

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 37

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.

Sylvie DUPONT
Bernard BONZON

Convention Province Sud / ORSTOM
N°53-PVF / DDR notifiée le 14 Janvier 1991.
Avenant 5 du 29/12/1995.

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 37

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.

Sylvie DUPONT
Bernard BONZON

Convention Province Sud / ORSTOM N°53-PVF / DDR notifiée le 14 janvier 1991.
Avenant 5 du 29/12/1995.



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

CENTRE DE NOUMÉA

© ORSTOM, Nouméa, 1997

/Dupont, S.
/Bonzon, B.

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. Janvier 1997. 45 p.
Conv. : Sci. Vie; Agropédol. ; 37

SOL FERRALLITIQUE ; FERRITIQUE ; ENQUETE AGROPEDOLOGIQUE ; METAUX LOURDS
PLANTE CULTIVEE / NOUVELLE CALEDONIE

Imprimé par le Centre ORSTOM
Février 1997



Avertissement

Ce rapport est une synthèse des résultats obtenus après cinq années d'enquêtes sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur les différents faciès des sols ferrallitiques du Sud.

Ces recherches ont été conduites au titre de la première opération - relative à l'organisation structurale des sols ferrallitiques du Sud - de l'avenant 5 à la Convention Province Sud-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.**

Ont contribué à sa réalisation :

- Bernard Bonzon, responsable du laboratoire d'Agropédologie de l'ORSTOM

Par ailleurs, la publication de ce rapport a fait appel aux services de J-P. Mermoud et N. Galaud pour l'édition de l'ensemble.

Résumé

Ce rapport présente le bilan de cinq années d'enquêtes agropédologiques réalisées chez quatre maraîchers des vallées de La Coulée et de La Lembi situées dans le massif péridotitique du Sud de la Grande Terre. Ces enquêtes ont comme objectif l'établissement d'un référentiel, tant pédologique qu'agronomique, sur les teneurs en nutriments et en métaux lourds du sol et des végétaux cultivés sur les principaux faciès de sols ferrallitiques des vallées en question. L'utilisation de l'espace agricole s'est faite en premier lieu en plaine alluviale et progressivement, par manque de surfaces agricoles disponibles, s'est étendue vers les pentes en zone de glacis. Des variations apparaissent dans la composition en métaux lourds de cinq faciès de sols (le piedmont, la plaine, le glacis, la plaine à hydromorphie temporaire et le glacis à hydromorphie temporaire), qui se traduisent par des différences d'assimilation de ces éléments par les plantes cultivées. En effet, le développement de cultures maraîchères, dans cette zone, se heurte à des problèmes de toxicité nickelifère mais aussi manganique.

Mots-clés : sols ferrallitiques, nutriments, métaux lourds, enquête agropédologique, teneurs toxiques, tiges et feuilles.

Sommaire

	Page
I- Introduction	7
II - Matériel et méthodes	8
III - Résultats	9
III.1 - Teneurs en éléments minéraux des sols cultivés	9
<i>III.1.1 - Répartitions des éléments minéraux par faciès de sols</i>	9
<i>III.1.2 -Analyse en composante principale des sols: représentations graphiques</i>	11
III.2 - Assimilation des éléments minéraux par les plantes cultivées	14
<i>III.2.1 - Assimilation par éléments</i>	14
<i>III.2.2 - Analyse en composante principale des végétaux : représentations graphiques</i>	18
III.3 - Relations entre les sols et les végétaux. Analyse de Co-inertie	22
IV - Discussion	26
V - Conclusion	27
Littérature citée.....	29
Annexe 1 : questionnaire agriculteur.....	31
Annexe 2 : analyses recommandées.....	41
Annexe 3 : description de profils culturaux.....	47
Annexe 4 : Co-Inertie : modèle mathématique.....	51

I- Introduction

Ces enquêtes Agropédologique se situe dans le cadre de la convention de recherche passée entre la Province Sud et l'O.R.S.T.O.M 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.**

Sur les différents faciès des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Grande Terre, les responsables du Développement Rural observent que les cultures qui y sont réalisées soulèvent de nombreux problèmes. En particulier, les rendements sont faibles (Tableau 1, ci-après) et l'allure générale des plants est souvent anormale. Les problèmes induits sur la faible fertilité de ces sols avaient déjà été soulevés par Latham et *al.* (1978). Pour tenter de mieux comprendre ces problèmes, il fut donc décidé, dans le cadre de la convention de recherche entre la Province Sud et l'O.R.S.T.O.M, de réaliser une enquête agropédologique chez les agriculteurs de la région en question.

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

Cultures en plein champ	Rendements réalisés dans le Sud du Territoire chez les 4 agriculteurs interrogés	Rendements théoriques (Mémento fertilisation les cultures légumières CTIFL 1982)
Ananas	25 t/ha	50 à 65 t/ha
Banane	15 à 30 t/ha	45 à 60 t/ha
Carotte	5 à 30 t/ha	35 à 60 t/ha
Concombre	20 t/ha	50 à 60 t/ha
Tomate	13 à 50 t/ha	60 à 70 t/ha

Objectif de l'enquête

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

II - Matériel et méthodes

Les enquêtes ont été réalisées chez quatre exploitants agricoles des vallées de La Coulée et de la Lembi. Elles se sont organisées, au niveau de chaque exploitation, en cinq étapes : (Edighoffer S. et Bourdon E., 1993, méthodologie de l'enquête) :

1 - Une caractérisation du milieu

- une collecte de données météorologiques (pluviométrie et températures) dans la zone étudiée ;
- une cartographie fine des parcelles agricoles (échelle au 1/2.000 ème) avec des observations de profils culturaux dans le but d'identifier les principales contraintes sur le système racinaire dans chaque type de faciès de sols ;
- des mesures d'infiltration et de porosité pour caractériser les propriétés physiques des différents types de sols ;

2 - Inventaire des techniques pratiquées

Des données concernant l'exploitation agricole sont recueillies grâce à un questionnaire enquête soumis aux agriculteurs. Cette collecte de données nous renseigne sur l'organisation et les itinéraires techniques propres à chaque exploitation (cf. Annexe 1 : Questionnaire Agriculteur).

3 - Sélection de parcelles représentatives de chaque faciès de sol

Pour une exploitation donnée, un ensemble de parcelles est sélectionné sur chaque type de faciès de sols présents sur l'exploitation. Cette reconnaissance des différents faciès pédologiques de l'exploitation s'appuie sur la carte morpho-pédologique au 1/25.000 ème des vallées de La Coulée et de la Lembi (Bourdon E. et Becquer T., 1992b), ainsi que sur un travail de terrain de repérage des volumes de sols et de description de profils culturaux sur les parcelles sélectionnées (cf. Annexe 2 : descriptions de profils culturaux).

Ces parcelles sélectionnées sont représentatives des itinéraires techniques pratiqués sur l'exploitation et des caractéristiques pédo-climatiques. Au total 7 parcelles, chez les quatre agriculteurs interrogés, ont été retenues pour cette enquête.

En même temps que ces analyses précises de parcelles, des échantillons de sols et de végétaux (à des stades définis), sont effectués sur toutes les autres parcelles de l'exploitation dans le but de statuer sur les teneurs en nutriments et en métaux lourds de végétaux cultivés (cf. Annexe 3 : analyses de sols et de végétaux).

4 - Une collecte de données sur les parcelles sélectionnées

Ces données concernent :

- le potentiel de production des plantes cultivées par une estimation des rendements des parcelles étudiées ;
- l'état de l'appareil souterrain par la réalisation de profils culturaux sur les parcelles en pleine production et la réalisation de nombreuses mesures : comptage de racines, état du système racinaire, mesure de la compacité du sol ;

- la nutrition minérale, par des prélèvements de sols et de végétaux qui sont effectués pour déterminer le contenu minéral du sol et de la plante. Les symptômes anormaux de développement sont observés dans certains cas (carences ou toxicités) ;
- l'aspect général de la parcelle est également pris en compte : symptômes d'engorgement, état de la surface du sol, enherbement...

5 - Analyses de données

Les données sont classées par types de faciès de sols ou par type de plante cultivées, elles subissent un traitement informatique par des méthodes statistiques de dépouillement d'enquêtes (ACP, régression multiple...).

III - Résultats

III.1 - Teneurs en éléments minéraux des sols cultivés

III.1.1 - Répartitions des éléments minéraux par faciès de sols

L'utilisation de l'espace agricole s'est faite en premier lieu en plaine alluviale et progressivement, par manque de surfaces agricoles disponibles, s'est étendue vers les pentes en zone de glaciais. La zone de piedmont, en raison des fortes pentes (supérieures à 20 %) n'est pas mise en valeur par les maraîchers : un seul échantillon de sol, cultivé sous caféier a pu être prélevé dans cette zone.

Les enquêtes réalisées chez les quatre agriculteurs de la région de La Coulée et la Lembé ont permis d'analyser 53 échantillons de sols de 0 à 20 cm de profondeur (Tableau 2, ci-après). Ces échantillons de sols correspondent approximativement à l'horizon cultivé (Ap). Des observations morphologiques de profils culturaux ont permis de distinguer dans chacune des deux zones, plaine et glaciais, un faciès présentant une hydromorphie temporaire et un faciès non hydromorphe. Les sols analysés se répartissent donc en cinq types de faciès de sol : un sol de piedmont, des sols de glaciais (22 échantillons de sols), des sols de glaciais à hydromorphie temporaire (4 échantillons de sols), des sols de plaine à hydromorphie temporaire (4 échantillons de sols) et des sols de plaine (22 échantillons de sols). Les teneurs en éléments totaux ont été dosés, ainsi que les teneurs en nickel extrait au DTPA (Lindsay et Norvell, 1978). A chaque prélèvement de sols est associé une plante cultivée, qui a également été prélevée et analysée en éléments minéraux et en métaux lourds.

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

Les valeurs sont les moyennes \pm leurs écarts-types, avec, entre parenthèses, le nombre d'observations.

Éléments	PIEDMONT	GLACIS	GLACIS à hydromorphie temporaire	PLAINE à hydromorphie temporaire	PLAINE
SiO ₂ (%)	1,31 (1)	1,71 \pm 0,6 (22)	12,5 \pm 6,5 (4)	12,2 \pm 0,8 (4)	7,4 \pm 4 (22)
Fe ₂ O ₃ (%)	70,93 (1)	67,6 \pm 5 (22)	49,6 \pm 13 (4)	47,9 \pm 4 (4)	57,1 \pm 11 (22)
Cr ₂ O ₃ (%)	2,88 (1)	2,5 \pm 0,3 (22)	2,2 \pm 0,3 (4)	2,5 \pm 0,8 (4)	2,6 \pm 0,7 (22)
Al ₂ O ₃ (%)	9,3 (1)	10,1 \pm 3 (22)	4,8 \pm 0,9 (4)	6,4 \pm 1,4 (4)	8,4 \pm 1 (22)
K ₂ O (%)	0 (1)	0,036 \pm 0,06 (22)	0,092 \pm 0,09 (4)	0,03 \pm 0,01 (4)	0,027 \pm 0,01 (22)
CaO (%)	0,04 (1)	0,3 \pm 0,2 (22)	0,49 \pm 0,2 (4)	0,13 \pm 0,03 (4)	0,33 \pm 0,4 (22)
MgO (%)	0,25 (1)	0,29 \pm 0,1 (22)	4,25 \pm 3 (4)	3,8 \pm 0,8 (4)	2,01 \pm 1,4 (22)
P ₂ O ₅ T (mg/g)		4,14 \pm 2 (11)	-	-	2,46 \pm 1,5 (14)
P ₂ O ₅ en t/Ha		12	-	-	7,4
P ₂ O ₅ As (ppm)	104 (1)	703 \pm 554 (22)	1874 \pm 912 (4)	123 \pm 140 (4)	303 \pm 285 (22)
MnO ₂ (%)	0,65 (1)	0,99 \pm 0,4 (22)	0,68 \pm 0,16 (4)	0,7 \pm 0,08 (4)	0,9 \pm 0,2 (22)
MnO ₂ Ech (ppm)	50 (1)	31,3 \pm 19 (22)	32,5 \pm 33 (4)	37,5 \pm 22 (4)	21,9 \pm 21 (22)
MnO ₂ FR (ppm)	570 (1)	937 \pm 778 (22)	865 \pm 148 (4)	1582 \pm 369 (4)	1312 \pm 399 (22)
NiO (%)	0,66 (1)	0,6 \pm 0,17 (22)	1,16 \pm 0,02 (4)	1,14 \pm 0,19 (4)	1,08 \pm 0,2 (22)
Ni DTPA (ppm)	4,5 (1)	9,9 \pm 10 (22)	252 \pm 181 (4)	145 \pm 68 (4)	48,8 \pm 32 (22)

Globalement, les sols de glacis à hydromorphie temporaire sont plus riches en silice (12,5 % de SiO₂), mais les sols de plaine hydromorphe et de plaine ont aussi des teneurs en silice très importantes (7,4 % de SiO₂ en plaine et 12,2 % en plaine hydromorphe). Les teneurs en fer varient autour de 70 % en piedmont et en glacis, alors qu'en plaine et en zones hydromorphes elles sont plus proches des 50 %. Les teneurs en chrome sont élevées 2,5 % et varient peu selon le faciès de sols. Les teneurs en aluminium sont élevées en glacis (10%), en piedmont (9 %) et en plaine (8,4 %) avec des teneurs nettement plus faibles en zones hydromorphes (5 %). Les teneurs en potassium total sont légèrement plus élevées en glacis hydromorphe (0,09 %) pour des teneurs équivalentes sur les autres faciès de sols (0,03 %).

