

**CONVENTIONS  
SCIENCES DE LA VIE  
AGROPEDOLOGIE**

**N° 15**

**1992**

**Mise en valeur des sols ferrallitiques  
des massifs du Sud de la Nouvelle Calédonie**

**Effets 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)**

**Laurent L'HUILLIER**

**Avenant n°1 à la convention  
ORSTOM / Province Sud  
du 14 janvier 1991**

**CONVENTIONS**  
**SCIENCES DE LA VIE**  
**AGROPEDOLOGIE**

**N° 15**

**1992**

**Mise en valeur des sols ferrallitiques  
des massifs du Sud de la Nouvelle Calédonie**

**Effets 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)**

**Laurent L'HUILLIER**

**Avenant n°1 à la convention ORSTOM / Province Sud  
du 14 janvier 1991**

**ORSTOM**

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

**CENTRE DE NOUMÉA**

© ORSTOM, Nouméa, 1992

/L'Huillier, L.

Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle Calédonie.  
Effets 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. Septembre 1992. 112 p.

*Conv. : Sci. Vie : Agropédol. ; 15*

Ø76AGROØ5

AGRONOMIE ; ETUDE EXPERIMENTALE ; SERRE ; CEREALE ; ZEA MAYS ; RELATION SOL  
PLANTE ; FUMURE ; METAL LOURD / NOUVELLE CALEDONIE

Imprimé par le Centre ORSTOM  
de Nouméa  
Septembre 1992



## **AVERTISSEMENT**

Ce rapport rend compte des résultats obtenus en 1991 sur deux expérimentations en serre concernant les effets sur la nutrition, la croissance et le développement du maïs, de deux doses de fumure organique combinées à deux doses de sulfate de nickel appliquées sur deux types de sols (un sol alluvial sans nickel et un sol ferrallitique du Sud).

Ces recherches ont été conduites au titre de la troisième opération - concernant l'influence des métaux lourds présents dans les sols ferrallitiques du Sud sur la croissance et le développement des plantes cultivées - de l'avenant 1 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 :

- S. Edighoffer, E. Ouckewen, L. Taputuarai et W. Nigote du laboratoire d'Agropédologie ;
- J. Pétard, Chef du Laboratoire d'Analyses et les membres de son équipe.

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.



## SOMMAIRE

	Pages
DOCUMENTS ANTERIEURS.....	7
RESUME , MOTS-CLES.....	9
1. INTRODUCTION .....	11
2. MISE EN PLACE ET CONDUITE DES ESSAIS.....	11
2.1. Les facteurs étudiés .....	11
2.1.1. Remarques préliminaires.....	11
2.1.2. Détails des facteurs étudiés.....	12
2.2. Type et plan de l'expérimentation .....	12
2.3. Mise en place et conduite de l'expérimentation .....	13
3. RESULTATS DES OBSERVATIONS ET DES MESURES.....	14

### PARTIE I INFLUENCE DE LA FUMURE ORGANIQUE

1. Sur le sol d'alluvions .....	15
1.1. Résultats : sans addition de nickel .....	15
1.2. Résultats : avec addition de nickel.....	16
1.3. Discussion.....	17
2. Sur le sol ferrallitique.....	19
2.1. Résultats : sans addition de nickel .....	19
2.2. Résultats : avec addition de nickel.....	20
2.3. Discussion.....	20

**PARTIE II  
COMPARAISON DES DEUX SOLS**

<b>1. Résultats.....</b>	<b>23</b>
1.1. <i>Sans nickel, sans fumure organique.....</i>	23
1.2. <i>Sans nickel, avec fumure organique.....</i>	24
1.3. <i>Avec nickel, sans fumure organique.....</i>	25
1.4. <i>Avec nickel, avec fumure organique.....</i>	26
<b>2. Discussion .....</b>	<b>27</b>

**PARTIE III  
EFFETS DE L'ADDITION DE NICKEL**

<b>1. Résultats.....</b>	<b>29</b>
1.1. <i>Sur le sol d'alluvions, sans fumure organique .....</i>	29
1.2. <i>Sur le sol d'alluvions, avec fumure organique.....</i>	30
1.3. <i>Sur le sol ferrallitique, sans fumure organique.....</i>	31
1.4. <i>Sur le sol ferrallitique, avec fumure organique.....</i>	32
<b>2. Discussion .....</b>	<b>33</b>
<b>4. DISCUSSION GÉNÉRALE SUR LES MÉTAUX .....</b>	<b>35</b>
4.1. <b>Synthèse bibliographique.....</b>	<b>35</b>
4.2. <b>Mobilités de Ni, Mn, Cr et Co dans le sol ferrallitique de l'essai.....</b>	<b>37</b>
4.3. <b>Absorption de Ni, Mn, Cr et Co .....</b>	<b>39</b>
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>43</b>

<b>ANNEXES .....</b>	<b>45</b>
<b>Annexe 1 : Analyse physico-chimique de l'état initial des deux sols de l'essai ....</b>	<b>47</b>
<b>Annexe 2 : Composition chimique de la fumure organique et quantités d'éléments apportés .....</b>	<b>51</b>
<b>Annexe 3 : Etude de la fixation du nickel sur les deux sols de l'essai .....</b>	<b>55</b>
<b>Annexe 4 : Apports de solution nutritive complète et de NiSO<sub>4</sub> lors du premier essai et lors du deuxième essai .....</b>	<b>59</b>
<b>Annexe 5 : Données Climatiques.....</b>	<b>69</b>
<b>Annexe 6 : Récapitulatifs des résultats des analyses de variance du premier essai.....</b>	<b>73</b>
<b>Annexe 7 : Récapitulatifs des résultats des analyses de variance du deuxième essai .....</b>	<b>91</b>
<b>Annexe 8 : Culture hydroponique du maïs.....</b>	<b>109</b>



## DOCUMENTS ANTERIEURS

L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER Sylvie. 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 : 16 p.

L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER Sylvie. 1992. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Etude des effets de doses toxiques de sulfate de nickel sur la croissance, le développement et la nutrition du maïs. Nouméa : ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie; Agropédol.*, 13 : 82 p.



## RESUME

Les sols ferrallitiques du Sud de la Nouvelle Calédonie sont connus pour leur carences en éléments majeurs, leur absence quasi totale d'argile minéralogique et leur faible pH, tout autant que pour leurs teneurs très élevées en nickel, manganèse, chrome et cobalt.

Le but de cette étude porte sur un première approche de la compréhension de la dynamique de ces métaux lourds dans un sol ferrallitique de référence, de leur assimilabilité par les plantes et des facteurs pouvant l'influencer.

Ainsi, le manganèse est l'élément le plus soluble, et le plus mobile parmi les quatre métaux. Le nickel est moins soluble, mais peut être déplacé sensiblement vers la solution du sol lorsque celle-ci est concentrée. Le cobalt et surtout le chrome semblent être les éléments les moins mobiles.

Au niveau des tiges et feuilles du maïs, ce sont les teneurs en manganèse qui sont les plus fortes (environ 150 ppm), pouvant atteindre des valeurs élevées (270 ppm) quand sa teneur augmente dans la solution du sol, susceptibles de devenir excessives. Les teneurs en nickel ne sont pas à un niveau toxique (3 à 6 ppm), mais il est possible qu'elles puissent augmenter avec des modifications des caractéristiques physico-chimiques du sol, telle qu'une concentration de la solution. Quant au chrome et au cobalt, leurs teneurs dans les tiges et feuilles paraissent faibles (1 à 2 ppm pour Cr, 2 à 5 ppm pour Co), même si leurs teneurs toxiques ne sont pas connues. Cependant, il semble que les teneurs en chrome dans les tiges et feuilles ne puissent pas augmenter facilement.

Un apport de fumure organique semble pouvoir diminuer la disponibilité du nickel, mais pas celle du manganèse. En effet, l'apport d'une fumure organique lors de cette étude a diminué la teneur en nickel dans les tiges et feuilles du maïs. Il n'a eu par contre aucun effet apparent sur le manganèse, le chrome et le cobalt.

Un excès de nickel dans le milieu de culture ne semble pas induire de carences en un élément chez le maïs. Seule une baisse de croissance du plant accompagnée apparemment d'une baisse générale de l'absorption des éléments est observée. Un antagonisme d'absorption entre Ni et Mn semble apparaître quand Ni est en excès.

**MOTS-CLES :** Sol ferrallitique ; Nickel ; Manganèse ; Chrome ; Cobalt ; Maïs ; Fumure organique.



## 1. INTRODUCTION

L'étude de l'influence des métaux lourds sur la croissance et le développement des plantes cultivées, engagée dans le cadre de la Convention Province Sud - ORSTOM pour l'étude de la mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie, est motivée par le fait que ces sols présentent souvent de fortes teneurs en éléments métalliques (Ni, Cr, Co et Mn). La teneur en nickel, en particulier, atteint fréquemment 1 %.

Les objectifs des premiers travaux en serre, dont les résultats sont rapportés ici, étaient les suivants :

1- situer l'influence, sur le maïs, d'un sol ferrallitique à forte teneur en nickel, en chrome, en cobalt et en manganèse, par comparaison avec un sol alluvial à faible teneur en ces éléments ;

2- caractériser l'influence d'une fumure organique sur l'absorption par la plante du nickel en particulier, ainsi que du chrome, du cobalt et du manganèse.

## 2. MISE EN PLACE ET CONDUITE DES ESSAIS

### 2.1. Les facteurs étudiés

#### 2.1.1. Remarques préliminaires

Le premier but de l'étude étant de comparer la croissance et la nutrition du maïs obtenues sur un sol ferrallitique à forte teneur en nickel, en chrome, en cobalt et en manganèse à celles obtenues sur un sol pratiquement dépourvu de ces éléments, il nous a fallu rechercher deux sols ayant ces caractéristiques. Le premier sol est un sol ferrallitique ferritique du Sud pris comme sol de référence depuis quatre ans, contenant environ 0,50 % de Ni (5000 ppm), 0,22 % de Mn (2200 ppm), 2,17 % de Cr (21700 ppm) et 0,05 % de Co (500 ppm) total. Le second sol, choisi après examen des cartes pédologiques du centre ORSTOM et des résultats de diverses prospections sur le terrain, est un sol peu évolué d'apport alluvial de la région de La Foa, contenant de faibles teneurs en ces métaux en comparaison des teneurs de la plupart des autres sols du Territoire (Latham *et al.*, 1978). (cf. les résultats des analyses physico-chimiques des deux sols en annexe 1).

Une fumure organique a été appliquée à la moitié des pots, les autres n'en recevant pas, pour déterminer son influence sur l'absorption du nickel, du manganèse, du chrome et du cobalt par la plante. En effet, les résultats d'essais menés en parallèle en serre et qui ont fait l'objet d'un précédent rapport (cf. rapport de convention n° 13 de L'Huillier L. et Edighoffer S., 1992), de même que des publications scientifiques, ont montré que l'absorption du nickel par le maïs peut être fortement influencée par la présence d'autres nutriments, en particulier par certains cations comme le magnésium et le calcium qui diminuent son absorption (Verlière et Heller, 1981; Robertson, 1985), ou par la présence de molécules organiques pouvant fixer ces métaux et susceptibles de diminuer leur absorption. La fumure organique utilisée est un produit commercial appelé "Actilex Bio-engrais", dont la composition est donnée en annexe 2.

Afin de préciser davantage l'influence de la fumure organique sur l'absorption du nickel, une dose supplémentaire de sulfate de nickel a été appliquée à la moitié des pots, les autres n'en recevant pas.

Deux expérimentations ont dû être conduites l'une à la suite de l'autre pour parvenir à des résultats corrects : la dose de nickel appliquée lors du premier essai était trop faible pour engendrer une toxicité importante sur le maïs et pour mettre en évidence une action particulière de la fumure organique en présence de nickel. En effet, après dosage du nickel dans les percolats de ce premier essai, nous avons constaté qu'ils n'en contenaient que très peu en solution. Une étude de la fixation du nickel nous a alors permis de vérifier que celui-ci était fixé en très grande quantité sur les deux sols de l'essai (cf. annexe 3). Ces résultats nous ont donc conduit à reprendre la même expérimentation, mais avec une dose de nickel plus importante et toxique.

