. et BONZON B., 1994 - Evaluation de la compacité des sols ferrallitiques ferritiques (ferrallisol) de Nouvelle-Calédonie (relation avec l'enracinement). Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, 26 ; 35p., multigr.

38 - EDIGHOFFER S. et BOURDON E., 1994 - Mise en valeur des sols 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. 3- Observations réalisées chez M. Le Van Hao. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, 27 ; 87p., multigr.

39 - L'HUILLIER L., 1994 - Biodisponibilité du nickel dans les sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie. Effets toxiques de Ni sur le développement et la physiologie du maïs. Thèse de l'Université de Montpellier II, 20 décembre 1994, 249pp.

40 - L'HUILLIER L., J. D'AUZAC, M. DURAND et N. MICHAUD-FERRIERE, 1994 - Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Effets toxiques du nickel sur la structure et la physiologie de deux variétés de maïs. Approche d'un mécanisme de phytotoxicité du nickel. Nouméa : ORSTOM. *Conv. ; Sci. Vie ; Agropédol.*, 25 : 20 p.

1995

41 - BECQUER T., BOURDON E. et PÉTARD J., 1995 - Disponibilité du nickel le long d'une topo-séquence de sols développés sur roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t. 321, série IIa, p. 585-592.

42 - BECQUER T., BOURDON E. et L'HUILLIER L., 1995 - Disponibilité du nickel dans les sols développés sur roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie. Troisième Conférence Internationale sur la Biogéochimie des Éléments Traces, Paris 15-19 mai 1995.

43 - BECQUER T., BOURDON E. et L'HUILLIER L., 1995 - Mobilité du nickel sur une toposéquence de sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Deuxième Conférence Internationale sur l'Écologie des Milieux Serpentiniques, Nouméa, 31 juillet-5 août 1995.

44 - BONZON B., EDIGHOFFER S., L'HUILLIER L., BECQUER T. et BOURDON E., 1995 - Carences et déséquilibres minéraux des sols oxydiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie : problématique de leur correction. Deuxième Conférence Internationale sur l'Écologie des Milieux Serpentiniques, Nouméa, 31 juillet-5 août 1995.

45 - DENIS B., 1995 - Facteurs de la fertilité et conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre. Activité biologique totale des sols oxydiques. Premier cycle de culture. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, 30, 26 p.

46 - EDIGHOFFER S., 1995 - Statuts des nutriments et des métaux lourds des cultures maraîchères et fruitières développées sur les sols oxydiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Deuxième Conférence Internationale sur l'Écologie des Milieux Serpentiniques, Nouméa, 31 juillet-5 août 1995.

- 47 - EDIGHOFFER S., 1995 - Mise en valeur des sols ferrallitiques du Sud de la Nouvelle-calédonie. Enquête sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur différents faciès ferritiques. 4 - Observations réalisées chez Monsieur POMINA. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, 32, 79 p.
- 48 - EDIGHOFFER S., 1995 - Mise en valeur des sols ferrallitiques du Sud de la Nouvelle-calédonie. Enquête sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur différents faciès ferritiques. 5 - Observations réalisées chez Monsieur BLANCHARD. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, 33, 77 p.
- 49 - L'HUILLIER L., D'AUZAC J., DURAND M. et MICHAUD-FERRIERE N., 1995 - Nickel effects on two maize cultivars : growth, structure and localization. (soumis à publication à Canadian Journal of Botany).
- 50 - L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER S., 1995 - Phytotoxicité du nickel dans les sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie (article soumis à publication à *Plant and Soil*).
- 51 - L'HUILLIER L., 1995 - Mécanismes d'actions toxiques du nickel chez le maïs. Deuxième Conférence Internationale sur l'Écologie des Milieux Serpentiniques, Nouméa, 31 juillet-5 août 1995
- 52 - GUÉROULT M., 1995 - Mémoire de fin d'études à l'Institut Supérieur Technique d'Outre-Mer : études expérimentales en serre de l'action d'amendement phosphaté et organique sur un faciès de piedmont des sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Grande Terre (Nouvelle-Calédonie). 90 p.
- 53 - BONZON B., EDIGHOFFER S., BOURDON E., BECQUER T., L'HUILLIER L. et LAUBREAUX P., 1995 - Evolution en plein champ des arrières-effets de doses croissantes de phosphore. Noumea : ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie; Agropedol.* (à paraître).