Les teneurs en calcium total sont très élevées pour les sols de glacis hydromorphe (0,5 %) et très faibles pour la plaine hydromorphe (0,13 %). Les teneurs en magnésium sont bien plus élevées en glacis hydromorphe (4,25 %) et en plaine hydromorphe (3,8 %), avec cependant des teneurs assez élevées en plaine (2 %).

On constate également que ces sols cultivés sont déjà très riches en phosphore total : (les calculs ont été faits en prenant une densité de sol de 1 sur 30 cm de profondeur) 12 t/ha de P₂O₅ en glacis et 7,4 t/ha de P₂O₅ en plaine. La teneur en phosphore assimilable est également plus élevée en glacis (703 ppm) et en glacis hydromorphe (1874 ppm).

Les teneurs en manganèse total sont comparables en plaine comme en glacis (0,9 %), par contre, pour les zones hydromorphes ces valeurs sont bien plus faibles (0,7 %). Par ailleurs, la teneur en manganèse échangeable dans ces zones reste stable avec cependant des moyennes très variables en manganèse facilement réductible.

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

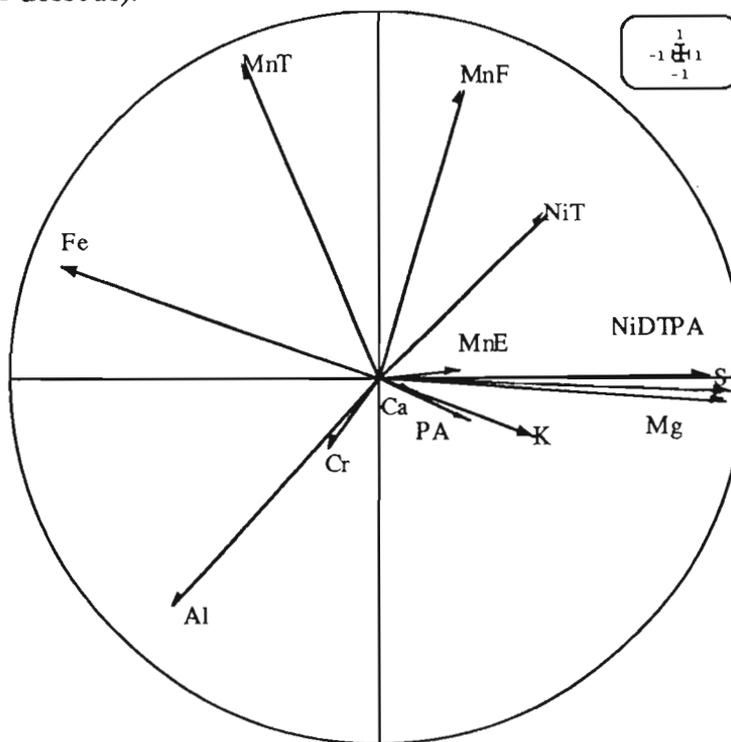
III.1.2 - Analyse en composante principale des sols (ACP) : représentations graphiques

L'analyse en composante principale (ACP) a été appliquée aux 53 sols récoltés, en prenant 13 variables d'analyses : les mesures Ni DTPA, NiT, Cr, Al, Ca, Mg, K, MnT, MnEch, MnFR, Si, Fe et Pas. L'ACP centrée réduite effectuée sur ces 13 variables permet d'obtenir les pourcentages de variation expliqués par les axes principaux :

axe 1 : 33,78 % axe 2 : 15,98 % axe 3 : 14,32 % axe 4 : 11,61 % axe 5 : 8,1 %
axe 6 : 5,78 % axe 7 : 3,66 % axe 8 : 3,04 % axe 9 : 1,76 % axe 10 : 0,8%...

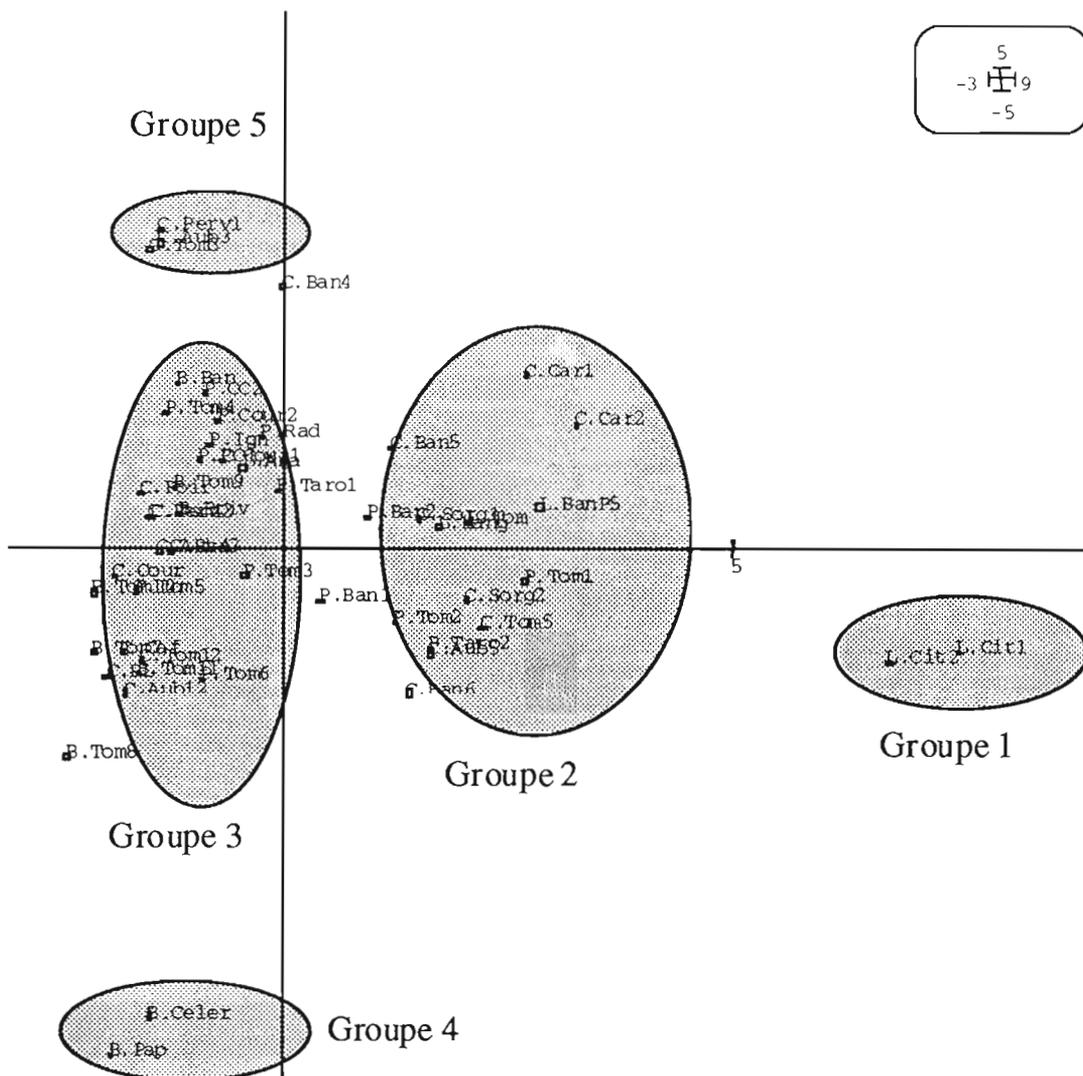
Les représentations graphiques ci-après concernent les axes 1 et 2, ce qui représente une part d'information expliquée de 49,8% (33,78 + 15,98 = 49,76 %). On observe :

1/ sur le cercle de corrélation des 53 sols et des 13 variables actives selon les axes 1 et 2 (cf. figure ci-dessous).



L'axe 1 (axe horizontal) sépare d'un côté les teneurs élevées en nickel extrait au DTPA, en silice et en magnésium, des teneurs faibles en fer. L'axe 2 (axe vertical), oppose les teneurs élevées en manganèse total ou en manganèse facilement réductible d'un côté, aux teneurs élevées en aluminium de l'autre. Pour les autres éléments, ils sont peu représentés par les axes 1 et 2.

2/ sur la représentation du nuage de points des 53 sols selon les axes 1 et 2



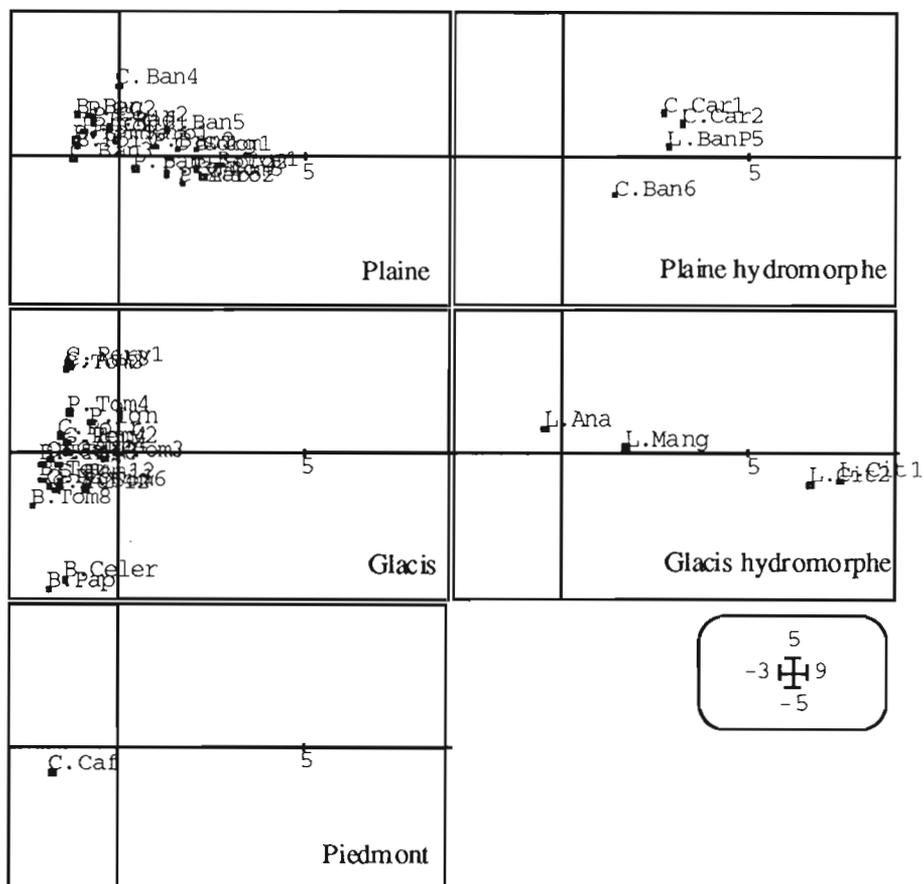
Ce nuage de points se différencie nettement selon les axes 1 et 2.