### 2.1.2. Détails des facteurs étudiés

Ainsi, dans les deux essais, trois facteurs de variation ont été étudiés :

1- le premier est le *facteur dose de nickel* sous forme de sulfate. Une dose de  $\text{NiSO}_4$ <sup>1</sup>, plus un témoin, a été appliquée. Les doses au cours des deux essais en serre étaient les suivantes :

Tableau 1. Doses de  $\text{NiSO}_4$  appliquées dans les deux essais, et quantités de Ni correspondantes

Doses	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
	$\text{NiSO}_4$ (mg/kg de sol)	Ni (ppm)	$\text{NiSO}_4$ (mg/kg de sol)	Ni (ppm)
1	0 (témoin)	0	0 (témoin)	0
2	92	20,56	1472,8	329,02

2- le second facteur est le *facteur sol*. Deux types de sols ont servi aux deux essais : un sol peu évolué d'apport alluvial à faible teneur en métaux (sol 1), un sol ferrallitique ferritique du Sud à forte teneur en Ni, Mn, Cr et Co (sol 2) ;

3- le troisième facteur est le *facteur apport de fumure organique*. Deux niveaux d'apport de fumure organique, identiques dans les deux essais, ont été appliqués : un témoin sans apport (dose 1), un apport de 250 mg/kg de sol (750 kg/ha) (dose 2).

## 2.2. Type et plan de l'expérimentation

Les deux essais en serre étaient basés sur le même dispositif : il s'agit d'un essai en blocs complets équilibrés de 96 pots à 6 répétitions et deux pots par parcelle.

Voici le plan des deux essais, avec le détail des différents indices i.j.k.l.r :

- i = bloc (de 1 à 6) ;
- j = dose de  $\text{NiSO}_4$  (1 ou 2) ;
- k = type de sol (1 ou 2) ;
- l = dose de fumure organique (1 ou 2) ;
- r = répétition (1 ou 2).

<sup>1</sup> Nous écrivons  $\text{NiSO}_4$  pour simplifier l'écriture, mais la formule correcte du sulfate de nickel est :  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

1.1(1.2)1	1.1(1.2)2	3.2(2.1)1	3.2(2.1)2	*	*
*	*	3.2(1.1)1	3.2(1.1)2	*	*
*	*	3.1(2.1)1	3.1(2.1)2	5.2(1.1)1	5.2(1.1)2
1.2(1.1)1	1.2(1.1)2	3.1(2.2)1	3.1(2.2)2	*	*
1.2(2.1)1	1.2(2.1)2	*	*	5.1(1.2)1	5.1(1.2)2
*	*	3.1(1.2)1	3.1(1.2)2	5.2(2.1)1	5.2(2.1)2
1.2(2.2)1	1.2(2.2)2	*	*	5.2(2.2)1	5.2(2.2)2
1.1(1.1)1	1.1(1.1)2	3.2(1.2)1	3.2(1.2)2	*	*
1.1(2.1)1	1.1(2.1)2	3.1(1.1)1	3.1(1.1)2	5.2(1.2)1	5.2(1.2)2
1.1(2.2)1	1.1(2.2)2	3.2(2.2)1	3.2(2.2)2	5.1(2.2)1	5.1(2.2)2
1.2(1.2)1	1.2(1.2)2	*	*	5.1(2.1)1	5.1(2.1)2
*	*	*	*	5.1(1.1)1	5.1(1.1)2
2.2(2.2)1	2.2(2.2)2	4.1(1.1)1	4.1(1.1)2	*	*
2.2(1.1)1	2.2(1.1)2	4.2(2.2)1	4.2(2.2)2	6.2(2.2)1	6.2(2.2)2
*	*	*	*	6.1(1.1)1	6.1(1.1)2
2.1(1.2)1	2.1(1.2)2	*	*	6.2(1.1)1	6.2(1.1)2
2.1(2.1)1	2.1(2.1)2	4.1(1.2)1	4.1(1.2)2	6.1(1.2)1	6.1(1.2)2
*	*	4.2(1.2)1	4.2(1.2)2	*	*
2.2(2.1)1	2.2(2.1)2	4.1(2.2)1	4.1(2.2)2	6.1(2.1)1	6.1(2.1)2
2.1(2.2)1	2.1(2.2)2	4.1(2.1)1	4.1(2.1)2	*	*
2.1(1.1)1	2.1(1.1)2	*	*	6.1(2.2)1	6.1(2.2)2
2.2(1.2)1	2.2(1.2)2	4.2(1.1)1	4.2(1.1)2	6.2(2.1)1	6.2(2.1)2
*	*	*	*	6.2(1.2)1	6.2(1.2)2
*	*	4.2(2.1)1	4.2(2.1)2	*	*

Fig. 1. Plan de la serre et répartition des traitements.

### 2.3. Mise en place et conduite de l'expérimentation

La technique de culture sur vase de végétation utilisée est celle mise au point par le laboratoire d'Agropédologie de Nouméa, avec le maïs comme plante-test (hybride double GH 5010) choisi en raison de sa sensibilité aux déséquilibres minéraux et de sa rapidité de croissance et de développement.

La quantité de sol par pot a été déterminée de telle façon que la surface du sol arrive à 3 cm du sommet du vase de végétation. Ainsi, les pots ont été remplis avec 6,1 kg de sol d'alluvions d'une part, et 6,3 kg de sol ferrallitique d'autre part.

La fumure organique a été mélangée directement avec le sol au mélangeur "Chopin" pendant 5 minutes.

La dose de sulfate de nickel a été apportée sous forme dissoute dans les cuvettes d'irrigation des vases de végétation. Cet apport a été fait respectivement 19 jours et 8 jours avant le semis dans le premier et le deuxième essai, afin de laisser le temps à la solution de s'infiltrer dans le sol et de réagir avec lui éventuellement. Pour cela, les percolats ont été remontés respectivement 7 fois et 3 fois.

La même fumure minérale complète a été apportée à tous les pots en trois fractions (cf. fumure en annexe 4). Néanmoins, le sol ferrallitique étant connu pour son pouvoir de fixer des quantités élevées de phosphate, nous l'avons préalablement mélangé avec l'équivalent de 7 tonnes de  $P_2O_5$ /ha sous forme de superphosphate

\* Les cases vides du plan de la serre correspondent à l'imbrication d'une autre expérimentation conduite en même temps, et dont les résultats ont fait l'objet d'un rapport précédent (cf. rapport de convention n° 13, L'Huillier L. et Edighoffer S., 1992).

triple en granulés titrant 46 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (29,5 g/pot) (basés d'après les résultats du rapport de convention n° 14 de Gourdon *et al.*, 1992).

De plus, la quantité d'ions SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> apportée par la dose de NiSO<sub>4</sub>, a été corrigé par des apports de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> au niveau des témoins. La quantité d'azote apportée par (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a été elle-même corrigée par des apports de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (cf. annexe 4). Ainsi, les quantités d'azote et de sulfate étaient les mêmes pour tous les pots de chaque essai.

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur la nature et les dates des principales interventions réalisées en cours d'expérimentation :

Tableau 2. Nature et dates des principales interventions.

Interventions	dates	
	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Préparation des sols, avec mélange de la fumure organique (sous forme de granulés broyés), et du superphosphate pour le sol ferrallitique	4/03/91	15/04/91
Mise en place du système d'irrigation, et mise à la capacité au champ des pots	11/03/91	19/04/91
Application de la dose de NiSO <sub>4</sub>	15/03/91	7/05/91
Germination des grains à l'étuve	2/04/91	14/05/91
Semis	3/04/91	15/05/91
Application des fumures correctrices	2/04/91	17/05/91
Application des fumures complètes:		
semis	2/04/91	17/05/91
10 <sup>ème</sup> jour	12/04/91	27/05/91
20 <sup>ème</sup> jour	22/04/91	5/06/91
Traitement insecticide avec de la deltaméthrine	9/04/91	25/05/91
Récolte	6/05/91	20/06/91

Les deux essais se sont rapidement succédés, si bien que les données climatiques furent très proches dans les deux cas (cf. annexe 5) : en effet, les températures moyennes étaient pratiquement les mêmes.

A la récolte, des échantillons de tiges et feuilles, de percolats et de sols ont été constitués pour être analysés par le Laboratoire Central d'Analyses du Centre. Par la suite, les résultats de ces analyses ont été traités statistiquement par un programme informatique du laboratoire.

### 3. RESULTATS DES OBSERVATIONS ET DES MESURES

Nous avons reporté en annexe les tableaux récapitulatifs des analyses de variance des résultats expérimentaux des deux essais (cf. annexes 6 et 7).

Les données de la plupart des paramètres influencés de façon significative sont, par contre, présentées ici sous forme de tableaux, de même que les paramètres influencés de façon sensible sans être significative.

## PARTIE I

### INFLUENCE DE LA FUMURE ORGANIQUE

#### 1. Sur le sol d'alluvion

##### 1.1. Résultats : sans addition de nickel

La fumure organique a engendré quelques effets significatifs, principalement sur la croissance (cf. tableau 3), et de nombreux effets non significatifs mais tout de même importants (cf. tableau 4) :

**Tableau 3. Paramètres influencés significativement par l'apport de la fumure organique sur le sol alluvial, sans addition de nickel**

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		sans fumure	avec fumure	sans fumure	avec fumure
ETPh5	ml/h	0,99	0,80		
ETPh16	ml/h			2,69	2,22
PRac36	g			3,64	2,36
PKTF36	g/plt			0,77	0,88
Mg/CaTF36	-			1,94	1,79
CEC	még%	15,95	15,02		

**Tableau 4. Paramètres influencés sensiblement par l'apport de la fumure organique sur le sol alluvial, sans addition de nickel**

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
<b>Action sur la croissance :</b>	avec fumure organique, les paramètres suivants sont plus faibles : ETPh et hauteur > 23 <sup>ème</sup> jour, poids sec des tiges et feuilles et des racines ; les suivants sont plus élevés : apparition de gley dans l'horizon inférieur du sol alluvial ;	avec fumure organique, il y a une diminution du poids sec des plants à la récolte ;
<b>Dans tiges et feuilles :</b>	la fumure a favorisé une augmentation des teneurs en Ca, Mg, Cl, Fe et surtout Mn ;	la fumure a favorisé une augmentation des teneurs en P, K, Ca, Na, Fe et Mn ;
<b>Dans les percolats :</b>	la fumure a augmenté la conductivité, le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, PO <sub>4</sub> , K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Ni et SiO <sub>2</sub> ;	la fumure a augmenté les teneurs en Cl, NO <sub>3</sub> , K, Ca, Mg, Na, Ni et surtout Mn.
<b>Au niveau du sol :</b>	la fumure a augmenté le pF <sub>2,5</sub> , les pHeau et KCl, Ca et K échangeables, le P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable et le Ni extractible (par le DTPA à pH 5,3).	-

## 1.2. Résultats : avec addition de nickel

La fumure organique a engendré de nombreux effets significatifs (cf. tableau 5), ou presque significatifs (cf. tableau 6) :

Tableau 5. Paramètres influencés significativement par l'apport de la fumure organique sur le sol alluvial, avec addition de nickel

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		sans fumure	avec fumure	sans fumure	avec fumure
ETPh5	ml/h	0,92	0,76		
ETPh16	ml/h			1,87	2,27
ETPh19	ml/h			1,59	2,13
ETPh21	ml/h			1,88	2,82
ETPh23	ml/h			1,75	2,50
ETPh28	ml/h			3,61	4,86
ETPh30	ml/h			3,55	5,22
H30	cm			27,60	33,03
H33	cm			32,92	40,16
H36	cm			38,92	48,33
HT36	cm			121,83	146,21
PTF36	g			8,14	15,27
PRac36	g			1,30	2,33
PP36	g			9,44	17,60
PCITF33	g/plt	0,08	0,10		
CEC	méc%	15,85	15,36		