Par rapport à l'axe 1, on distingue ainsi :

- un premier groupe (groupe 1) de deux variables à l'extrémité de cet axe : L.cit1 et L.cit2. Ces deux variables ont des teneurs élevées en nickel extrait au DTPA ;
- un deuxième groupe (groupe 2) d'une dizaine de variables : C.car1, C.car2, C.ban5, L.banP5, P.ban2, C.sorg.1, L.mang., L.tom, P.tom1, C.sorg.2, P.tom2, C.tom5, P.taro2, C.aub5, C.ban6, sur la partie droite de l'axe 1. Ces variables correspondent aux sols situés en zone de plaine et en zones hydromorphes, c'est à dire avec des teneurs en fer autour de 50 % ;
- un troisième groupe (groupe 3) de sols situés sur la partie gauche de l'axe 1, correspondant à ceux prélevés en zone de glacis et en zone de piedmont et avec des teneurs en fer plus élevées, autour de 70%.

L'axe 2 sépare deux groupes de variables : vers le bas de l'axe 2, le groupe 4 constitué de deux sols : B.celer et B.pap. Ces deux sols ont des teneurs en manganèse total très faibles. Par contre, un groupe de trois points, groupe 5, situés à l'opposé du groupe précédent : C.perv1, C.aub3 et C.tom3, ont des teneurs en manganèse total qui sont parmi les plus élevées de tous les sols prélevés.

3/ sur la représentation du nuage de points par type de faciès de sols selon les axes 1 et 2



cinq nuages de points où se retrouvent les sols :

- de plaine. Le nuage de points est constitué de 22 sols. Il est assez homogène et se localise dans une zone où les teneurs en nickel extrait au DTPA sont importantes, ainsi que les teneurs en silice et en magnésium. De la même manière, les teneurs en fer ne sont pas trop élevées, car le nuage de points se situe sur la partie droite de l'axe 1, zone où les teneurs en fer sont plus faibles ;
- de plaine hydromorphe. Le nuage de points est constitué de 4 sols. Ces quatre points sont relativement bien groupés excepté C.ban6 qui se distingue des trois autres par des teneurs plus élevées en aluminium (cf. Cercle de corrélation des sols ci-dessus) ;
- de glacis. Le nuage de points regroupe les 22 sols se différenciant selon l'axe 2, axe représentatif des teneurs en manganèse total. Ces teneurs sont élevées pour les 3 points situés au dessus du nuage de points et bien plus faibles pour les 2 points situés en dessous ;
- de glacis hydromorphe. Le nuage rassemble seulement 4 sols. Ces points sont relativement étalés sur l'axe 1, en raison de leurs teneurs en nickel extrait au DTPA et de leurs teneurs en silice très importantes pour les sols sous citronniers ;
- de piedmont. Le nuage constitué d'un seul point correspondant au sol sous caféier qui se positionne selon les deux axes choisis.

III.2 - Assimilation des éléments minéraux par les plantes cultivées

III.2.1 - Assimilation par éléments

Pour comprendre l'assimilation des éléments minéraux par les plantes cultivées, dans les différents faciès de sols, des comparaisons de teneurs en éléments minéraux dans les tiges et feuilles ont été effectuées pour des espèces cultivées au moins sur deux de ces cinq faciès de sol. En raison du faible nombre d'observations végétales en commun, les regroupements suivants ont été effectués (cf. histogrammes ci-après) :

- cultures maraîchères (tomate, aubergine et courgette) cultivées en plaine (P) et en glacis non hydromorphes (G) ;
- agrumes (clémentine, citron et orange) cultivés en glacis non hydromorphe (G) et en glacis à hydromorphie temporaire (GH) ;
- carottes cultivées en plaine non hydromorphe (P) et en plaine à hydromorphie temporaire (PH).

Les moyennes par types de cultures, ont été comparées à des valeurs normales (norme) et à des seuils de toxicité (toxicité), quand ils existent.

1 - Assimilation de la silice (Fig 1 ci-contre).

La tomate absorbe, en moyenne, plus de silice en glacis qu'en plaine, alors que pour l'aubergine l'absorption est équivalente en plaine et en glacis. Par contre, la courgette assimile plus de silice en plaine qu'en glacis. Le citronnier, cultivé sur glacis hydromorphe, a des teneurs en silice 10 fois supérieure à celles qu'il a sur un glacis non hydromorphe. La carotte a des teneurs en silice dans ses feuilles plus importantes en plaine hydromorphe qu'en plaine non hydromorphe. Globalement, la silice est mieux absorbée par les végétaux (sauf la tomate) en plaine mais aussi en zone hydromorphe de plaine ou de glacis que sur glacis. Ces assimilations plus importantes dépendent en fait, des teneurs en silice des sols où ces plantes sont cultivées. La plaine et les zones hydromorphes (de plaine et de glacis) ont des teneurs en silice bien plus importantes (environ 10 %) que le glacis non hydromorphe (environ 2 %). L'assimilation de la silice par les plantes dépend donc, du type de sol.

2 - Assimilation du fer (Fig 2 ci-contre).

La tomate et l'aubergine absorbent autant de fer en plaine qu'en glacis, alors que la courgette a des teneurs en fer bien plus importantes en plaine. Le citronnier cultivé en glacis hydromorphe a, dans ses feuilles, des teneurs en fer supérieure à celles qu'il présente lorsqu'il est cultivé en zone de glacis non hydromorphe, mais ces valeurs restent proches des valeurs normales. La carotte cultivée en plaine a au contraire, dans ses feuilles, des teneurs en fer supérieures à celles de carottes cultivées en plaine hydromorphe. Globalement, si le fer est un élément autant absorbé en plaine qu'en glacis, les agrumes assimileraient mieux le fer en glacis hydromorphe et les carottes en plaine non hydromorphe. Cependant, ces affirmations sont à nuancer, car elles reposent sur un très faible nombre de répétitions. Ces sols contiennent de grande quantité de fer (Tableau 2), et les risques de pollution des parties aériennes sont importants, malgré un lavage très soigné des végétaux à l'eau permutée.

Fig 1 : Comparaisons de teneurs moyennes en silice de plantes cultivées

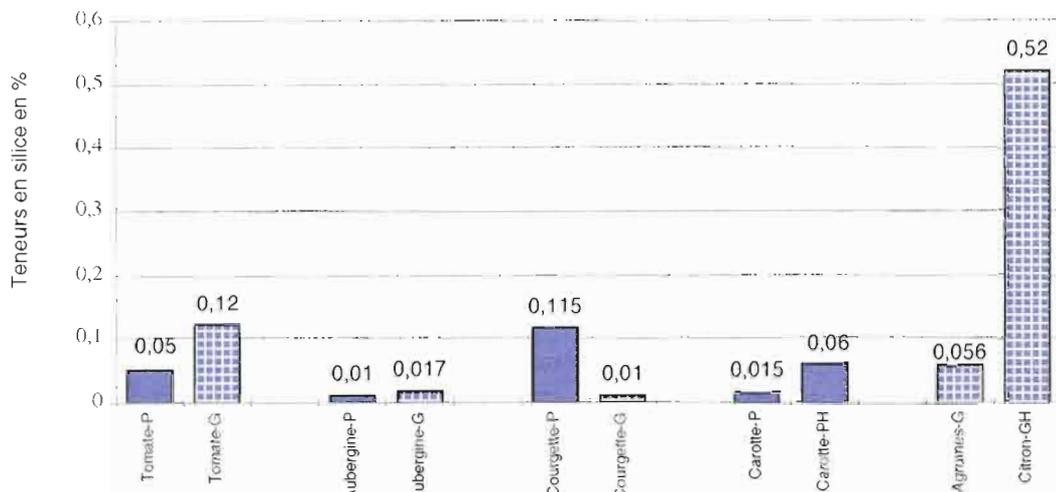


Fig 2 : Comparaisons de teneurs moyennes en fer de plantes cultivées

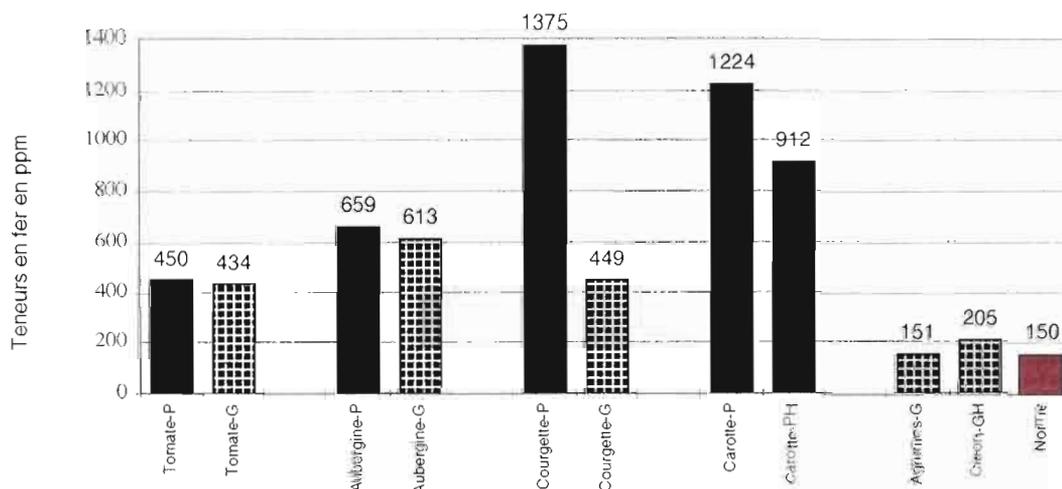


Fig 3 : Comparaisons de teneurs moyennes en calcium de plantes cultivées

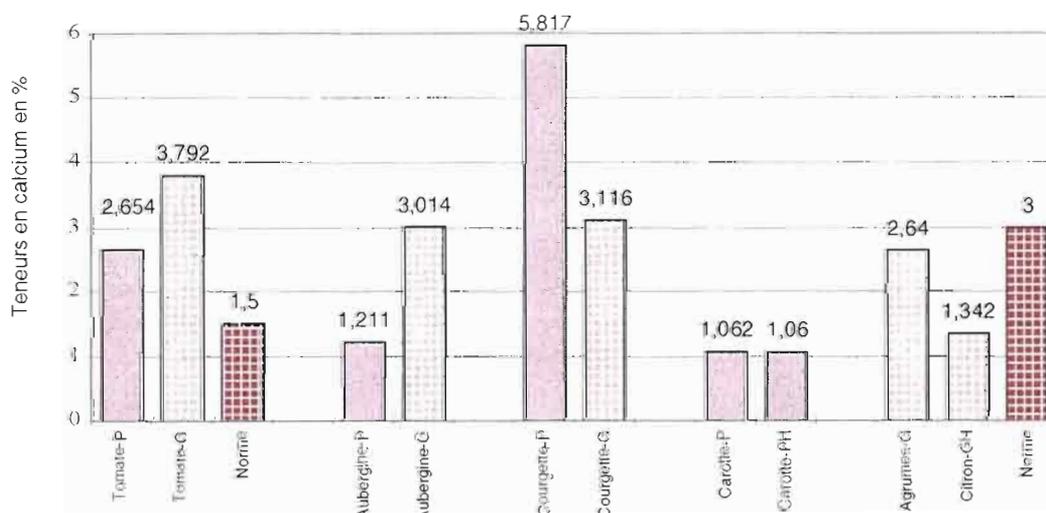


Fig 4 : Comparaisons de teneurs moyennes en magnésium de plantes cultivées

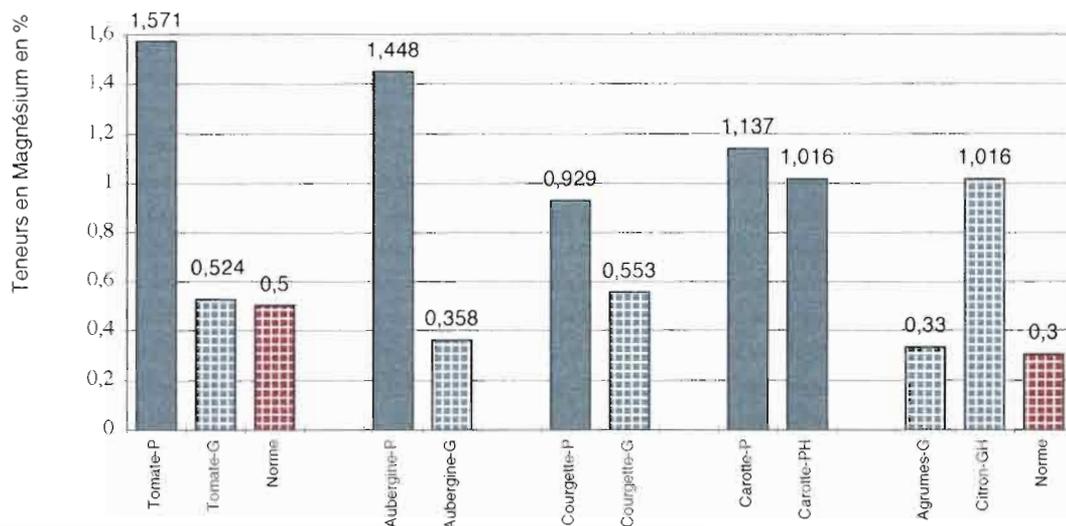


Fig 5 : Comparaisons de teneurs moyennes en manganèse de plantes cultivées

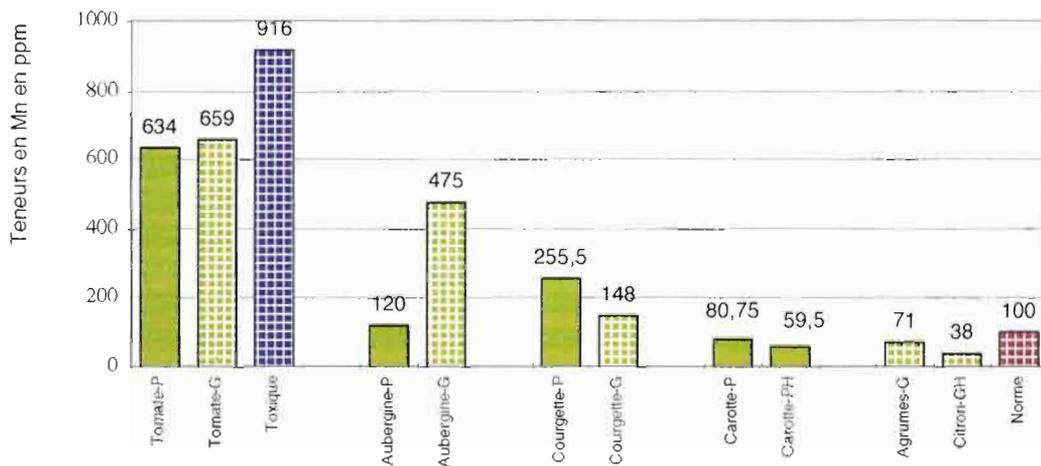
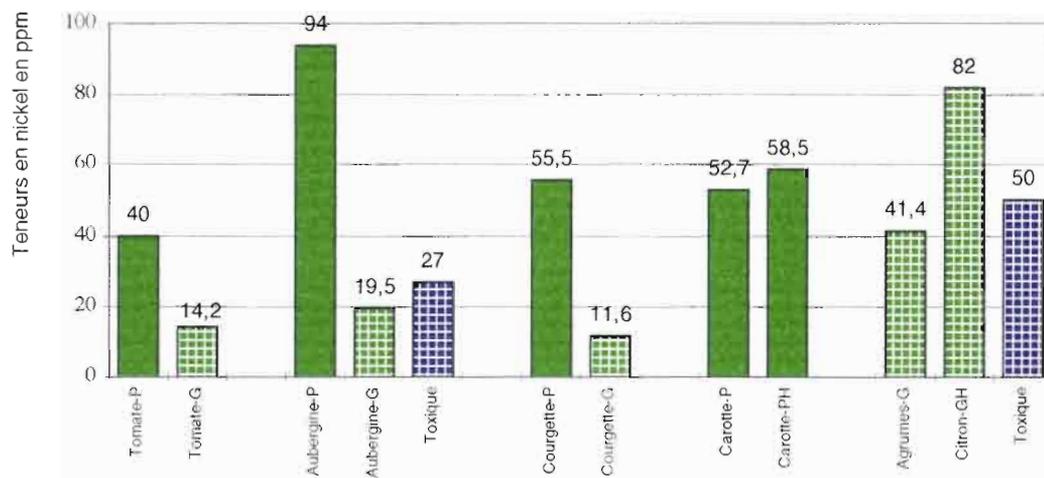


Fig 6 : Comparaisons de teneurs moyennes en nickel de plantes cultivées



3 - Assimilation du calcium (Fig 3 page précédente).

La tomate et l'aubergine ont des teneurs en calcium dans leurs feuilles très élevées quand elles sont cultivées en glacis. Par contre, c'est en plaine que la courgette a des teneurs en calcium plus élevées. La carotte assimile autant de calcium en plaine hydromorphe ou non hydromorphe et les agrumes ont des teneurs plus élevées en calcium en zone de glacis. Les teneurs observées sont deux fois plus importantes que la norme pour la tomate, et autour de la norme pour les agrumes.

4 - Assimilation du magnésium (Fig 4 ci-contre).

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

5 - Assimilation du manganèse (Fig 5 ci-contre).

Globalement, l'assimilation du manganèse est identique pour la tomate cultivée en plaine ou en glacis, pour le citronnier cultivé en glacis hydromorphe et en glacis non hydromorphe, pour la carotte cultivée en plaine hydromorphe ou en plaine non hydromorphe. Par contre, l'aubergine assimile mieux le manganèse en glacis, et la courgette en plaine. Pour des teneurs en manganèse comparables dans les sols de plaine et de glacis (0,9 %) l'assimilation de cet élément est donc indépendante du type de sols (hydromorphe ou non hydromorphe). Le Bot et *al* (1990) constatent un début de toxicité dès 916 ppm de manganèse dans les parties aériennes des feuilles de tomates. Les fortes teneurs en manganèse observées dans les tomates cultivées en plaine et en glacis (600 ppm en moyenne avec un maximum de 1200 ppm) doivent être toxiques. Pour mémoire, Zorn et Prause (1993) donnent les seuils de toxicité en manganèse dans les parties aériennes de jeunes plants de céréales: >150 ppm pour l'orge, >160 ppm pour le blé, > 200 ppm pour le riz, > 300 ppm pour l'avoine, > 350 ppm pour le maïs et 800 ppm pour la betterave.

6 - Assimilation du nickel (Fig 6 ci-contre).

Le nickel est mieux assimilé par les plantes maraîchères en zone de plaine que sur glacis, avec notamment des teneurs très élevées (90 ppm) pour l'aubergine. Selon Salim et *al*. (1988) une toxicité peut apparaître pour des teneurs supérieures à 27 ppm. Le citronnier présente également beaucoup de nickel dans ses feuilles en zone de glacis hydromorphe (par rapport au glacis non hydromorphe), ces teneurs sont probablement toxiques, car elles sont proches de 100 ppm de nickel alors qu'une toxicité a été observée dès 50 ppm (Vanselow 1966). La carotte a également des teneurs en nickel très élevées (autour de 50 ppm dans ses feuilles) en plaine hydromorphe ou en plaine non hydromorphe.

D'une façon générale, les teneurs en nickel observées dans les parties aériennes de végétaux cultivées sont très élevées et dépendent du type de sol (L'Huillier L. et Edighoffer S., 1996). Les zones hydromorphes, de plaine et de glacis, comme la plaine non hydromorphe, très riches en nickel total (1,17 % pour les zones hydromorphes et 1,09 % en plaine non hydromorphe) le sont aussi en nickel assimilable par les plantes (Tableau2).

Globalement quel que soit le végétal, le nickel sera mieux absorbé en zone hydromorphe et en plaine, avec des niveaux très élevés, probablement toxiques pour la plante.

III.2.2 -Analyse en composante principale des végétaux : représentations graphiques

L'analyse en composante principale (ACP) a été également appliquée aux végétaux cultivés sur les sols traités précédemment. Aux 53 sols sont associées ainsi 53 analyses de tiges et feuilles, portant sur 10 variables : les teneurs en Ni, Cr, Al, Ca, Mg, K, Mn, Si, Fe et P. L'ACP centrée réduite effectuée sur ces 10 variables permet d'obtenir les pourcentages de variation expliquée par les axes principaux :

axe 1 : 39,52 % axe 2 : 14,98 % axe 3 : 11,62 % axe 4 : 10,15 % axe 5 : 7,33 %
axe 6 : 5,47 % axe 7 : 5,04 % axe 8 : 3,56 % axe 9 : 1,9 % axe 10 : 0,4 %...

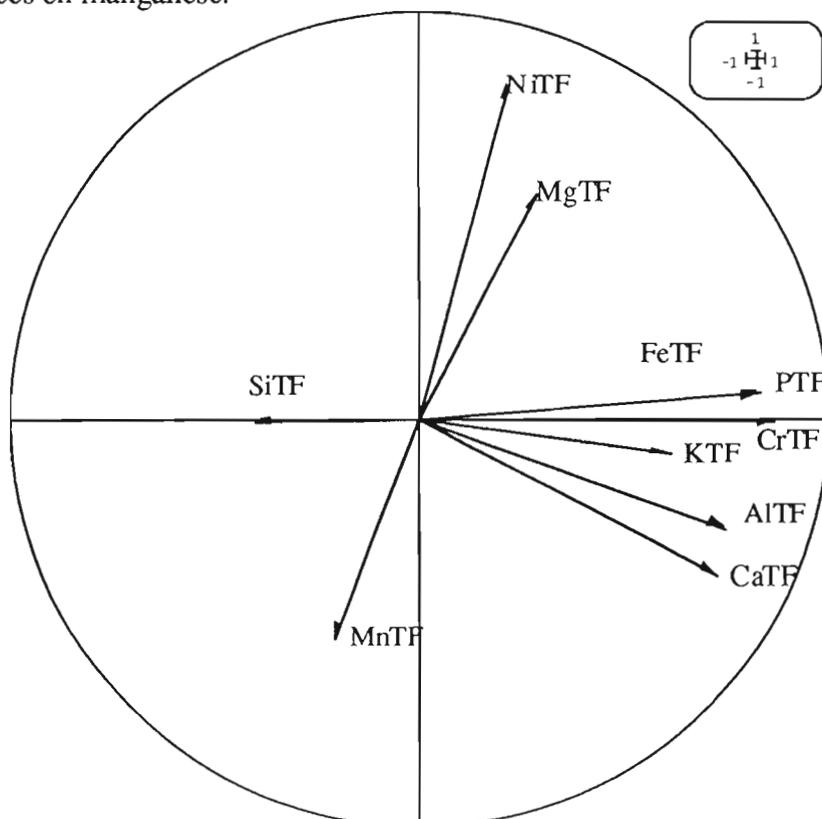
Les représentations graphiques ci-après concernent les axes 1 et 2, ce qui représente une part d'information expliquée de 54,5 % (39,52 + 14,98 = 54,5 %). On observe :

1/ sur le cercle de corrélation des végétaux selon les axes 1 et 2 ;