Tableau 6. Paramètres influencés sensiblement par l'apport de la fumure organique sur le sol alluvial, avec addition de nickel

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	en présence de la fumure organique, les paramètres suivants sont plus faibles : ETPh et hauteur > 23 <sup>ème</sup> jour, poids de matière sèche des tiges et feuilles, et des racines à la récolte ; en outre, la fumure a favorisé l'apparition de gley dans l'horizon inférieur du sol alluvial ;	(effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	avec la fumure, les teneurs en P, Ca, Mg, Cl, Fe et Mn sont plus élevées ; et la teneur en Ni est plus faible ;	avec la fumure, les teneurs en Si, N, K, Ca, Mg, Na, Fe, Al, Mn et Ni sont plus faibles ;
Dans les percolats :	la fumure a augmenté la conductivité, le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, Ca, Mg, Na, Fe, Mn et SiO <sub>2</sub> ;	la fumure a entraîné une augmentation de la teneur en Fe, et une diminution du pH, des teneurs en HCO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> et SiO <sub>2</sub> ;
Au niveau du sol :	la fumure a augmenté le pF <sub>2,5</sub> et le P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable ;	-

### 1.3. Discussion

La fumure organique appliquée sur le sol alluvial, que ce soit avec ou sans nickel, a eu un effet néfaste sur la croissance des plants de maïs lors du premier essai, avec notamment une diminution de l'évapotranspiration et des différentes valeurs de biomasse (hauteurs, poids secs ; cf. tableaux 6.11 et 6.12, p. 85-86). A la suite du démontage des pots du premier essai, nous avons constaté presque systématiquement, et uniquement dans ce cas, une apparition de gley dans l'horizon inférieur des pots contenant le sol d'alluvions et la fumure organique. Cette dernière, combinée à un débit probablement trop important de l'eau percolant dans le sol d'alluvions, pourraient être à l'origine d'une asphyxie racinaire ayant entraîné cette baisse de croissance.

Lors du deuxième essai, une irrigation mieux contrôlée a permis d'éliminer ce problème. Ainsi, sans addition de nickel, les différences de croissance sont très faibles, ce qui ne fait que confirmer le caractère fertile du sol alluvial et le bon dosage de la fumure minérale complète (cf. annexe 4). En présence de la dose toxique de nickel dans le deuxième essai, la croissance est beaucoup plus faible que sans nickel. Cependant, l'apport de la fumure organique dans ce cas améliore fortement la croissance des plants (le poids sec des plants à la récolte, par exemple, passe de 9,44 g à 17,60 g ; cf. tableau 5), et laisse entrevoir une action bénéfique de la fumure lorsque le nickel est en excès dans le milieu, en atténuant son effet toxique.

L'effet global de la fumure sur les teneurs en éléments dans les tiges et feuilles a été le même dans les deux essais : on note une augmentation des teneurs de la plupart des éléments minéraux, surtout en manganèse, ce qui n'est pas étonnant en regard de la composition minérale de la fumure (cf. annexe 2), et de la baisse de la taille des plants favorisant la concentration des éléments. La formation de gley a pu favoriser une augmentation de l'absorption du manganèse en favorisant l'apparition de conditions réductrices propices à la formation de manganèse assimilable.

En présence de la dose supplémentaire de nickel dans le deuxième essai, on constate cependant une diminution des teneurs de plusieurs éléments, dont le nickel, avec l'apport de la fumure organique. On peut raisonnablement attribuer cette diminution à la taille des plants, plus grande avec la fumure dans ce cas là. Par ailleurs, l'amélioration de la croissance dans ce cas est probablement liée directement à la baisse de la teneur en nickel dans les tiges et feuilles (de 59 à 49 ppm), c'est à dire à une baisse de la toxicité, puisqu'on se situe au delà de 30 ppm, teneur définie comme seuil toxique (cf. rapport de convention n°13 de L'Huillier L. et Sylvie Edighoffer, 1992). On peut apporter au moins deux explications à cette baisse de la teneur en nickel dans les tiges et feuilles : d'une part la fumure apporte assez de matière organique pour fixer le nickel et le rendre ainsi moins assimilable, d'autre part elle apporte une quantité suffisante et une qualité d'éléments minéraux, en particulier du calcium et du magnésium, susceptibles d'entrer en compétition avec le nickel au niveau de son absorption racinaire (on constate en effet dans les percolats que les teneurs en Ni sont de 1 méq/l environ et que les teneurs en Ca + Mg apportés par la fumure organique sont de 5 méq/l environ ; cf. tableau 7.14, p. 106). Parallèlement à la diminution des teneurs de plusieurs éléments citée plus haut, on constate une augmentation des quantités immobilisées de tous les éléments avec l'apport de la fumure, ce qui est logique en regard de l'augmentation du poids des plants.

Pourtant, les éléments qui suivent ont été davantage immobilisés dans les tiges et feuilles par différence (avec et sans fumure) que la fumure n'en a apporté (cf. annexe 2) : N, K, Mg, Na et Ni. Il paraît probable que le métabolisme général de la plante, et ses systèmes d'absorption en particulier, aient été en partie libérés par la baisse de la toxicité due au nickel, favorisant alors une absorption accrue de ces éléments. Par contre, pour P, Ca et Mn, les quantités apportées par la fumure sont supérieures à celles immobilisées par différence (avec et sans fumure) : cela pourrait correspondre à un antagonisme d'absorption entre Ni et ces éléments. Pour P et Ca, il est probable qu'ils existent dans la fumure sous des formes peu assimilables car peu solubles. Un antagonisme entre P, Ca et Ni n'est donc pas évident. Pour Mn, on peut constater dans le premier essai que toute la quantité de Mn apportée par la fumure est consommée, ce qui atteste de son extrême assimilabilité. L'antagonisme entre Ni et Mn serait donc fondé, d'autant plus que cela a déjà été observé précédemment (cf. rapport de convention n°13 de L'Huillier L. et Sylvie Edighoffer, 1992).

Au niveau des percolats et du sol, avec ou sans addition de nickel, l'apport de fumure organique a entraîné une augmentation des teneurs en de nombreux éléments, la plupart provenant de la fumure elle-même (cf. annexe 2). Les caractéristiques physiques du sol n'ont pratiquement pas changé en présence de la fumure, ce qui laisse penser qu'elle est composée essentiellement d'éléments minéraux et de peu d'éléments organiques.

## 2. Sur le sol ferrallitique

### 2.1. Résultats : sans addition de nickel

La fumure organique a engendré de nombreux effets significatifs (cf. tableau 7), ou presque significatifs (cf. tableau 8) :

Tableau 7. Paramètres influencés significativement par l'apport de la fumure organique sur le sol ferrallitique, sans addition de nickel

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		sans fumure	avec fumure	sans fumure	avec fumure
ETPh21	ml/h			2,65	3,30
ETPh28	ml/h			5,75	7,16
ETPh30	ml/h			6,10	8,10
ETPh33	ml/h			7,72	9,99
ETPh36	ml/h			10,24	14,07
H30	cm			34,22	39,92
H33	cm			44,34	52,11
H36	cm			55,73	65,46
HT36	cm			157,29	171,08
PTF36	g			14,72	20,85
PP36	g			15,62	22,11
TCITF33	%	0,32	0,40		

Tableau 8. Paramètres influencés sensiblement par l'apport de la fumure organique sur le sol ferrallitique, sans addition de nickel

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	l'addition de la fumure organique a engendré une légère augmentation du poids frais des tiges et feuilles à la récolte ;	en présence de la fumure, le poids de matière sèche des racines à la récolte est plus élevé ;
Dans tiges et feuilles :	la fumure a favorisé une augmentation des teneurs en N, P, K, Fe, Mn et Ni ;	la fumure a favorisé une augmentation des teneurs en K et Mn, et une diminution de la teneur en P ;
Dans les percolats :	la fumure a augmenté les teneurs en Cl, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Na et Mn ;	la fumure a entraîné une augmentation de la conductivité, du pH, des teneurs en HCO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> , Ca, Mg, Na et Mn, et une diminution des teneurs en Cl, PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , K, Fe et Ni ;
Au niveau du sol :	la fumure a augmenté le pF <sub>2,5</sub> , les teneurs en azote total, en K, Ca, Mg, et Na échangeables ;	-

## 2.2. Résultats : avec addition de nickel

La fumure organique a engendré quelques effets significatifs (cf. tableau 9), et de nombreux effets non significatifs mais tout de même importants (cf. tableau 10) :

Tableau 9. Paramètres influencés significativement par l'apport de la fumure organique sur le sol ferrallitique, avec addition de nickel

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		sans fumure	avec fumure	sans fumure	avec fumure
ETPh5	ml/h	1,21	0,97		
H30	cm			23,37	28,49
H33	cm			28,25	30,93
Dérac35	-			2,38	2,87
TCIPer36	még/l			0,37	0,46
TMnPer36	mg/l			2,03	11,16
TSiO <sub>2</sub> Per36	mg/l			15,17	21,08

Tableau 10. Paramètres influencés sensiblement par l'apport de la fumure organique sur le sol ferrallitique, avec addition de nickel

1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	en présence de la fumure organique, la hauteur des plants au 33 <sup>ème</sup> jour est plus élevée ;	en présence de la fumure organique, le poids de matière sèche des tiges et feuilles est plus élevé ;
Dans tiges et feuilles :	la fumure a favorisé une augmentation des teneurs en N, P, K, Na, Fe et Ni ;	la fumure a favorisé une diminution des teneurs en Si, N, P, Ca, Mg, Na, Fe, Cu et Zn, et une augmentation de la teneur en nickel ;
Dans les percolats :	la fumure a augmenté les teneurs en Cl, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Na, Fe et Mn et diminué la conductivité, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Ca et Mg ;	la fumure a augmenté les teneurs en NO <sub>3</sub> , K, Ca, Mg, Na, Fe, Ni et SiO <sub>2</sub> , et diminué les teneurs en PO <sub>4</sub> et NH <sub>4</sub> ;
Au niveau du sol :	la fumure a augmenté la teneur en azote total et en sodium échangeable ;	la fumure a augmenté les teneurs en K et Na échangeables.

## 2.3. Discussion

La fumure organique appliquée sur le sol ferrallitique a eu un effet bénéfique sur la croissance des plants de maïs, grâce à la quantité d'éléments nutritifs qu'elle apporte (cf. annexe 2), mettant une nouvelle fois l'accent sur la nécessité de fertiliser fortement ces types de sol connus pour être chimiquement très pauvres. Toutefois, en présence de la dose toxique de nickel dans le deuxième essai, la fumure organique n'améliore que très peu la croissance : la dose de nickel (329 ppm) ajoutée au nickel présent naturellement dans le sol ferrallitique (environ 5000 ppm) fût

probablement trop élevée pour permettre à la fumure de s'exprimer (la croissance est en effet très faible en présence de nickel dans le deuxième essai : les poids sec des plants à la récolte passent de 20 g sans nickel à 5 g avec nickel environ).

Au niveau des tiges et feuilles, d'une façon générale, la fumure organique a entraîné une augmentation des teneurs en beaucoup d'éléments, surtout en éléments majeurs, certainement apportés par la fumure elle-même.

Cependant, en présence de la dose toxique de nickel dans le deuxième essai, la fumure a eu peu d'effets, la diminution de l'absorption de quelques éléments ayant même été observée. Il est probable que la teneur excessive en nickel dans les tiges et feuilles (241 ppm avec la fumure) ait limité l'absorption de plusieurs éléments en ralentissant le métabolisme général de la plante et ses systèmes d'absorption.