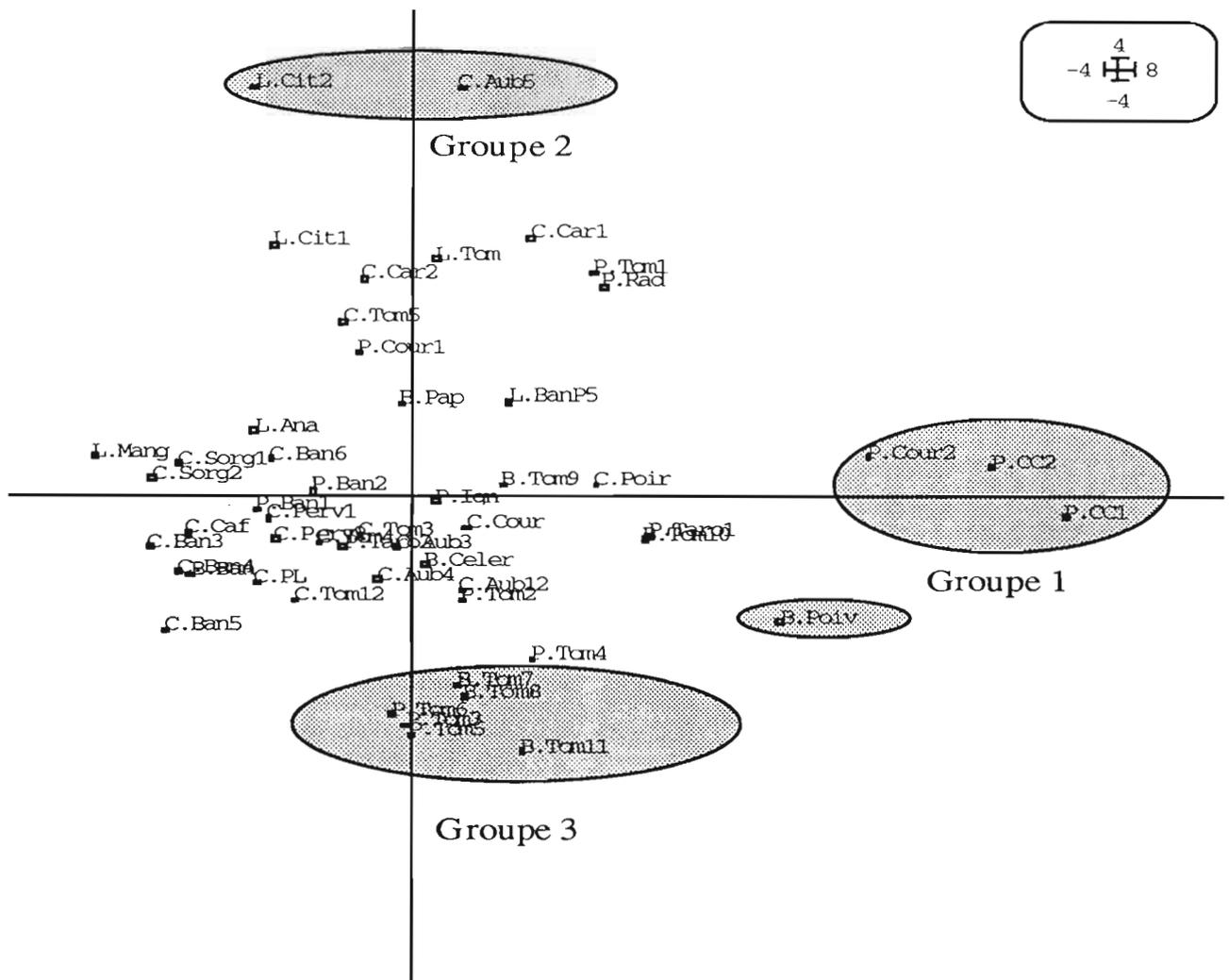
l'axe 1 (horizontal) présente :

- dans sa partie droite, par rapport à l'axe 2, des teneurs élevées dans les tiges et feuilles en fer, phosphore, chrome, potassium, aluminium et calcium ;
- dans sa partie gauche, par rapport à l'axe 2, des teneurs élevées en silice dans les tiges et feuilles.

L'axe 2 participe d'un côté aux teneurs élevées en nickel et en magnésium, de l'autre aux teneurs élevées en manganèse.



2/ sur la représentation du nuage de points des végétaux selon les axes 1 et 2 ;



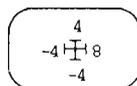
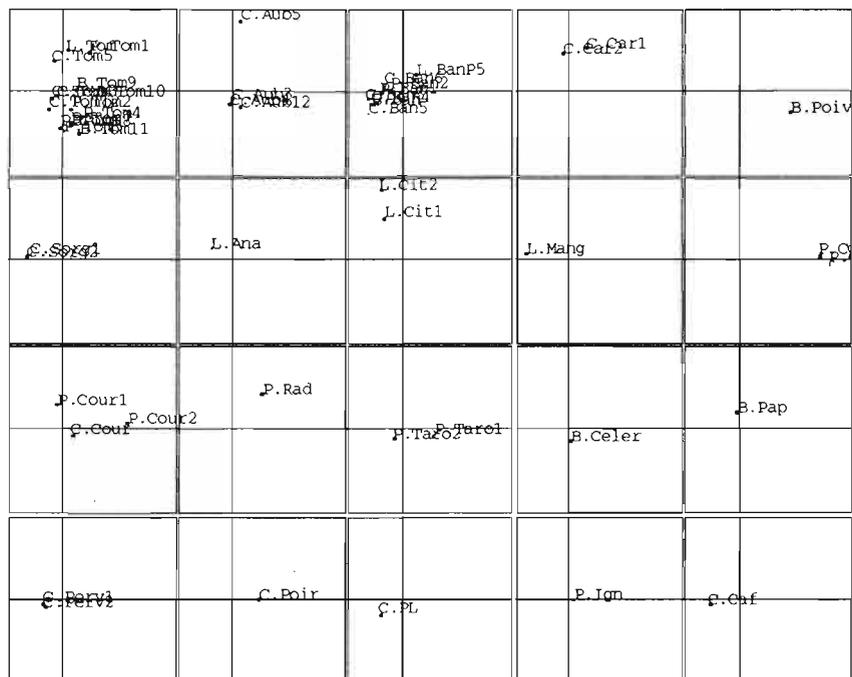
le nuage de points des végétaux est relativement bien séparé selon les axes 1 et 2.

Sur l'axe 1 (horizontal), on distingue :

- un groupe 1 constitué de 3 échantillons : P.cour2, P.cc1 et P.cc2, est caractéristique de teneurs élevées en chrome dans les tiges et feuilles, tandis que B.poiv qui leur est assez proche, a des teneurs élevées en aluminium.

Sur l'axe 2 (vertical), on constate que le groupe 2, constitué de deux points : L.cit2 et C.aub5 est caractéristique de teneurs élevées en nickel. Ces points correspondent aux échantillons de plaine ou de zones hydromorphes. Par contre, le groupe 3, situé en-dessous de l'axe 1, est caractérisé par des teneurs élevées en manganèse. Ces végétaux ont été prélevés en zone de glaciais. On y trouve un groupe de six points dont B.tom11 qui a la teneur en manganèse la plus élevée des 53 prélèvements.

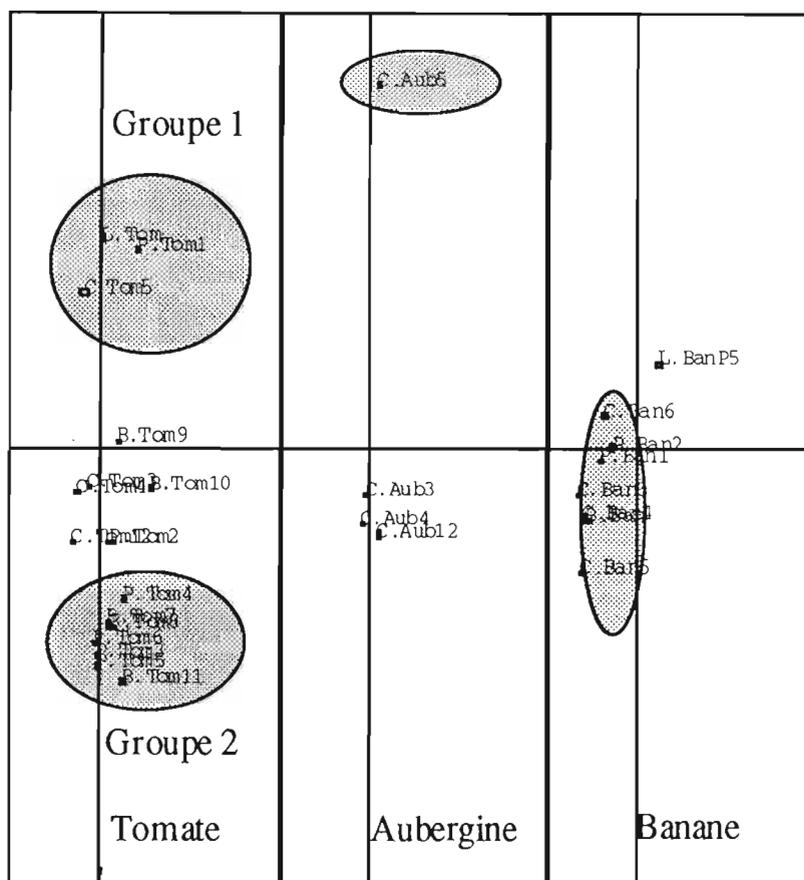
3/ sur la représentation des nuages de points par type de cultures, on distingue bien les 20 catégories de cultures ;



catégories	Nom de la culture	Nombre de répétitions	Fréquences
1	Tomate	16	0,302
2	Aubergine	4	0,075
3	Bananier	8	0,151
4	Carotte	2	0,037
5	Poivron	1	0,018
6	Sorgho	2	0,037
7	Ananas	1	0,018
8	Citronnier	2	0,037
9	Manguier	1	0,018
10	Chou de chine	2	0,037
11	Courgette	3	0,056
12	Radis	1	0,018
13	Taro	2	0,037
14	Céleri	1	0,018
15	Papayer	1	0,018
16	Pervenche	2	0,037
17	Poireau	1	0,018
18	Pomme-liane	1	0,018
19	Igname	1	0,018
20	Caféier	1	0,018

Parmi les 20 nuages de points représentant les 20 catégories, les trois premiers concernent la tomate, l'aubergine et le bananier, qui sont les mieux représentés.

Leur observation détaillée, figurée ci-dessous, permet de faire les remarques suivantes :

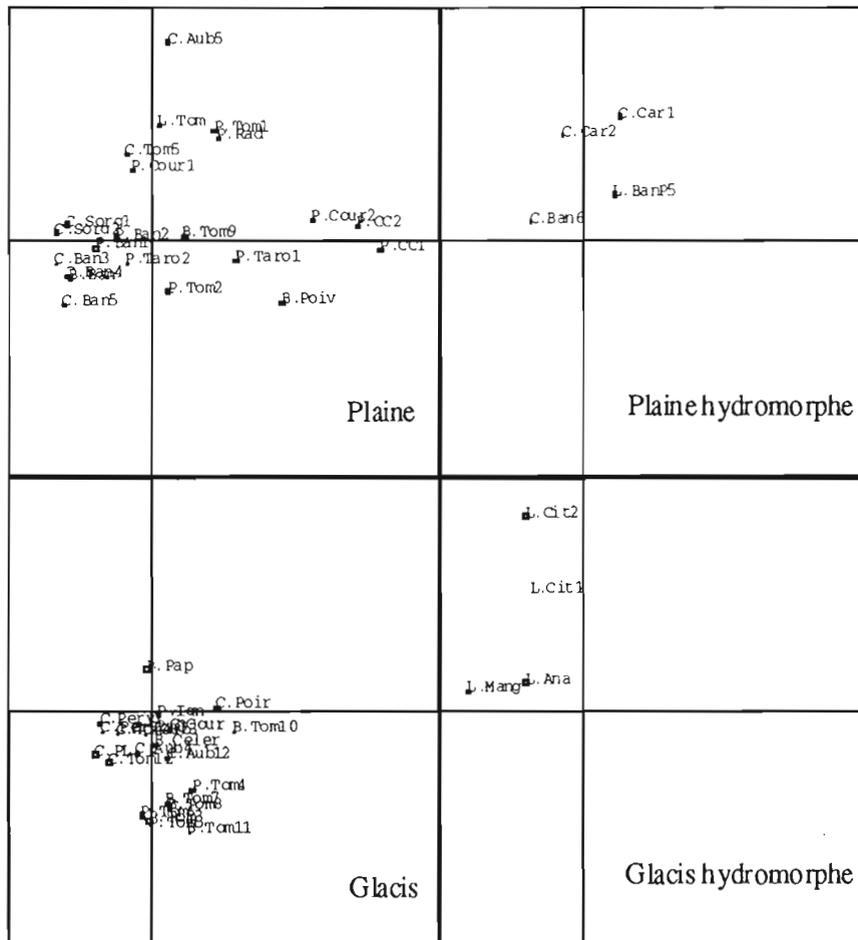


- la catégorie « tomate », qui est constituée de 16 valeurs, semble se différencier selon l'axe 2. Dans la partie positive de l'axe 2, le groupe 1, constitué de 3 points : L.tom, P.tom1 et C.tom5, se distinguent par des teneurs en nickel élevées. Par contre, dans la partie négative de l'axe 2, le groupe 2 représenté par 7 points : P.tom4, P.tom7, B.tom8, P.tom6, P.tom3, P.tom5 et B.tom11, est caractérisé par des teneurs élevées en manganèse. Les autres points sont relativement groupés au centre des deux axes.

- la catégorie « aubergine », qui n'est constituée que de 4 points, ne présente qu'une seule valeur bien différente des trois autres : C.aub5 qui se situe assez éloignée du nuage de points vers une partie de l'axe 2 où les teneurs en nickel sont élevées dans les feuilles.

- la catégorie « bananier », qui est constituée de 8 points, est relativement groupée au centre des deux axes. On constate cependant qu'une majorité de points (7 valeurs) se localisent légèrement sur la partie gauche de l'axe 2, c'est à dire vers des teneurs en silice plus élevées.

4/ sur la représentation des nuages de points des végétaux par type de sols ;



Le sol de piedmont n'est pas représenté, car un seul échantillon a été prélevé dans cette zone.

Le nuage de points de la zone de plaine est relativement étendu sur les axes 1 et 2, avec une différenciation selon les teneurs en aluminium (valeurs élevées sur la partie droite de l'axe 1, horizontal) et selon les teneurs en nickel (valeurs élevées selon l'axe 2, vertical, dans la partie positive).

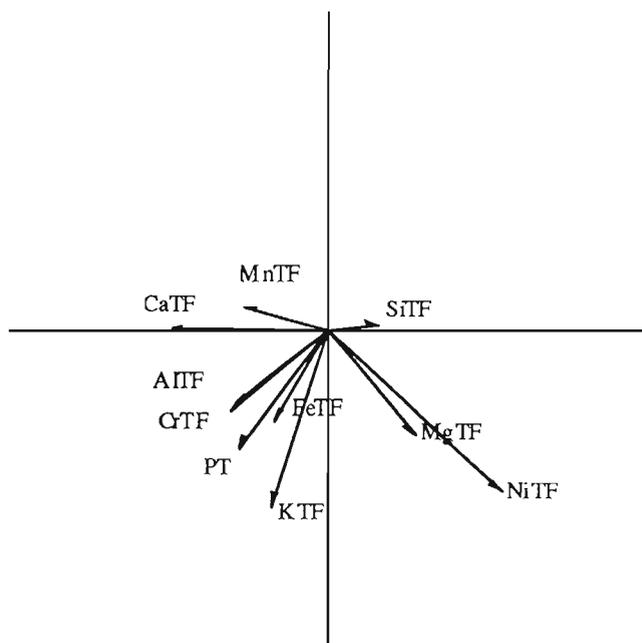
Le nuages de points des zones hydromorphes de plaine et de glacis présentent des points situés dans la partie positive de l'axe 2 (vertical) avec des teneurs élevées en nickel. Par contre, pour la zone de glacis, les points sont regroupés vers la partie négative de l'axe 2 (vertical) caractéristique des teneurs élevées en manganèse.

III.3 - Relations entre les sols et les végétaux. Analyse de Co-inertie (cf. Annexe 4)

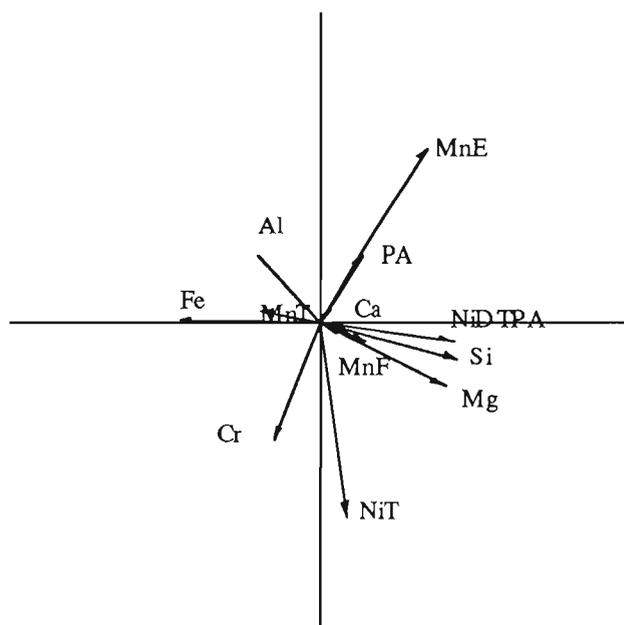
Les analyses en composante principale effectuées sur les données sols et les données végétaux ont permis de visualiser graphiquement les principales informations contenues dans le tableau de données sols et le tableau de données plantes. Sachant que les prélèvements de végétaux ont été effectués sur les sols analysés, on peut penser que ces deux types de données sont très fortement corélées.

Les représentations graphiques seront réalisées avec les axes 1 et 2, ce qui représente une part d'information expliquée de 88,22 % (64,65 + 23,57). On observe :

1/ le poids des variables selon les axes 1 et 2 pour les végétaux :

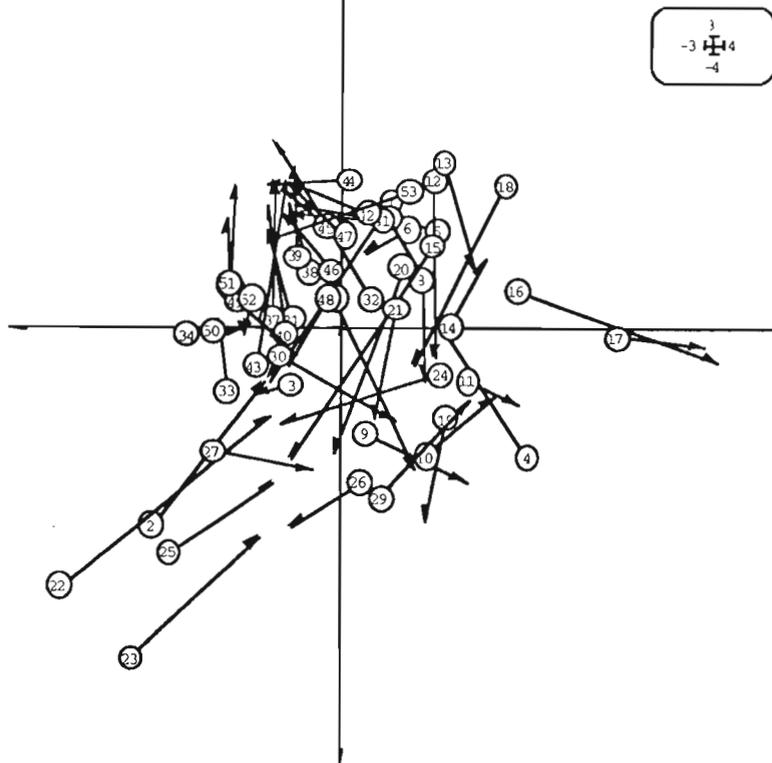


2/ le poids des variables selon les axes 1 et 2 pour les sols :

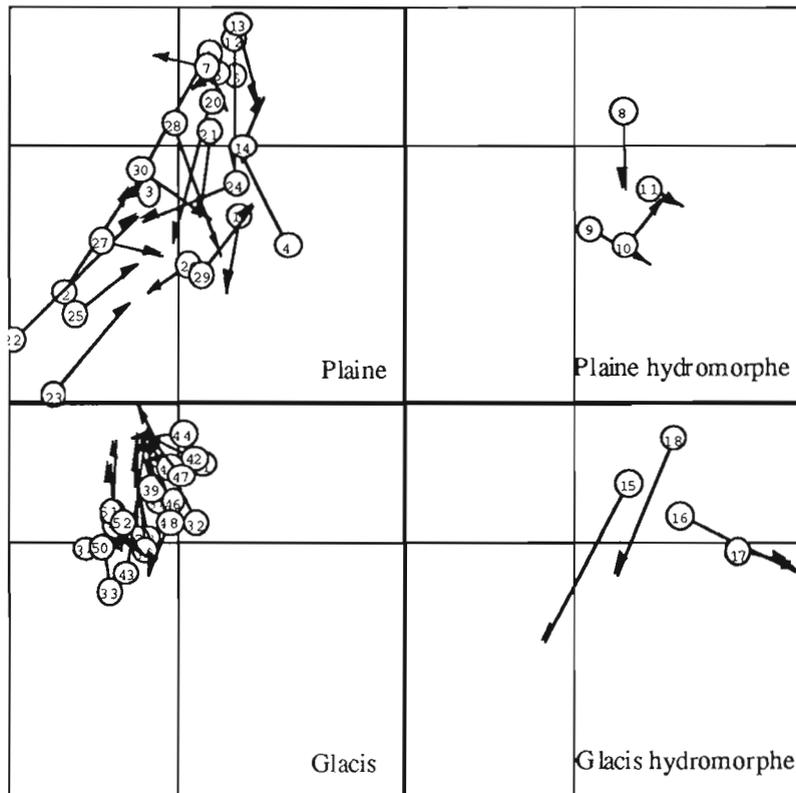


Les deux systèmes d'axes de co-inertie donnent donc deux systèmes de coordonnées. L'analyse maximise la covariance entre les deux systèmes, donc le produit de la corrélation par le produit des écarts types de ces coordonnées. Le graphe canonique est obtenu ci-après.

les cercles numérotés représentent les végétaux et les flèches les sols.



une représentation par types de faciès de sols nous renseignera sur la meilleure adéquation végétaux-sols.



La co-inertie représentée par le modèle Végétaux-Sols est très bonne pour la zone de glacis, car les flèches sont courtes, caractérisant bien une adéquation entre les végétaux et les sols analysés. Par contre, en plaine et en zones hydromorphes il apparaît de grandes flèches traduisant une moins bonne adéquation entre ces deux tableaux.

IV - Discussion

D'après les premières observations, il apparaîtrait des risques de toxicité en métaux lourds sur différents faciès de sols. En effet, en plaine et en zones hydromorphes (plaine et/ou glacis) la fraction disponible de nickel est plus importante (Ni extrait au DTPA), ce qui se traduit par des teneurs en nickel plus élevées dans les feuilles de plantes maraîchères et fruitières cultivées dans ces conditions élevées. Ces teneurs élevées sont probablement toxiques pour l'aubergine (Salim *et al.* 1988) et pour le citronnier (Vanselow, 1966). Manifestement, le nickel est assimilé différemment par les plantes suivant le type de sol où on les cultive.

Un bon indicateur de la biodisponibilité du nickel est l'extraction réalisée à l'aide du DTPA. En effet, plus un sol est riche en Ni DTPA, plus on a de chance d'avoir des teneurs importantes dans les parties aériennes des plantes cultivées et donc d'avoir une possible toxicité en nickel, qui pourrait entraîner des problèmes de développement végétatif et des rendements plus faibles.

Le tableau 3, ci-dessous, traduit l'assimilation du nickel par les plantes cultivées en fonction du type de faciès de sols.

SOL	Norme	Glacis			Plaine	
		Piedmont	Glacis	hydromorphe	hydromorphe	Plaine
NiT (%)		0,66	0,6	1,16	1,14	1,08
Ni DTPA (ppm)		4,5	9,9	252	145	48,8
PLANTE (en ppm)						
Tomate			14,2			40
Aubergine	27		19,5			94
Courgette			11,6			55,5
Carotte					58,5	52,7
Agrumes	50		41,4	82		

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

Le tableau 4, ci-après, traduit l'assimilation du manganèse par les plantes cultivées en fonction du type de faciès de sols.

	Norme	Piedmont	Glacis	Glacis hydromorphe	Plaine hydromorphe	Plaine
SOL						
MNo2 (%)		0,65	0,99	0,68	0,7	0,9
MnO2 Éch (ppm)		50	31,3	32,5	37,5	21,9
MnO2 FR (ppm)		570	937	865	1582	1312
PLANTE (en ppm)						
Tomate	916		659			634
Aubergine			475			120
Courgette			148			255,5
Carotte					59,5	80,7
Agrumes	100		71	38		

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

Les représentations graphiques obtenues avec les analyses en composante principale, ont permis de repérer les points, ou les groupes de points, ayant des valeurs extrêmes en nickel, en manganèse, en fer et en silice. L'analyse de co-inertie du modèle végétaux-sols révèle, quant à elle, qu'en zone de glacis, les variations d'état des plantes cultivées sont beaucoup plus dépendantes de celles du sol. En effet, il semblerait que l'assimilation d'éléments minéraux dans les feuilles de plantes maraîchères et fruitières soient très fortement dues aux teneurs en ces éléments dans ces conditions.