L'apport de la fumure organique dans le deuxième essai, en présence de nickel, a même entraîné une augmentation de la teneur en nickel dans les tiges et feuilles alors que le poids des plants est sensiblement supérieur. Cette augmentation de la teneur en Ni ne peut être attribuée que partiellement à la faible quantité de nickel apportée par la fumure (37,8 µg/pot, pour une immobilisation en nickel de 360 µg/plt ; cf. tableau 7.13, p. 105). La très faible variation du pH des percolats et du sol ne semble pas non plus pouvoir expliquer l'augmentation de cette teneur. Il est plus probable que certains éléments minéraux apportés par la fumure en quantité importante, comme le calcium (cf. annexe 2), aient pu déplacer une fraction de la forte quantité de nickel présente initialement dans le sol ferrallitique le rendant ainsi plus assimilable. L'influence d'éléments minéraux sur la solubilisation du nickel présent dans le sol a d'ailleurs déjà été noté lors d'un rapport précédent (L'Huillier L. et S. Edighoffer, rapport de convention n°13, 1992), et le problème pourrait se poser de façon significative dans les sols ferrallitiques quand on sait les teneurs élevées en métaux qu'ils contiennent.

La fumure organique semble agir de la même manière sur le manganèse : l'apport de la fumure, dans le deuxième essai, entraîne une augmentation de la teneur en manganèse dans les tiges et feuilles alors que le poids des plants augmente aussi. Il est probable que cet élément soit déplacé de ces sites de fixation par l'apport de la fumure, comme c'est le cas pour le nickel, et qu'il devienne plus assimilable en étant davantage solubilisé (Le paragraphe suivant nous éclaire un peu plus à ce sujet).

Au niveau des percolats et du sol, l'apport de la fumure entraîne des augmentations de teneurs en de nombreux éléments, apportés certainement par la fumure elle-même. Toutefois le cas du manganèse est différent. L'augmentation de sa teneur dans les percolats du deuxième essai, en présence de nickel (cf. tableau 7.14, p. 106), est en effet trop forte ( de 2,03 à 11,16 mg/l) pour être due à la quantité apportée par la fumure (0,61 mg/pot, cf. annexe 2). Ce manganèse provient donc du sol ferrallitique, et il apparaît ainsi comme un élément très mobile pouvant être déplacé de ses sites de fixation lorsque la solution du sol est concentrée en éléments (les cations par compétition et répulsion ionique, les anions par attraction ionique). Le paragraphe 4 en page 35 s'étend davantage sur le sujet.

La diminution de la teneur en PO<sub>4</sub> dans les percolats est probablement due à l'augmentation du pH, provoquée par l'apport de la fumure, diminuant sa solubilité. La teneur en NH<sub>4</sub> diminue elle aussi en présence de la fumure : celle-ci étant d'origine organique, elle contient certainement des micro-organismes favorisant la nitrification.



## PARTIE II

### COMPARAISON DES DEUX SOLS

#### 1. Résultats

##### 1.1. Sans nickel, sans fumure organique

Tableau 11. Paramètres influencés significativement par la différence des deux types de sol, sans addition de nickel, sans fumure organique

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		Sol	Sol	Sol	Sol
		alluvial ferrallitique		alluvial ferrallitique	
ETPh16	ml/h			2,69	2,14
ETPh19	ml/h			2,65	1,62
ETPh21	ml/h			3,69	2,65
ETPh23	ml/h			3,58	2,54
ETPh30	ml/h			7,51	6,10
H30	cm			43,22	34,22
H33	cm			56,34	44,34
H36	cm			68,07	55,73
HT36	cm			176,50	157,29
PTF36	g			23,57	14,72
PRac36	g			3,64	0,90
PCITF33	g/plt	0,11	0,14		
PCaTF36	g/plt			0,09	0,12
PMnTF36	mg/plt			1,97	3,59
CEC	még%	15,95	3,14		

Tableau 12. Paramètres influencés sensiblement par la différence des deux types de sol, sans addition de nickel, sans fumure organique

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	sur le sol ferrallitique, l'ETPh et la hauteur > 9 <sup>ème</sup> jour, et les poids secs des tiges et feuilles et des racines sont plus élevés que sur le sol alluvial ;	(effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	sur le sol ferrallitique, les teneurs en P, Ca, Mg, Fe, Ni, Cr, Co et surtout en Mn sont plus élevées que sur le sol alluvial, alors que les teneurs en Si et K sont plus faibles ;	sur le sol ferrallitique, les teneurs en P, Ca, Mg, Na, Fe, Ni, Cr, Co, Cu, Zn et surtout Mn sont plus fortes, alors que les teneurs en Si et K sont plus faibles ;
Dans les percolats :	conductivité, teneurs en SO <sub>4</sub> , Ca, Fe, Mn, Ni et Cr sont plus élevées dans le sol ferrallitique, alors que pH, teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Mg, Na et SiO <sub>2</sub> sont plus faibles ;	la conductivité, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, NO <sub>3</sub> , Ca, Fe et Mn sont plus élevées dans le sol ferrallitique, les teneurs en SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Mg, NH <sub>4</sub> et SiO <sub>2</sub> sont plus faibles ;
Au niveau du sol :	pF <sub>2,5</sub> , 3,0 et 4,2, pH KCl, conductivité et P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable sont plus élevés dans le sol ferrallitique, alors que pH H <sub>2</sub> O, CT et NT, K, Ca, Mg et Na échangeables et Ni extractible sont plus faibles ;	les teneurs en K, Ca, Mg et Na échangeables, la CEC et la teneur en nickel extractible sont inférieures dans le sol ferrallitique.

## 1.2. Sans nickel, avec fumure organique

La fumure organique a engendré quelques effets significatifs (cf. tableau 13), et de nombreux effets non significatifs mais tout de même importants (cf. tableau 14) :

Tableau 13. Paramètres influencés significativement par la différence des deux types de sol, sans addition de nickel, avec fumure organique

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		Sol alluvial	Sol ferrallitique	Sol alluvial	Sol ferrallitique
ETPh28	ml/h			5,75	7,16
ETPh33	ml/h			7,63	9,99
PRac36	g			2,36	1,26
PCITF33	g/plt	0,10	0,18		
PCaTF36	g/plt			0,09	0,17
PMgTF36	g/plt			0,09	0,12
PMnTF36	mg/plt			2,21	5,57
CEC	még%	15,02	3,43		

Tableau 14. Paramètres influencés sensiblement par la différence des deux types de sol, sans addition de nickel, avec fumure organique

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	sur le sol ferrallitique, l'ETPh et la hauteur des plants à partir du 12 <sup>ème</sup> jour, et les poids de matière sèche des tiges et feuilles et des racines à la récolte sont plus élevés que sur le sol alluvial; on observe l'apparition de gley dans l'horizon inférieur du sol alluvial ;	(effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	sur le sol ferrallitique, les teneurs en N, P, Ca, Fe, Ni, Cr, Co, Cu, Zn et surtout en Mn sont plus élevées que sur le sol alluvial, alors que les teneurs en Si, K et Na sont plus faibles ;	sur le sol ferrallitique, les teneurs en P, Ca, Mg, Fe, Co, Cu et surtout Mn sont plus fortes, alors que les teneurs en Si et K sont plus faibles ;
Dans les percolats :	la conductivité, les teneurs en SO <sub>4</sub> , Ca, Mn et Cr sont plus élevées dans le sol ferrallitique, alors que le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Mg, Na, Fe, Ni et SiO <sub>2</sub> sont plus faibles ;	la conductivité, le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> , Ca, Co et Mn sont plus élevées dans le sol ferrallitique, les teneurs en Cl, SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Mg, NH <sub>4</sub> , Fe, Ni et SiO <sub>2</sub> sont plus faibles ;
Au niveau du sol :	les pF <sub>2,5</sub> , 3,0 et 4,2, la conductivité et le P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable sont plus élevés dans le sol ferrallitique, alors que le pH H <sub>2</sub> O, l'azote total, le K, Ca, Mg et Na échangeables et le nickel extractible sont plus faibles ;	le pH KCl est plus fort dans le sol ferrallitique, les teneurs en K, Ca, Mg et Na échangeables, la CEC et la teneur en nickel extractible sont plus faibles.

### 1.3. Avec nickel, sans fumure organique

La fumure organique a engendré quelques effets significatifs (cf. tableau 15), et de nombreux effets non significatifs mais tout de même importants (cf. tableau 16) :

Tableau 15. Paramètres influencés significativement par la différence des deux types de sol, avec addition de nickel, sans fumure organique

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		Sol alluvial	Sol ferrallitique	Sol alluvial	Sol ferrallitique
ETPh5	ml/h	0,92	1,21		
ETPh30	ml/h			3,55	2,09
ETPh36	ml/h			5,89	2,88
H30	cm			27,60	23,37
H33	cm			32,92	28,25
H36	cm			38,92	31,79
Dérac35	-			1,45	2,38
PTF36	g			8,14	4,21
PCITF33	g/plt	0,08	0,13		
CEC	mécq%	15,85	3,61		

Tableau 16. Paramètres influencés sensiblement par la différence des deux types de sol, avec addition de nickel, sans fumure organique

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	sur le sol ferrallitique, l'ETPh et la hauteur des plants à partir du 21 <sup>ème</sup> jour, et les poids de matière sèche des racines et des plants à la récolte sont plus élevés que sur le sol alluvial ;	( effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	sur le sol ferrallitique, les teneurs en P, Ca, Cl, Fe, Cr, Co, Cu, Zn et surtout en Mn sont plus élevées que sur le sol alluvial, alors que les teneurs en Si, K, Na et Ni sont plus faibles ;	sur le sol ferrallitique, les teneurs en P, Ca, Na, Cr, Co et surtout en Ni et Mn sont plus fortes, alors que les teneurs en Si, K, Mg, Al et Zn sont plus faibles ;
Dans les percolats :	la conductivité, les teneurs en SO <sub>4</sub> , Ca et Cr sont plus élevées dans le sol ferrallitique, alors que les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Mg, Fe, Ni et SiO <sub>2</sub> sont plus faibles ;	les teneurs en Cl, NO <sub>3</sub> , Ca, Co et surtout Mn sont plus élevées dans le sol ferrallitique, alors que le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , Mg, Na, Ni et SiO <sub>2</sub> sont plus faibles ;
Au niveau du sol :	les pF <sub>2,5</sub> , 3,0 et 4,2, le pH KCl, la conductivité et le P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable sont plus élevés dans le sol ferrallitique, alors que le pH H <sub>2</sub> O, l'azote total, le K, Ca, Mg et Na échangeables, la CEC et le nickel extractible sont plus faibles ;	le pH KCl est plus fort dans le sol ferrallitique, les teneurs en K, Ca, Mg et Na échangeables, la CEC et la teneur en nickel extractible sont plus faibles.

#### 1.4. Avec nickel, avec fumure organique

Tableau 17. Paramètres influencés significativement par la différence des deux types de sol, avec addition de nickel, avec fumure organique

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		Sol alluvial	Sol ferrallitique	Sol alluvial	Sol ferrallitique
ETPh5	ml/h	0,76	0,97		
ETPh12	ml/h			1,71	1,29
ETPh21	ml/h			2,82	1,84
ETPh23	ml/h			2,50	1,60
ETPh28	ml/h			4,86	2,53
ETPh30	ml/h			5,22	2,26
ETPh33	ml/h			5,87	2,31
H30	cm			33,03	28,49
H33	cm			40,16	30,93
H36	cm			48,33	32,48
HT36	cm			146,21	93,46
PTF36	g			15,27	5,34
PRac36	g			2,33	0,29
PP36	g			17,60	5,63
PCITF33	g/plt	0,10	0,15		
TSiO <sub>2</sub> Per36	mg/l			26,83	21,08
CEC	még%	15,36	3,44		

Tableau 18. Paramètres influencés sensiblement par la différence des deux types de sol, avec addition de nickel, avec fumure organique

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
<b>Action sur la croissance :</b>	sur le sol ferrallitique, l'ETPh > 5 <sup>ème</sup> jour, la hauteur des plants > 19 <sup>e</sup> jour, et les poids secs des tiges et feuilles et des plants à la récolte sont plus élevés que sur le sol alluvial; on observe l'apparition de gley dans l'horizon inférieur du sol alluvial ;	les chloroses et les déracinements sont plus importants sur le sol ferrallitique ;
<b>Dans tiges et feuilles :</b>	sur le sol ferrallitique, les teneurs en N, P, Ca, Cr, Co, Cu, Zn et surtout en Mn sont plus élevées que sur le sol alluvial, alors que les teneurs en Si et K sont plus faibles ;	sur le sol ferrallitique, les teneurs en P, Ca, Cr, Co et surtout en Ni et Mn sont plus fortes, alors que les teneurs en Si, K, Mg, Al et Zn sont plus faibles ;
<b>Dans les percolats :</b>	la conductivité, les teneurs en SO <sub>4</sub> , Ca, Fe et Cr sont plus élevées dans le sol ferrallitique, alors que le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Mg, Na, SiO <sub>2</sub> , Mn et surtout en Ni sont plus faibles ;	la conductivité, les teneurs en Cl, NO <sub>3</sub> , K, Ca, Cr, Co et surtout Mn sont plus élevées dans le sol ferrallitique, alors que le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , Mg, NH <sub>4</sub> et SiO <sub>2</sub> sont plus faibles ;
<b>Au niveau du sol :</b>	les pF <sub>2,5</sub> , 3,0 et 4,2, la conductivité et le P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable sont plus élevés dans le sol ferrallitique, alors que le pH H <sub>2</sub> O, le carbone et l'azote total, le K, Ca, Mg et Na échangeables, la CEC et le nickel extractible sont plus faibles ;	dans le sol ferrallitique, le pH KCl est plus élevé ; le pHeau, les teneurs en K, Ca, Mg et Na échangeables, la CEC et la teneur en nickel extractible sont plus faibles.

## 2. Discussion

Dans le premier essai, la croissance des plants a été globalement meilleure sur le sol ferrallitique que sur le sol alluvial. Ceci est principalement dû aux problèmes d'asphyxies rencontrés lors du premier essai sur le sol alluvial (cf. paragraphe 1.3., page 17).

Dans le deuxième essai, sans nickel et sans fumure organique (tableau 11), une irrigation mieux contrôlée a permis d'éliminer tout problème d'asphyxie et les plants de maïs ont eu une meilleure croissance sur le sol d'alluvions (le poids sec des plants à la récolte, par exemple, est de 27,2 g sur le sol alluvial et de 15,6 g sur le sol ferrallitique). Le fait d'apporter la fumure organique, sans addition de nickel (tableau 13), annule quasiment ces différences, ce qui montre que l'on peut convenablement mettre en valeur les sols ferrallitiques à condition de les fertiliser fortement.

En présence de nickel dans le deuxième essai (tableaux 15 à 18), la croissance des plants sur le sol ferrallitique est très inférieure à celle sur le sol alluvial : il paraît probable que la dose de Ni (329 ppm) ajoutée au Ni présent naturellement dans le sol ferrallitique (environ 5000 ppm) soit beaucoup plus toxique que sur le sol alluvial (157 ppm de Ni). Il est aussi possible que le nickel ajouté soit moins fixé sur la capacité d'échange cationique dans le cas du sol ferrallitique (puisque celle-ci est presque nulle), par conséquent plus assimilable et plus toxique. L'observation des teneurs en nickel dans les tiges et feuilles, dans le paragraphe suivant, nous donne une preuve de cette toxicité supérieure sur le sol ferrallitique.

D'une manière quasi-générale, les différences des teneurs en éléments dans les tiges et feuilles entre les deux sols sont les mêmes, que ce soit avec ou sans nickel, et avec ou sans fumure organique : les tiges et feuilles des plants ayant poussé sur sol ferrallitique ont des teneurs en P, Ca, Fe, Co, Cr, Mn et Ni plus élevées, et des teneurs en Si et K plus faibles. Les teneurs légèrement plus fortes en P et surtout en Ca sont dues à l'amendement de phosphate supertriple (29,5 g/pot) titrant 46 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 40 % de CaO : la dose de 29,5 g/pot, soit 7 t/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, est donc justifiée étant données les teneurs normales en P dans les tiges et feuilles sur sol ferrallitique. Les fortes teneurs en oligo-éléments (Fe, Co, Cr, Mn et Ni) dans les tiges et feuilles sur sol ferrallitique sont dues aux teneurs élevées présentes initialement dans ce sol : les teneurs en fer et en nickel dans les tiges et feuilles sur les pots témoins (sol ferrallitique sans nickel et sans fumure organique) sont à un niveau normal, non toxique (rappelons que le nickel est toxique au delà de 30 ppm pour le maïs ; cf. rapport de convention n°13, L'Huillier L. et Sylvie Edighoffer, 1992). Les teneurs en cobalt et en chrome semblent faibles, même s'il reste tout de même nécessaire de définir leurs seuils de toxicité. Quant au manganèse, la littérature indique que sa teneur normale dans le maïs est située entre 25 et 300 ppm environ pour des plants entiers de maïs de taille inférieure à 30 cm (Taureau *et al.*, 1989). Or, on peut remarquer que la teneur en Mn dans les tiges et feuilles sur sol ferrallitique témoin (sans nickel, sans fumure organique) est proche de 150 ppm dans le premier essai et de 240 ppm dans le second (les différences entre les deux essais sont discutées dans le paragraphe 4, p. 35). Ces teneurs semblent donc proches d'un niveau toxique - même si le seuil de toxicité du manganèse doit être précisé -, d'autant plus que la taille des plants témoins des deux essais est beaucoup plus grande que 30 cm (environ 160 à 190 cm) laissant penser à une dilution plus importante des éléments.

Par ailleurs, il semblerait qu'il soit possible de rencontrer des teneurs en manganèse dans les tiges et feuilles encore plus élevées, car la teneur en  $MnO_2$  dans le sol ferrallitique de l'essai est de 0,35 % alors que la teneur moyenne dans ces types de sol varie de 0,3 à 1 %.

Au niveau des percolats, on peut noter quelques différences entre les deux sols : les teneurs en Ca, Mn, Cr et Co sont plus fortes sur le sol ferrallitique : les fortes teneurs en Ca sont dues à l'amendement supertriple, et celles en oligo-éléments sont dues aux fortes teneurs présentes initialement dans le sol (cf. annexe 1) ; par contre, les teneurs en  $PO_4$ , K, Mg, Na et  $SiO_2$  sont plus faibles : les faibles teneurs en K, Mg et  $SiO_2$  en particulier sont assez caractéristiques des sols ferrallitiques, de même que le pouvoir de rétention extrêmement élevée vis à vis du phosphore réduisant d'autant sa solubilisation.

Au niveau des paramètres du sol, les différences entre les deux types de sol sont nettes : les pF 2,5, 3,0 et 4,2, le pHKCl et le  $P_2O_5$  assimilable sont plus élevés dans le sol ferrallitique, alors que le pHeau, le CT et NT, les bases échangeables, la CEC et le Ni extractible sont plus faibles. Nous ne nous étendons pas sur les caractéristiques physico-chimiques des sols ferrallitiques qui sont bien connues. Toutefois, ce dernier paramètre est intéressant et va à l'encontre des teneurs en nickel dans les tiges et feuilles qui sont plus fortes sur ce type de sol que sur alluvions. L'extraction au DTPA ne semble donc pas assez forte sur sol ferrallitique, et met en tout cas en évidence le caractère relativement "immobile" du nickel dans ces types de sol (cf. paragraphe 4, p. 35).

## PARTIE III

### EFFETS DE L'ADDITION DU NICKEL

#### 1. Résultats

##### 1.1. Sur le sol d'alluvions, sans fumure organique

Tableau 19. Paramètres influencés significativement par l'addition de nickel, sur le sol d'alluvions, sans fumure organique

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		sans nickel	avec nickel	sans nickel	avec nickel
ETPh12	ml/h			1,81	1,47
ETPh16	ml/h			2,69	1,87
ETPh19	ml/h			2,65	1,59
ETPh21	ml/h			3,69	1,88
ETPh23	ml/h			3,58	1,75
ETPh28	ml/h			6,05	3,61
ETPh30	ml/h			7,51	3,55
H30	cm			43,22	27,60
H33	cm			56,34	32,92
H36	cm			68,07	38,92
HT36	cm			176,50	121,83
PTF36	g			23,57	8,14
PRac36	g			3,64	1,30
PF36	g			27,21	9,44
TCITF33	%	0,31	0,25		
PCITF33	g/plt	0,11	0,08		
CEC	még%	15,95	15,85		

Tableau 20. Paramètres influencés sensiblement par l'addition de nickel sur le sol d'alluvions, sans fumure organique

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	avec addition de nickel, le poids de matière sèche des tiges et feuilles à la récolte est plus faible que sans nickel ;	(effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	l'addition de nickel a entraîné une augmentation de la teneur en Ni et une diminution de la teneur en P, Fe et Zn ;	l'addition de nickel a entraîné une augmentation des teneurs en Si, K, Ca, Na, Al, Co et surtout en Ni, et une diminution des teneurs en P et Mn ;
Dans les percolats :	avec nickel, les teneurs en NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Fe et surtout Mn et Ni sont plus élevées, alors que la conductivité, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Ca, Mg et Na sont plus faibles;	avec nickel, la conductivité, le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , Ca, Mg, Na et surtout Ni sont plus élevées, alors que les teneurs en PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , Fe et Mn sont plus faibles;
Au niveau du sol :	l'addition de nickel a augmenté la teneur en nickel extractible ;	l'addition de nickel a augmenté la teneur en nickel extractible.

## 1.2. Sur le sol d'alluvions, avec fumure organique

La fumure organique a engendré quelques effets significatifs (cf. tableau 21), et quelques effets non significatifs mais tout de même importants (cf. tableau 22) :

Tableau 21. Paramètres influencés significativement par l'addition de nickel, sur le sol d'alluvions, avec fumure organique

Paramètres unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
	sans nickel	avec nickel	sans nickel	avec nickel
ETPh23 ml/h			3,09	2,50
ETPh30 ml/h			6,96	5,22
H30 cm			42,05	33,03
H33 cm			54,59	40,16
H36 cm			67,27	48,33
HT36 cm			175,33	146,21
PTF36 g			21,75	15,27
PP36 g			24,11	17,60

Tableau 22. Paramètres influencés sensiblement par l'addition de nickel sur le sol d'alluvions, avec fumure organique

1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	-	(effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	l'addition de nickel a entraîné une augmentation de la teneur en Ni et en Fe, une diminution de la teneur en Zn ;	l'addition de nickel a entraîné une augmentation des teneurs en K, Al et surtout en Ni, et une diminution des teneurs en P, Mn et Cu ;
Dans les percolats :	l'addition de nickel a augmenté les teneurs en Fe et surtout Mn et Ni, et diminué les teneurs en SO <sub>4</sub> et PO <sub>4</sub> ;	l'addition de nickel a augmenté la conductivité, le pH, les teneurs en HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , Ca, Mg, Na et surtout Ni, et diminué les teneurs en PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , Mn et SiO <sub>2</sub> ;
Au niveau du sol :	-	l'addition de nickel a augmenté la teneur en K échangeable et surtout en nickel extractible.