V - Conclusion

Comme on le craignait, le développement des cultures maraîchères, principalement sur les sols ferrallitiques ferritiques du Sud, favorisé par la proximité de la capitale et des conditions climatiques de la région, se heurte à des problèmes de toxicité nickelifère, mais aussi manganique.

Pour le nickel, cette toxicité obéit à une zonation pédologique bien définie (Becquer T. *et al.* 1995). Pour le manganèse le phénomène est moins net.

D'autres critères peuvent intervenir cependant, pour expliquer les difficultés rencontrées par les maraîchers pour obtenir des rendements élevés, malgré des intrants généralement de haut niveau :

- un déséquilibre calco-magnésien ;
- une hydromorphie temporaire.

Par ailleurs, les fortes variations observées sur les teneurs en nickel et en manganèse des organes aériens des végétaux correspondent, non seulement à des différences interspécifiques, mais aussi, on peut en faire l'hypothèse, à des différences intervariétales (L'Huillier L. et Al., 1996) et à une influence des techniques culturales sur la disponibilité de ces éléments.

Littérature citée

- BECQUER, T., BOURDON, E. ET L'HUILLIER, L. (1995) Mobilité du nickel dans les sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. *Deuxième Conférence Internationale sur l'écologie des Milieux Serpentiniques*, Nouméa, 31 juillet - 5 août 1995.
- BONZON B., L. COLLET, C. BOUCARON, F. GOURDON, P. DE MONPEZAT et L. L'HUILLIER. 1991b. Etude des effets des amendements calciques sur un vertisol hypermagnésien. Résultats du cinquième cycle cultural de l'expérimentation au champ. Nouméa : ORSTOM. Con.; Sci. Vie; Agropédol., 10: 75 pp.
- BOURDON E. & BECQUER T. (1992a) .Étude préliminaire de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre : zones de La Coulée et de La Lembi. *Convention Science de la vie - Agropédologie - n°12*, ORSTOM - Nouméa. 19 p.
- BOURDON E. & BECQUER T. (1992b). Étude de l'organisation pédologique des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre : zones de La Coulée et La Lembi - Caractérisation physico-chimique des sols. *Convention Science de la vie - Agropédologie - n°16*, ORSTOM - Nouméa 88 p.
- CAILLIEZ, F. & PAGES, J.P. (1976) Introduction à l'analyse de données. SMASH, 9 rue Duban 75016 Paris 1-616.
- EDIGHOFFER S., BOURDON E., (1993) Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Enquête sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur différents faciès ferritiques. 1 - Définition et mise à l'épreuve de la démarche agropédologique grâce à une première enquête réalisée chez M. Cochard. *Convention Science de la vie - Agropédologie- n°22*, ORSTOM - Nouméa 87 p.
- ESCOUFIER, Y. (1987) The duality diagramm : a means of better practical applications. In Development in numerical ecology. Legendre, P. & Legendre, L. (Eds) NATO advanced Institute, serie G. Spinger Verlag, Berlin. 139-156.
- LATHAM M., QUANTIN P. & AUBERT G. (1978) Étude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Notice explicative n°78, ORSTOM, Paris.
- LE BOT J., E.A. KIRKBY and M.L. VAN BEUSICHEM. Manganese toxicity in Tomato plants : effects on cation uptake and distribution, *Journal of Plant Nutrition*, 1990, Vol 13, N°5: 513-525.
- L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER S., (1996). Extractabilité of nickel and its concentration in cultivated plants in rich ultramafic soils of New Caledonia. *Plant and Soil* 186 : p 255-264.
- L'HUILLIER L., D'AUZAC J., DURAND M. and MICHAUD-FERRIÈRE N. (1996). Nickel effects on two maize cultivars : growth, structure, Ni concentration and localisation. *Canadian Journal of Botany*. 74 : p 1547-54.
- LINDSAY W. L. and W. A. NORVELL. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
- SALIM R., M. HADDAD and I. EL-KHATIB. 1988. Effect of nickel treatment on the growth of egg-plant. *J. Environ. Sci. Health A23*: 369-379.
- VANSELOW A.P. (1966) Nickel. *Diagnostic criteria for plants and soils* (eds H.D. Chapman), pp 302-309. University of California, Riverside.
- ZORN, W. AND PRAUSE, A. (1993) Manganese content of cereals maize and beet as indicator of soil acidity. *Z. Pflanzenernähr. BodenK.*, 156, 371-376

ANNEXE 1

QUESTIONNAIRE AGRICULTEUR

QUESTIONNAIRE AGRICULTEUR

CARACTERISTIQUES DE L'EXPLOITATION

A - Situation de famille

1. Nom de l'exploitant :

2. Formation de l'agriculteur :

3. Existe t-il dans la famille des personnes ayant eu une formation agricole ou autre? Si oui, laquelle?

4. Exercez-vous une autre activité que celle d'agriculteur?

5. Depuis combien d'années êtes-vous agriculteur?

B - Situation de l'exploitation

6. Nom de l'exploitation :

7. Statut de l'exploitant :

Propriétaire	Locataire	Autres

8. Date de la première mise en valeur :

9. Localisation de l'exploitation :

10. Superficie de l'exploitation :

11. Nombre de parcelles au total :

12. Nombre de parcelles inaccessibles :

13. Distance de la parcelle la plus éloignée des bâtiments techniques de l'exploitation :

.....

14. Situation topographique :

montagne	piedmont	glacis	plaine

15. Existe t-il une station météo proche de l'exploitation ?

Avez-vous des données météo récentes ?

Température minimale	Température maximale	Ensoleillement	pluviométrie

C - Main-d'oeuvre sur l'exploitation

16. Combien de personnes travaillent sur l'exploitation ?

D - Matériel agricole

17. Quels matériels utilisez-vous ?

Opérations culturales	Matériels utilisés
labour	
préparation du lit de semences	
épandage de produits divers	
récolte	

18. En empruntez-vous à l'extérieur ? Si oui, lequel ? Et a qui ?

19. Pour la préparation des sols, dans quel ordre utilisez-vous les machines ?

Ordre d'utilisation	Machine utilisée
1	
2	
3	
4	
5	

20. Envisagez-vous l'achat de matériel dans les années à venir ?

.....

SYSTEMES DE CULTURES

A - Différentes cultures

21. Que produisez-vous ?

Cultures	Variétés	Localisation	Dates de culture	Rendement
Céréales :				
blé				
orge				
sorgho				
avoine				
maïs				

Cultures maraîchères				
pomme de terre				
carotte				
courgette				
chou				
aubergine				
poireau				
tomate				

Cultures	Variétés	Localisation	Dates de culture	rendement
<i>Cultures fruitières</i>				
orange				
mandarine				
citron				
pamplemousse				
banane				
ananas				
pomme-liane				
litchi				
mangue				
<i>Cultures vivrières</i>				
igname				
patate				
taro				
manioc				
<i>Autres cultures</i>				
café				
pervenche				

22. Parmi ces productions, quelles sont celles qui vous intéressent le plus ?

.....

.....

.....

23. A quelles dates pratiquez-vous ces productions ?.....

.....

24. Quels sont les rendements atteints ?.....

25. Quelles sont les principales variétés, de chaque production ?.....

26. Quelles sont les cultures les plus rentables ?

.....

.....

B - Technique de production

27. Qu'apportez-vous comme engrais ?

Ordre des apports	Type d'engrais
1	
2	
3	
4	

28. Apportez-vous de la matière organique, et sous quelle forme ? Résidus de récolte, fumier ou lisier ?

Type de matière organique	Quantité
résidus de récolte	
fumier	
lisier	
autre	

29. Réalisez-vous une préparation spécifique du sol pour chaque production ? Si oui, laquelle ?

30. Pratiquez-vous l'irrigation ?

oui	non
-----	-----

Nombre de parcelles irriguées ?

Surfaces irriguées au total ?

31. Avez-vous (ou avez-vous eu) des problèmes de maladies ?

32. Avez-vous eu recours à des traitements phytosanitaires sur vos cultures ?

33. Quelles types de successions réalisez-vous sur vos parcelles ?

34. Connaissez-vous des zones où les cultures sont particulièrement faciles à réaliser ?
-
- Connaissez-vous des zones où les cultures ne viennent pas ?
- Savez-vous pourquoi ?

C - Cultures envisagées dans l'avenir

35. Quelles sont les cultures à abandonner ? Pourquoi ?
-
-
36. Voulez-vous essayer de nouvelles cultures ? Savez-vous les conduire ?
-
-
-
37. Voulez-vous augmenter vos surfaces cultivées ?

SYSTEMES D'ELEVAGES

A - Différents types d'élevages

38. Quels types d'élevages pratiquez-vous ?

Elevages	Race	Importance de l'élevage	Age moyen
bovin			
ovin			
porc			
volailles			
poule			
poulet			
pigeon			
canard			
oie			
pintade			
lapin			
autres			

39. Parmi vos élevages, quels sont ceux qui vous intéressent le plus ?
40. Quels sont les plus rentables ?

B - Conduite de ces élevages

41. Voulez-vous abandonner certains élevages ?

42. Voulez-vous essayer un nouvel élevage ? Si oui, lequel ?.....

FONCTIONNEMENT DU PARCELLAIRE

43. Pensez-vous avoir des problèmes climatiques sur votre exploitation ?

44. Les sols présents sur votre exploitation sont-ils fertiles ?
Relativement homogènes ? Combien de types de sols distinguez-vous ?

45. Avez-vous des problèmes d'érosion ?

Si oui, de quels types ?

Sur quelle parcelle ?

Qu'avez-vous fait pour y remédier ?

46. Quels sont les principaux problèmes rencontrés sur vos cultures ?

47. Avez-vous remarqué des symptômes anormaux de développement ?
Si oui, quel traitement avez-vous appliqué ?

ANNEXE 2

ANALYSES RECOMMANDÉES

- 1 - SOLS**
2 - VÉGÉTAUX
3 - EAUX

1 - L'analyse de sol

Caractéristiques du lieu de prélèvement (11 données)

Nom ou Numéro de prélèvement :	
Personne effectuant le prélèvement :	
Date du prélèvement :	
Nom de l'exploitation :	
Numéro de parcelle :	
Localisation exploitation :	
Type de faciès de sol :	
Végétation en place :	
Profondeur de prélèvement (en cm) :	
Échantillons de végétaux associés (N°) :	
Organisme qui réalise l'analyse :	

Analyse chimiques de l'échantillon de sol (44 données pour 4 horizons) :

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4
Argile (%)				
Limon fin (%)				
Limon grossier (%)				
Sable fin (%)				
Sable grossier (%)				
pF 2,0				
pF 3,0				
pF 4,2				
pH eau				
pH KCl				
Densité réelle DR				
Densité apparente DA				
Azote total AT (mg/g)				
Carbone total CT (mg/g)				
C/N				
Calcaire total CaCO3 (%)				
Phosphore total PT (ppm)				
Phosphore assimilable PA (ppm)				
Calcium échangeable CaE (meq%)				
Magnésium échangeable MgE (meq%)				
Sodium échangeable NaE (meq%)				
Potassium échangeable KE (meq%)				
Capacité d'échange cationique CEC (meq%)				
Taux de saturation T				
Manganèse échangeable Mn Ech ACONH4 (mg/g)				
Manganèse facilement réductible Mn FR (mg/g)				
Manganèse extrait au DTPA (ppm)				
Nickel extrait au DTPA (ppm)				

Manganèse extrait au KCl (ppm)				
Nickel extrait au KCl (ppm)				
Refus (%)				
Analyse totale : Silice SiO ₂ (%)				
Titane TiO ₂ (%)				
Fer Fe ₂ O ₃ (%)				
Calcium CaO (%)				
Magnésium MgO (%)				
Sodium Na ₂ O (%)				
Potassium K ₂ O (%)				
Cobalt CoO (%)				
Chrome Cr ₂ O ₃ (%)				
Manganèse MnO ₂ (%)				
Nickel NiO (%)				
Aluminium Al ₂ O ₃ (%)				
Cuivre CuO (%)				