### 1.3. Sur le sol ferrallitique, sans fumure organique

La fumure organique a engendré quelques effets significatifs (cf. tableau 23), et quelques effets non significatifs mais tout de même importants (cf. tableau 24) :

Tableau 23. Paramètres influencés significativement par l'addition de nickel, sur le sol ferrallitique, sans fumure organique

Paramètres unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
	sans nickel	avec nickel	sans nickel	avec nickel
ETPh5 ml/h	1,00	1,21		
ETPh21 ml/h			2,65	1,84
ETPh23 ml/h			2,54	1,54
ETPh28 ml/h			5,75	2,48
ETPh30 ml/h			6,10	2,09
H30 cm			34,22	23,37
H33 cm			44,34	28,25
H36 cm			55,73	31,79
HT36 cm			157,29	109,75
PTF36 g			14,72	4,21
PRac36 g			0,90	0,27
PP36 g			15,62	4,48

Tableau 24. Paramètres influencés sensiblement par l'addition de nickel sur le sol ferrallitique, sans fumure organique

1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	-	(effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	l'addition de nickel a entraîné une augmentation de la teneur en Ni, et une diminution de la teneur en P et Zn ;	l'addition de nickel a entraîné une augmentation des teneurs en K, Na et surtout en Ni, et une diminution des teneurs en Mg, Fe, Cu, Zn et Mn ;
Dans les percolats :	l'addition de nickel a augmenté les teneurs en HCO <sub>3</sub> et Na, et diminué les teneurs en NO <sub>3</sub> et Fe ;	l'addition de nickel a augmenté la conductivité, les teneurs en Cl, SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , K, Ca, Mg, Na, NH <sub>4</sub> , Co et surtout en Mn et Ni, et diminué les teneurs en Fe ;
Au niveau du sol :	l'addition de nickel a augmenté les teneurs en Mg échangeables, et la teneur en nickel extractible ;	l'addition de nickel a augmenté la teneur en K échangeable et en nickel extractible.

#### 1.4. Sur le sol ferrallitique, avec fumure organique

La fumure organique a engendré quelques effets significatifs (cf. tableau 25), et de nombreux effets non significatifs mais tout de même importants (cf. tableau 26) :

Tableau 25. Paramètres influencés significativement par l'addition de nickel, sur le sol ferrallitique, avec fumure organique

Paramètres	unités	1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai	
		sans nickel	avec nickel	sans nickel	avec nickel
ETPh12	ml/h			1,67	1,29
ETPh21	ml/h			3,30	1,84
ETPh28	ml/h			7,16	2,53
ETPh30	ml/h			8,10	2,26
ETPh33	ml/h			9,99	2,31
H30	cm			39,92	28,49
H33	cm			52,11	30,93
H36	cm			65,46	32,48
HT36	cm			171,08	93,46
PTF36	g			20,85	5,34
PP36	g			22,11	5,63
PCITF33	g/plt	0,18	0,15		

Tableau 26. Paramètres influencés sensiblement par l'addition de nickel sur le sol ferrallitique, avec fumure organique

1 <sup>er</sup> essai		2 <sup>ème</sup> essai
Action sur la croissance :	-	(effets significatifs)
Dans tiges et feuilles :	l'addition de nickel a entraîné une augmentation de la teneur en Ni ;	l'addition de nickel a entraîné une augmentation des teneurs en K et surtout en Ni, et une diminution des teneurs en Si, N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu et Zn ;
Dans les percolats :	l'addition de nickel a augmenté les teneurs en NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K et Fe, et diminué la conductivité, et les teneurs en HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Ca, Mg et Mn ;	l'addition de nickel a augmenté la conductivité, les teneurs en Cl, SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , K, Ca, Mg, Na, Fe, Co, Cr, SiO <sub>2</sub> et surtout en Ni et Mn, et diminué le pH et les teneurs en HCO <sub>3</sub> et NH <sub>4</sub> ;
Au niveau du sol :	l'addition de nickel a augmenté la teneur en nickel extractible, et diminué les teneurs en K, Mg et Na échangeables ;	l'addition de nickel a augmenté les teneurs en K échangeable, et en nickel extractible, et diminué la teneur en Ca échangeable.

## 2. Discussion

L'effet de la dose supplémentaire de nickel lors du premier essai (20,56 ppm) a été quasiment nul sur la croissance. Par contre, lors du deuxième essai, la dose fût très nettement toxique (329 ppm) entraînant une forte baisse de la croissance des plants (tableaux 19 à 26).

Malgré les variations observées sur les teneurs en éléments dans les tiges et feuilles, ceux-ci restent à un taux normal, et cette baisse de croissance ne semble pas due à une carence en un ou plusieurs éléments. Par contre, les teneurs en nickel dans les tiges et feuilles en présence de la dose de nickel dans le deuxième essai, sont à un niveau suffisamment élevées (de 49 à 241 ppm, suivant le sol et la présence de la fumure organique ; cf. tableau 7.12, p. 104) pour expliquer à elles seules la baisse de croissance pour cause de toxicité (le seuil étant à 30 ppm).

Par ailleurs, même si aucune carence n'a pu être observée, il semble que le nickel puisse influencer l'absorption de plusieurs éléments. C'est le cas pour le phosphore et surtout le manganèse, dont les teneurs diminuent en présence de la forte dose de nickel dans le deuxième essai, et cela dans tous les cas (sur les deux sols, avec ou sans fumure organique). Cette diminution est d'autant plus marquante qu'elle va à l'encontre de la baisse de la taille des plants qui devrait au contraire favoriser une concentration des éléments. Il existerait donc un antagonisme entre l'absorption du nickel et celle du manganèse, et probablement celle du phosphore (cela a déjà été noté auparavant dans un rapport précédent : cf. rapport de convention n°13 de L'Huillier L. et Sylvie Edighoffer, 1992). Lorsque la teneur en Ni dans les tiges et feuilles est très élevée (241 ppm dans le deuxième essai, avec nickel et fumure sur le sol ferrallitique), de très nombreux éléments voient leur teneur diminuer nettement (Si, N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn) alors que le poids des plants diminue aussi. Il paraît probable dans ce cas que la teneur très élevée en Ni dans les tiges et feuilles ait affecté le métabolisme général de la plante en ralentissant ses systèmes d'absorption en particulier. Le potassium, par contre, voit sa teneur augmenter en présence de la dose de nickel : il est possible que son absorption ne soit pas affectée par un excès de Ni, et que l'augmentation de sa teneur soit due à la baisse de la taille des plants.

Au niveau des percolats, dans le deuxième essai, l'addition de nickel a entraîné des augmentations de teneurs de nombreux éléments : NO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na et Ni dans tous les cas, ainsi que K et surtout Mn sur le sol ferrallitique (cf. tableau 7.14, p. 106). Il est probable que les cations aient été déplacés par le nickel, puisque ce dernier atteint 70 méq/pot et que les augmentations de Ca et Mg représentent 10 à 20 méq/pot et moins encore pour Na, K et Mn. Quant à la teneur en NO<sub>3</sub>, c'est probablement comme contre-ion afin de respecter l'électro-neutralité de la solution que sa teneur augmente dans les percolats. Le manganèse dans le sol ferrallitique semble très sensible à de fortes teneurs en nickel dans le milieu : sa teneur dans les percolats passe en effet de 0,7 mg/l environ sans nickel à 2 mg/l en présence de la dose de nickel dans le deuxième essai (sans fumure organique). La quantité totale de Mn dans les percolats correspondant à cette dernière teneur (8,7 mg/pot, soit 0,32 méq/pot) est très inférieure à la quantité de Ni apportée (2072,8 mg/pot, soit 70,61 méq/pot). Il paraît donc possible que le nickel ait déplacé le manganèse en solution.

L'apport de la fumure organique, en présence de Ni dans le deuxième essai, déplace davantage encore Mn en solution : sa teneur dans les percolats passe en effet à plus de 11 mg/l. Le manganèse est donc extrêmement mobile dans les sols ferrallitiques.

En outre, la teneur en manganèse de 11 mg/l est considérée comme toxique quand l'élément est seul en solution (le seuil est à 2,2 g/l ; cf. annexe 8), et il est possible que la teneur correspondante dans les tiges et feuilles (214 ppm) soit légèrement excessive. En effet, la littérature indique que les teneurs normales en manganèse dans les tiges et feuilles de maïs vont de 25 à 300 ppm (Taureau *et al.*, 1989). D'autre part, il ne semble pas y avoir une bonne corrélation entre la teneur en Mn dans les percolats et la teneur en Mn dans les tiges et feuilles, contrairement au Ni (cf. rapport de convention n°13 de L'Huillier L. et Sylvie Edighoffer, 1992), puisque dans le cas où il n'y a pas de nickel dans le deuxième essai, la teneur en manganèse dans les percolats est de l'ordre de 0,7 mg/l "seulement" alors que les teneurs en Mn dans les tiges et feuilles vont de 241 ppm (sans fumure organique) à 269 ppm (avec fumure). Mn existerait donc dans le sol ferrallitique sous une forme relativement disponible.

Au niveau des sols, l'apport de nickel a peu modifié leurs caractéristiques physico-chimiques, si ce n'est les teneurs en Ca échangeable qui diminuent légèrement dans le deuxième essai, ce qui est en accord avec les augmentations des teneurs de cet élément dans les percolats, certainement déplacé par le nickel. Les teneurs en K augmentent légèrement à la fois dans les percolats et dans le sol ferrallitique (K échangeable) : il est probable qu'une fraction du K total contenu dans le sol soit déplacée et mise sur des sites plus échangeables, le rendant aussi plus soluble. En outre, la teneur en nickel extractible a augmenté avec l'apport de nickel, ce qui est logique.

## 4. DISCUSSION GÉNÉRALE SUR LES MÉTAUX

### 4.1. Synthèse bibliographique

Ce paragraphe donne une courte synthèse de ce qui a pu être lu dans la littérature à propos de Ni, Mn, Cr et Co (Bolt, 1978 ; Boyer, 1982 ; Lepp, 1981).

#### *Nickel*

En conditions normales, les teneurs en nickel dans la plupart des végétaux ne dépassent pas 10 ppm (de matière sèche). Les teneurs en nickel total dans les sols varient généralement de 5 à 500 ppm (les sols ferrallitiques de Nouvelle Calédonie ont des teneurs beaucoup plus élevées de l'ordre de 5000 ppm, voire plus de 10 000 ppm).

Sa forme ionique la plus stable étant la forme cationique divalente, le  $Ni^{2+}$  doit s'adsorber fortement sur le complexe d'échange cationique du sol.

L'addition de phosphates dans un sol riche en nickel semble diminuer la toxicité du nickel. La formation de phosphates de nickel peu solubles comme  $Ni_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$  et  $Ni_3(PO_4)_2 \cdot 2NiHPO_4$  induit une diminution importante de la concentration en Ni dans la solution du sol. Les ions silicates jouent probablement aussi un rôle dans la concentration en Ni dans la solution du sol : la formation de minéraux de silicate de nickel peut en effet immobiliser fortement cet élément. Par ailleurs, le nickel est susceptible de chélation fortes avec la matière organique pouvant affecter grandement sa mobilité dans les sols : le complexe Ni-acide fulvique est un des plus stables parmi les différents métaux (l'ordre de stabilité est :  $Cu^{2+} > Fe^{2+} > Al^{3+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > Co^{2+} > Ca^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+} > Mg^{2+}$ ).

Davantage de précisions seront trouvées dans le rapport de convention n°11 (L'Huillier L. et S. Edighoffer, 1991), faisant une synthèse des connaissances sur le nickel.

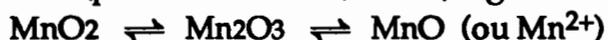
#### *Manganèse*

Le manganèse, métal connu pour engendrer relativement fréquemment autant des problèmes de déficiences que de toxicités, est de ce fait un élément largement étudié et qui fournit le plus d'informations parmi les quatre.

De nombreux auteurs s'accordent pour dire que le manganèse existe dans le sol sous les formes suivantes :

- Mn tétravalent,  $MnO_2$  ;
- Mn trivalent, surtout  $Mn_2O_3$  ;
- Mn bivalent, oxyde  $MnO$ , hydroxyde  $Mn(OH)_2$  ou ion  $Mn^{2+}$ .

En fait, un équilibre, dépendant essentiellement du pH et des conditions d'oxydo-réduction (potentiel redox Eh) du sol, régit les transformations entre ces formes :



Il existe une corrélation nette entre le Mn bivalent et le manganèse assimilable par les plantes à un pH donné. Ainsi, la forme absorbée par les plantes serait le  $Mn^{2+}$ . Le Mn tétravalent n'est pratiquement pas assimilable et le Mn trivalent ne l'est que dans la mesure où il se dissocie en  $MnO$  :



Toute variation de pH provoque des modifications considérables dans l'assimilabilité de Mn : entre pH 5,2 et 4,3, le manganèse assimilable peut passer de 6,3 ppm à 106 ppm. D'une façon générale, la baisse du pH provoque le déplacement vers la droite du premier équilibre précédent (donc favorise la formation de  $Mn^{2+}$ ). La forme  $Mn^{2+}$  est prédominante en milieu fortement acide. Seul le Mn bivalent est assez mobile pour se fixer sur le complexe adsorbant et passer ensuite dans la solution du sol ; c'est aussi la seule forme que les plantes puissent absorber avec facilité.

Un sol acide avec une forte teneur en manganèse total est donc susceptible d'induire des toxicités manganiques sur les végétaux. La plupart des agronomes considèrent que pour des pH supérieurs à 5,5 les risques de toxicité sont minimes, sauf en cas d'hydromorphie accidentelle ou permanente induisant une baisse du potentiel redox favorisant la réduction de Mn sous forme  $Mn^{2+}$ .

Habituellement favorisés par un drainage convenable, les sols ferrallitiques paraissent peu sensibles à l'hydromorphie. Mais on ne peut éliminer entièrement cette éventualité. Des concrétions de manganèse, pouvant parfois être observées dans l'horizon B des sols ferrallitiques de Nouvelle Calédonie, indiquent qu'au moins à un certain moment il y a eu mobilisation de cet élément en milieu réducteur.

Une part importante du Mn bivalent se trouve dans la nature liée à la matière organique, pour autant qu'elle soit présente. Bien que cette chélation soit susceptible de réduire les effets d'une éventuelle toxicité manganique, il paraît probable que les complexes ainsi formés puissent se décomposer rapidement et donner du manganèse assimilable, car la combinaison acide fulvique-Mn est peu stable (comparée à celles formées avec Cu, Fe, ...).

Les teneurs en manganèse total de la plupart des sols varient de 20 à 3000 ppm (alors que les sols ferrallitiques de Nouvelle Calédonie ont des teneurs allant de 3000 à 10 000 ppm).

Les teneurs normales en manganèse dans la plupart des végétaux sont environ de 20 à 200 ppm.

### *Chrome*

La nécessité du chrome pour la croissance des plantes n'a pas été prouvée. Des phénomènes de toxicité dus au chrome ont été rapportés, en particulier sur des sols à serpentine. Les teneurs en Cr de la plupart des sols sont faibles mais peuvent atteindre plus de 40 000 ppm sur serpentine (les sols ferrallitiques de Nouvelle Calédonie en contiennent couramment 20 000 à 30 000 ppm). Toutefois, seule une fraction très faible est soluble (0,006 à 0,28 %), diminuant par conséquent considérablement sa disponibilité pour les plantes.

Le chrome existe dans les sols sous deux états d'oxydation : Cr(III) et Cr(VI), et différentes formes ioniques : principalement  $Cr^{3+}$  et  $CrO_2^-$  pour l'état d'oxydation (III),  $CrO_4^{2-}$  et  $Cr_2O_7^{2-}$  pour l'état d'oxydation (VI). La forme  $CrO_4^{2-}$  est la plus abondante à pH > 6. Cependant, dans la plupart des sols arables, les conditions de pH et de Eh (potentiel redox) favorisent la formation de Cr(III) plutôt que Cr(VI), principalement sous la forme très peu soluble  $Cr(OH)_3$ . Les conditions d'hydromorphie, en diminuant le potentiel redox, ainsi que la matière organique induisent la formation de  $Cr^{3+}$ .

Une augmentation de la teneur en chrome dans les végétaux est difficile à obtenir, à cause de l'immobilité du chrome dans la plupart des sols. Il semblerait qu'il soit absorbé sous forme de chromate (Cr(VI)). Ce serait la principale raison pour laquelle le chrome est rarement un problème dans les sols, son état d'oxydation le plus stable et le plus répandu étant Cr(III). Les teneurs normales en chrome dans les végétaux sont en général faibles : de 0,2 à 1 ppm le plus souvent, atteignant parfois 10 ppm. La mobilité du chrome dans les plantes est extrêmement faible. Les fruits et les graines ont d'une façon générale des teneurs plus faibles que les feuilles et surtout les racines. La forme Cr(III) migre beaucoup moins que Cr(VI), lequel est retrouvé plus facilement dans les parties aériennes. Cela est peut être une des raisons pour lesquelles Cr(VI) est plus toxique. Toutefois, des plants manifestant des symptômes de toxicité peuvent ne pas contenir plus de chrome dans leurs parties aériennes que des plants normaux : il est probable, puisque Cr s'accumule dans les racines, que l'effet phytotoxique initial prenne place dans les racines plutôt que dans les parties aériennes.

### **Cobalt**

Les plantes capables d'utiliser l'azote atmosphérique ont besoin de cobalt pour le fonctionnement des systèmes bactériens des nodules de leur racines. Ainsi, davantage d'attention a été accordé par le passé sur les besoins en cobalt que sur les concentrations toxiques.

Le cobalt existe sous deux états d'oxydation : Co(II) et Co(III). L'ion  $\text{Co}^{2+}$  est la forme la plus stable et la plus répandue.

Les teneurs en cobalt dans les sols n'excèdent généralement pas 10 à 40 ppm. Les teneurs probablement les plus élevées sont de 2600 ppm. (les sols ferrallitiques de Nouvelle Calédonie en contiennent environ 500 ppm).

Les teneurs normales rencontrées dans les végétaux sont généralement inférieures à 1 ppm. Le cobalt à de fortes teneurs peut pourtant être hautement toxique pour les plantes, même si le problème est rarement rencontré.

De nombreux travaux laissent peu de doutes sur le fait que le facteur le plus important déterminant la disponibilité du cobalt du sol pour les plantes repose sur son association avec les minéraux d'oxydes de manganèse. Le pH du sol est probablement le second facteur important déterminant la quantité de Co soluble. En outre, le cobalt est un des métaux connu pour être sujet à de fortes chélation avec la matière organique dans les sols.

#### **4.2. Mobilités de Ni, Mn, Cr et Co dans le sol ferrallitique de l'essai**

L'observation du sol ferrallitique témoin du premier essai (sans addition de nickel et sans fumure organique), lequel se rapproche beaucoup des conditions au champ quant à la quantité d'éléments minéraux apportés, permet de constater de nombreuses différences de mise en solution et d'absorption entre Ni, Mn, Cr et Co (cf. tableau 27, page suivante).

Tableau 27. Répartition de Ni, Mn, Cr et Co présents initialement dans le sol ferrallitique, dans les tiges et feuilles et dans les percolats des témoins du premier essai (quantités relatives par rapport aux quantités dans le sol)

		Ni	Mn	Cr	Co
Qsol	(mg/pot)	31685	13934	136640	2973
QPer	(mg/pot) (ppm)	0,17 (5,36)	0,60 (43,1)	0,27 (2,0)	0,13 (43,7)
PTF	(mg/pot) (ppm)	0,12 (3,8)	6,22 (446,4)	0,05 (0,4)	0,06 (20,2)

Ainsi, Mn, et peut-être Co, sont les deux éléments qui passent proportionnellement le plus en solution (environ 43 ppm). Toutefois, étant donné la plus forte teneur en manganèse dans le sol, c'est la quantité de Mn dans les percolats qui est la plus forte (environ 0,6 mg). Par ailleurs, la teneur en cobalt est proche de sa limite de détection et pourrait donc être plus faible en réalité.

Cr est l'élément qui est le moins mobile (2 ppm en solution).

On retrouve dans les tiges et feuilles ce qui est observé dans les percolats : Mn est proportionnellement l'élément le plus largement assimilé, suivi de Co, puis de Ni et Cr.

La quantité de Mn absorbée est très supérieure à celle solubilisée (6,2 mg contre 0,6 mg) : une fraction importante de Mn restant fixée sur le sol existerait sous forme assimilable.

Bien que le cobalt semble pouvoir être plus absorbé que le nickel en proportion, les quantités supérieures dans le sol ferrallitique font que Ni est davantage absorbé. De plus, les quantités de cobalt mesurées dans les tiges et feuilles sont très proches de la limite de détection (1 ppm), laissant penser que les quantités réellement absorbées peuvent être plus faibles encore. Ni est donc nettement plus absorbé que Co.

Quant au chrome, la quantité présente dans les tiges et feuilles est encore plus faible que celle présente dans les percolats, mettant en évidence un caractère très peu soluble et très peu assimilable.

L'environnement chimique dans lequel se trouvent Ni, Mn, Cr et Co peut influencer plus ou moins fortement sur leur mise en solution, et par conséquent sur leur assimilabilité (cf. tableau 28). En effet, entre le premier et le deuxième essai, l'apport de la fumure correctrice (cf. annexe 4) a entraîné une concentration des percolats de l'ordre de 4 à 6 fois (de 12 méq/l à 48, voire 74 méq/l ; cf. tableaux 6.14 et 7.14, p. 88 et 106). De plus, dans le deuxième essai, la présence de la dose de nickel augmente nettement la concentration des percolats (environ 17 méq/l en plus).

Tableau 28. Quantités totales de Ni, Mn, Cr et Co dans les percolats du sol ferrallitique (mg/pot)

Elément	1 <sup>er</sup> essai				2 <sup>ème</sup> essai			
	- Ni		+ Ni		- Ni		+ Ni	
	- F.O.	+ F.O.	- F.O.	+ F.O.	- F.O.	+ F.O.	- F.O.	+ F.O.
QNiPer	0,17	0,14	0,16	0,15	0,41	0,26	91,46	151,11
QMnPer	0,60	0,82	0,57	0,62	2,12	2,08	8,67	48,32
QCrPer	0,27	0,25	0,27	0,22	0,19	0,18	0,30	0,35
QCoPer	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,15	0,41	1,15

Ainsi, le manganèse est le plus sensible aux caractéristiques chimiques du milieu : sa quantité solubilisée passe de 0,6 mg dans le premier essai, à environ 2 mg dans le deuxième essai sans Ni, à plus de 8 mg avec Ni sans fumure organique, et à plus de 48 mg avec Ni et fumure. La fumure organique n'apporte que 0,6 mg/pot. Cette augmentation très forte est probablement due à l'augmentation de la force ionique de la solution favorisant les phénomènes d'échanges (dans le deuxième essai, il y a plus de  $\text{SO}_4^{2-}$  : environ 154 méq/pot, et plus de  $\text{Ni}^{2+}$  : environ 70 méq/pot, et 48 mg/pot de Mn correspondent à 1,76 méq/pot).

Le nickel voit sa quantité en solution augmenter significativement entre les deux essais : de 0,16 mg environ à 0,41 mg sans fumure organique (0,26 mg avec fumure, probablement à cause de fortes fixation de Ni sur la matière organique). Il est moins sensible que Mn, mais l'est quand même nettement.

Le cobalt est moins sensible que Ni et Mn : il faut que le milieu soit extrêmement concentré pour qu'il soit déplacé dans la solution (deuxième essai avec Ni).

Quant au chrome, sa quantité en solution n'augmente presque pas (de 0,26 mg à 0,35 mg en condition extrême), ce qui confirme son caractère très peu soluble.

### 4.3. Absorption de Ni, Mn, Cr et Co

La teneur d'un élément dans les tiges et feuilles dépendant pour beaucoup de sa teneur dans la solution du sol, il est intéressant de relier ces deux paramètres en fonction des différentes conditions des deux essais (cf. tableau 29).