2 - L'analyse de végétaux

Caractéristiques du lieu de prélèvement (13 données)

Nom ou Numéro de prélèvement :	
Personne effectuant le prélèvement :	
Date du prélèvement :	
Nom de l'exploitation :	
Numéro de parcelle :	
Localisation de l'exploitation :	
Type de végétal prélevé (variété) :	
Stade de production :	
Symptômes anormaux de développement :	
Nombre de tiges et feuilles :	
Nombre de fruits :	
Nombre de racine :	
Organisme qui réalise l'analyse :	

Analyse chimique d'une partie du végétal (18 données pour 3 organes) :

Organe de prélèvement	Tiges et feuilles	Fruits Racines	Peaux	Autre
Azote (%)				
Cendres (%)				
Silice SiO ₂ (%)				
Phosphore P (ppm)				
calcium Ca (%)				
Magnésium Mg (%)				
Sodium Na (%)				
Potassium K (%)				

Cobalt Co (ppm)				
Chrome Cr (ppm)				
Fer Fe (ppm)				
Manganèse Mn (ppm)				
Nickel Ni (ppm)				
Aluminium Al (ppm)				
Cuivre Cu (ppm)				
Zinc Zn (ppm)				
Souffre S (ppm)				
Chlore Cl (ppm)				

3 - Analyse d'eau

Caractéristiques du lieu de prélèvement (7 données)

Nom ou Numéro de prélèvement :	
Personne effectuant le prélèvement :	
Date du prélèvement :	
Nom de l'exploitation :	
Numéro de parcelle :	
Localisation :	
Organisme qui réalise l'analyse :	

Analyse chimiques de l'échantillon d'eau (20 données) :

Eléments	Unités	Valeurs
pH		
Cl	meq/l	
SO4	meq/l	
HCO3	meq/l	
CO3	meq/l	
Ca	meq/l	
Mg	meq/l	
Na	meq/l	
K	meq/l	
NO3	meq/l	
PO4	mg/l	
NH4	meq/l	
SiO2	mg/l	
Co	mg/l	
Cr	mg/l	
Fe	mg/l	
Mn	mg/l	
Ni	mg/l	
Cu	mg/l	

ANNEXE 3

DESCRIPTION DE PROFILS CULTURAUX

Fiches de description d'un profil cultural

PROFIL N°				
VOLUME (Profondeur en cm)	1	2	3	4
1 - TEXTURE - Sableuse : S - Limoneuse : L - Argileuse : A - Sablo-limoneuse : SL - Limono-sableuse : LS - Limono-argileuse : LA - Sablo-argileuse : SA				
2 - HUMIDITE - Sec - Frais - Humide - Très humide				
3 - COULEUR Couleur dominante du code MUNSSELL				
4 - STRUCTURE - Particulaire - Massive - Massive fissurée - Fragmentaire peu nette - Fragmentaire nette - Fragmentaire très nette				
5 - VIDES ENTRE ELEMENTS STRUCTURAUX - Faible - Assez important - Très important				
6 - COMPACITE ET COHESION - Très peu compact / boulant - Peu compact / meuble - Assez compact / cohérent - Très compact / très cohérent				
7- ELEMENTS GROSSIERS - Sables de 0,1 à 0,5 cm - Gravillons de 0,2 à 2 cm - Cailloux de 2 à 20 cm - Blocs > 20 cm				
8- MATIERE ORGANIQUE - Absente - Non directement décelable (NDD) - Faible - Importante - Très importante				
9 - TRANSITION - Graduelle (plus de 5 cm) - Distincte (de 2 à 5 cm) - Nette (moins de 2 cm) - Très nette (contact direct) - Racines déviées - Racines bloquées				
10 - TRAITS PEDOLOGIQUES Tâches - Imprégnations - Revêtements - Concrétions - Pellicules - Dentrites - Carapaces - Cuirasses				

PROFIL N°				
VOLUME (Profondeur en cm)	1	2	3	4
11 - ACTIVITE BIOLOGIQUE				
12 - RACINES - Nombreuse, aucune - Diamètre en mm : 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 10 - - Distribution régulière ou irrégulière - Dans le plan horizontal, vertical ou oblique - Entre les agrégats - Dans les agrégats - Limité à l'horizon - Traversant l'horizon Mode de pénétration des racines : - dans les cavités - dans les chenaux - dans les fentes - dans les vides d'arrangement - Observations de déformations des racines				
13 - MORPHOLOGIE DES AGREGATS <i>Taille en cm</i> <i>Farmes</i> - polyédrique anguleuse ou sub anguleuse - planes - courbes - planes et courbes <i>Arêtes</i> - anguleuses - émoussées - pas d'arête <i>Allongement préférentiel</i> - vertical - horizontal - autre				
14-FRAGILITE ou FRIABILITE DES AGREGATS - Non fragile, non friable - Peu fragile, peu friable - Fragile, friable - Très fragile, très friable				
15 - PLASTICITE DES AGREGATS - Non plastique - Peu plastique - Plastique - Très plastique				
16 - ASSEMBLAGE INTERNE DES AGREGATS - Massif - Massif fissuré - Fragmentaire - Non identifié				
17 - PORES DANS LES AGREGATS - Abondance /cm ² - Forme et taille en mm cylindrique - vacuolaire - vésiculaire - intergranulaire				

ANNEXE 4

CO-INERTIE : MODÈLE MATHÉMATIQUE

Le modèle mathématique de l'analyse de Co-inertie peut être explicité sous l'angle du schéma de dualité synthétisé par Cailliez et Pagès (1976) et introduit en écologie statistique par Escoufier (1987).

Si l'on utilise les notations du schéma de dualité, on peut justifier le terme de co-inertie de la manière suivante :

(X, D_p, D_n) et (Y, D_q, D_n) sont deux triplets statistiques.

- X est le tableau des données végétales (après centrage initial). D_p est la matrice des poids associés aux colonnes de X . D_n est la matrice des poids associés aux lignes de X ;

- Y est le tableau des données sols (après centrage initial). D_q est la matrice des poids associés aux colonnes de Y . D_n est la matrice des poids associés aux lignes de Y .

Le triplet (X, D_p, D_n) définit une analyse d'inertie des n points de R^p et des p points de R^n . Après diagonalisation (recherche des valeurs singulières), r axes principaux sont conservés et les matrices R_r, C_r, N_r sont générées.

- R_r contient les coordonnées des n lignes pour les r axes ;
- C_r contient les coordonnées des p colonnes sur les r axes ;
- N_r contient les valeurs propres ($v_1 \dots v_r$).

Le triplet (Y, D_q, D_n) définit une analyse d'inertie des n points de R^q et des q points de R^n . Après diagonalisation (recherche des valeurs singulières), s axes principaux sont conservés et les matrices R_s, C_s, M_s sont générées.

- R_s contient les coordonnées des n lignes pour les s axes ;
- C_s contient les coordonnées des q colonnes sur les s axes ;
- M_s contient les valeurs propres ($\mu_1 \dots \mu_s$).

Considérons deux vecteurs u et v . Le premier est normalisé par D_p dans R^p et le second est normalisé par D_q dans R^q .

- la projection de l'espace multidimensionnel associé au tableau X sur le vecteur u génère n coordonnées dans une matrice colonne :

$$\mathcal{F} = X D_p u \quad (1)$$

- la projection de l'espace multidimensionnel associé au tableau Y sur le vecteur v génère n coordonnées dans une matrice colonne :

$$\mathcal{S} = Y D_q v \quad (2)$$

la co-inertie associée à u et v est égale à :

$$H(u,v) = \mathcal{F}^t D_n \mathcal{S} \quad (\text{t pour transposé}) \quad (3)$$

Si les deux tableaux X et Y sont préalablement centrés alors la co-inertie est la covariance entre les deux nouveaux jeux de coordonnées :

$$\text{Cov}(\mathcal{F}, \mathcal{S}) = (\text{Iner1}(u))^{1/2} (\text{Iner2}(v))^{1/2} \text{Corr}(\mathcal{F}, \mathcal{S}) \quad (4)$$

avec $\text{Iner1}(u)$ inertie projetée sur u ou encore variance des nouvelles coordonnées sur u avec $\text{Iner2}(v)$ inertie projetée sur v ou encore variance des nouvelles coordonnées sur v et $\text{Corr}(\mathcal{F}, \mathcal{S})$ corrélation entre les deux nouveaux jeux de données.

On notera que c'est le carré de Corr (£,\$) qui est maximisé en analyse canonique des corrélations. Par contre un axe de co-inertie associé à deux vecteurs \mathbf{u} et \mathbf{v} maximise la covariance Corr (£,\$).

Les axes de co-inertie sont obtenus en diagonalisant \mathbf{W} :

$$\mathbf{W} = \mathbf{D}_p^{-1/2} \mathbf{X}^t \mathbf{D}_n \mathbf{Y} \mathbf{D}_q \mathbf{Y}^t \mathbf{D}_n \mathbf{X} \mathbf{D}_p^{1/2} \quad (5)$$

Considérons \mathbf{U}_z la matrice contenant les z premières valeurs propres normalisés de \mathbf{W} et \mathbf{V}_z la matrice contenant les z premières valeurs propres correspondantes ($\lambda_k, 1 \leq k \leq z$). Les z premiers axes de co-inertie (\mathbf{D}_p normés) dans \mathbb{R}^p et les z premiers axes de co-inertie (\mathbf{D}_q normés) dans \mathbb{R}^q résultent respectivement de :

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_z &= \mathbf{D}_p^{-1/2} \mathbf{U}_z \\ \text{et} \\ \mathbf{B}_z &= \mathbf{Y}^t \mathbf{D}_n \mathbf{X} \mathbf{D}_p^{1/2} \mathbf{U}_z \mathbf{V}_z^{-1/2} \text{ avec } \mathbf{Y}^t \text{ matrice transposée de } \mathbf{Y} \end{aligned} \quad (6)$$

\mathbf{A}_z et \mathbf{B}_z sont les poids de co-inertie des variables optimaux respectivement dans les tableaux \mathbf{X} et \mathbf{Y} . Les coordonnées des lignes de \mathbf{X} et des lignes de \mathbf{Y} dans la co-inertie sont respectivement :

$$\mathbf{X}^*z = \mathbf{X} \mathbf{D}_p \mathbf{A}_z \text{ et } \mathbf{Y}^*z = \mathbf{Y} \mathbf{D}_q \mathbf{B}_z \quad (7)$$

On peut utilement comparer la variabilité projetée des analyses d'inertie de chaque tableau et celles obtenues par l'analyse de co-inertie. Pour cela, on calcul les coordonnées des projections des axes d'inertie sur les axes de co-inertie. Appelons \mathbf{C}^*r et \mathbf{C}^*s les matrices de ces coordonnées :

$$\begin{aligned} \mathbf{C}^*r &= \mathbf{N}_r^{-1/2} \mathbf{C}_r^t \mathbf{D}_p \mathbf{A}_z \\ \text{et} \\ \mathbf{C}^*s &= \mathbf{M}_s^{-1/2} \mathbf{C}_s^t \mathbf{D}_q \mathbf{B}_z \end{aligned} \quad (8)$$

Les éléments diagonaux des matrices $(\mathbf{X}^*z)^t \mathbf{D}_n \mathbf{X}^*z$ et $(\mathbf{Y}^*z)^t \mathbf{D}_n \mathbf{Y}^*z$ sont des pseudo-valeurs propres.

Considérons ν^*k les k pseudo-valeurs propres de \mathbf{X} et μ^*k les k pseudo-valeurs propres de \mathbf{Y} .

Ces valeurs sont utilisées pour situer les axes d'inertie des analyses séparés sur les axes de co-inertie. Ceci permet d'interpréter quelle part des structures de chacun des tableaux est prise en compte dans la co-structure. Enfin la quantité :

$$\rho^*_k = \lambda_k / \nu_k \cdot \mu^*k \quad (9)$$

est l'expression de la corrélation entre les deux nouveaux jeux de données.