Tableau 29. Teneurs en métaux dans les tiges et feuilles et dans les percolats, sur sol ferrallitique

Teneurs		1 <sup>er</sup> essai				2 <sup>ème</sup> essai			
		- Ni		+ Ni		- Ni		+ Ni	
		- F.O.	+ F.O.	- F.O.	+ F.O.	- F.O.	+ F.O.	- F.O.	+ F.O.
TNiTF	(ppm)	2,8	3,7	4,3	5,5	5,8	5,3	137,2	241,2
TNiPer	(mg/l)	0,06	0,05	0,05	0,05	0,12	0,09	21,27	34,79
TMnTF	(ppm)	143,8	150,0	142,0	146,6	241,3	269,5	201,1	214,4
TMnPer	(mg/l)	0,20	0,28	0,18	0,21	0,63	0,76	2,03	11,16
TCrTF	(ppm)	1,3	1,8	0,8	1,4	1,5	1,2	2,1	1,2
TCrPer	(mg/l)	0,09	0,08	0,09	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08
TCoTF	(ppm)	1,5	1,9	1,9	2,00	4,7	5,5	4,7	4,9
TCoPer	(mg/l)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,10	0,26

Les teneurs en nickel dans les tiges et feuilles du maïs restent faibles (environ 3 à 5 ppm) tant que la teneur dans les percolats est faible (0,05 à 0,1 mg/l). En présence de Ni dans le deuxième essai, sa teneur dans les percolats augmente fortement (de 21 à 35 mg/l) induisant une forte teneur dans les tiges et feuilles (137 à 241 ppm). Les seuils de toxicité sont nettement dépassés (30 ppm dans les tiges et feuilles, et 0,12 mg/l dans les percolats) expliquant la forte baisse de croissance (cf. tableaux 7.11 et 7.12, p. 103-104).

A noter que la teneur en nickel dans les percolats du sol ferrallitique est au moins de 0,05 mg/l, donc proche du seuil toxique quand Ni est seul en solution (0,12 mg/l, cf. annexe 8). Cependant, la présence d'autres éléments dans la solution, par le biais d'antagonismes dans l'absorption du nickel, augmente nettement ce seuil.

Même quand la teneur en manganèse dans les percolats est faible, sa teneur dans les tiges et feuilles est relativement forte, sans toutefois être toxique. L'absorption de Mn est en effet la plus intense des quatre éléments (pour une même teneur dans la solution du sol, la teneur en Mn dans les tiges et feuilles est la plus forte). La concentration plus forte de la solution du sol dans le deuxième essai (sans Ni) entraîne une forte augmentation de la teneur en Mn dans les percolats (de 0,2 à 0,6-0,7 mg/l environ). Les teneurs correspondantes dans les tiges et feuilles augmentent aussi nettement et atteignent des valeurs proches de teneurs excessives (plus de 240 ppm ; cf. paragraphe 2, p. 27).

En présence de Ni dans le deuxième essai, la teneur en manganèse dans les percolats augmente brutalement atteignant des concentrations probablement toxiques (2 mg/l sans fumure organique, 11 mg/l avec fumure, alors que le seuil toxique a été déterminé à 2,2 mg/l quand Mn est seul en solution, cf. annexe 8). Cette forte augmentation est certainement due à des phénomènes d'échanges entre Ni et Mn (70 méq/pot de Ni sont apportés, et 11 mg/l de Mn correspondent seulement à 1,76 méq/pot). Les teneurs en Mn correspondantes dans les tiges et feuilles n'augmentent pas et diminuent même (environ 200 ppm) : il paraît probable qu'un antagonisme d'absorption entre Ni et Mn en soit à l'origine.

Les teneurs en chrome dans les percolats et dans les tiges et feuilles paraissent quasiment insensibles aux variations du milieu dans les deux essais. De plus, les teneurs dans les percolats restent faibles (0,07 à 0,08 mg/l) tout comme dans les tiges et feuilles (entre 1 et 2 ppm).

Les teneurs en cobalt dans les percolats n'augmentent que lorsque le milieu est très concentré (deuxième essai avec Ni). Les teneurs en Co dans les tiges et feuilles augmentent parallèlement mais légèrement, en restant assez faibles (de 1,5 à 5 ppm). Toutefois, il est possible que 5 ppm soit une teneur excessive, d'autant plus que les teneurs en cobalt dans les percolats du deuxième essai avec Ni (0,10 à 0,26 mg/l) dépassent la teneur définie comme toxique quand Co est seul en solution (0,06 mg/l, cf. annexe 8).

## 5. CONCLUSION

Une partie de cette étude confirme des résultats acquis auparavant sur les sols ferrallitiques du Sud de la Grande Terre (rapports de convention n° 9 et 14 de Gourdon *et al.*, 1991 et 1992). En effet, la comparaison des croissances et des analyses végétales de maïs cultivés sur ce type de sol et sur un sol alluvial fertile, de même que la comparaison des analyses des deux sols, mettent nettement en évidence les carences suivantes dans les sols ferrallitiques : carences en silice, phosphore, potassium, magnésium, de même qu'en azote et en calcium.

En outre, la partie principale de l'étude concerne des éléments rencontrés en abondance dans ces types de sols : le nickel (teneurs allant de 0,5 à 1,5 % environ, soit 5000 à 15 000 ppm), le manganèse (de 3000 à 10 000 ppm environ), le chrome (de 20 000 à 30 000 ppm) et le cobalt (environ 500 ppm).

Un excès de nickel dans le milieu induit un ralentissement important de la croissance du maïs. Cet effet ne semble pas dû à une carence grave en un élément dans les tiges et feuilles. Seule une diminution globale de l'absorption de la plupart des éléments apparaît quand Ni est en excès dans le milieu : il paraît probable que l'effet toxique majeur du nickel soit un ralentissement du métabolisme général de la plante et en particulier de ses systèmes d'absorption. Toutefois, un antagonisme entre l'absorption de Ni et celle de Mn semble apparaître quand Ni est présent à des teneurs toxiques dans les tiges et feuilles du maïs.

Un apport de fumure organique sur le sol ferrallitique de l'essai a amélioré la croissance du maïs, malgré la fumure minérale complète déjà présente. Ceci confirme la pauvreté chimique du sol ferrallitique et la nécessité de le fertiliser fortement.

Lorsque le nickel est en excès dans le milieu (deuxième essai, sur sol alluvial avec Ni), la présence de la fumure organique améliore la croissance du maïs en diminuant la teneur en nickel dans les tiges et feuilles. Deux mécanismes peuvent en être responsable : d'une part la fumure apporte des éléments minéraux entraînant une baisse de l'absorption de Ni par antagonisme (comme Ca ou Mg), d'autre part la fumure apporte de la matière organique fixant fortement le nickel pour le rendre non assimilable (le complexe Ni-acide fulvique, par exemple, est très stable). Un apport de matière organique dans un sol ferrallitique riche en nickel est donc susceptible de diminuer la disponibilité de Ni.

La fumure organique ne semble pas avoir eu d'action sur la manganèse dans le sol ferrallitique de l'essai. Les complexes formés avec la matière organique ne sont probablement pas assez stables pour diminuer la solubilité et l'assimilabilité de Mn.

Les teneurs en cobalt et en chrome dans la solution du sol ferrallitique sont probablement trop proches de leur limite de détection pour mettre en évidence une interaction entre Co, Cr et la fumure organique.

La mobilité de ces éléments dans le sol ferrallitique de l'essai varie beaucoup suivant l'élément, et suivant l'environnement chimique dans lequel ils se trouvent. Ainsi, le manganèse est le plus mobile des quatre, et le plus sensible à une concentration en éléments de la solution du sol : sa teneur dans la solution du sol ferrallitique peut passer de 0,6 mg/pot à plus de 48 mg/pot en présence de sulfate de nickel et de la fumure organique dans le deuxième essai. Le nickel est moins soluble

que Mn, mais il peut être déplacé sensiblement vers la solution du sol ferrallitique. Le cobalt et surtout le chrome sont les moins mobiles des quatre éléments

On retrouve pratiquement les mêmes résultats dans les tiges et feuilles du maïs que dans la solution du sol, la fraction absorbée le plus facilement par la plante étant la fraction soluble. Ainsi, l'absorption du manganèse est la plus active parmi les quatre éléments, et peut varier de façon importante : sa teneur dans les tiges et feuilles du maïs cultivé sur le sol ferrallitique, est de 144 ppm dans le premier essai et augmente beaucoup dans le deuxième essai, atteignant une valeur pouvant être excessive (241 ppm).

Les teneurs en nickel dans les tiges et feuilles du maïs sont relativement faibles dans le premier essai (3 ppm environ) et dans le deuxième (environ 6 ppm), même si elles augmentent légèrement en parallèle avec les teneurs dans les percolats. Dans l'ensemble, les teneurs en Ni dans les tiges et feuilles du maïs sont très inférieures au seuil toxique défini précédemment (entre 15 et 30 ppm ; cf. rapport de convention n°13 de L'Huillier L. et S. Edighoffer, 1992).

Les teneurs en cobalt et en chrome dans les tiges et feuilles paraissent faibles dans les deux essais (1 à 2 ppm), avec toutefois une légère augmentation des teneurs en cobalt dans le second (4 à 5 ppm).

Le sol ferrallitique de l'essai ne semble donc pas contenir des teneurs en nickel toxiques pour la croissance du maïs. Cependant, de nombreux sols ferrallitiques du Sud de la Grande Terre ont des teneurs en Ni total plus fortes (plus de 10 000 ppm) d'une part, et d'autre part Ni est un élément susceptible de se déplacer plus ou moins fortement dans la solution du sol en fonction de variations des caractéristiques physico-chimiques des sols ferrallitiques, pouvant ainsi augmenter son assimilabilité.

De même, les teneurs en cobalt et en chrome dans les tiges et feuilles du maïs paraissent faibles dans les conditions de l'essai. Toutefois, leur seuil de toxicité ne sont pas connus et méritent d'être déterminés.

Quant au manganèse, le sol de l'essai induit des teneurs importantes dans les tiges et feuilles du maïs (environ 150 ppm), qui de plus semblent pouvoir augmenter assez facilement selon les paramètres physico-chimiques du sol, et atteindre des teneurs pouvant être excessives (plus de 240 ppm). De plus, les sols ferrallitiques du Sud ont souvent des teneurs en manganèse supérieures à celle du sol de l'essai, et de faibles valeurs de pH pouvant engendrer des teneurs en manganèse assimilable importantes. Le seuil de toxicité du manganèse mérite donc d'être déterminé avec précision.

## BIBLIOGRAPHIE

- BOLT G.H. and M.G.M. BRUGGENWERT, 1978. *Soil Chemistry. A. Basic Elements*. Amsterdam : Elsevier Science Publishers. 281 p.
- BOYER J., 1982. Les sols ferrallitiques. Tome X : Facteurs de fertilité et utilisation des sols. Paris : ORSTOM. *Série Initiation - Documentation technique*. 384 p.
- GOURDON F., G. PUJOL, C. BOUCARON, B. BONZON, L. L'HUILLIER et L. COLLET, 1991. Mise en valeur des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Grande Terre. Carence en phosphore et en silice : résultats des deux premières études expérimentales en serre. Nouméa : ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie; Agropédol.*, 9 : 53 p.
- GOURDON F., C. BOUCARON et B. BONZON, 1992. Mise en valeur des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Grande Terre. Interaction Phosphore-Silice et influence de la matière organique : résultats de la troisième et de la quatrième étude en serre. Nouméa : ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie; Agropédol.*, 14 : 60 p.
- LATHAM M., P. QUANTIN et G. AUBERT, 1978. Etude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Paris : ORSTOM. *Notice explicative N° 78*. 138 p.
- LEPP N.W. (Ed.), 1981. *Effect of Heavy Metal Pollution On Plants. Vol. 1 : Effects Of Trace Metals On Plant Function*. Londres : Applied Sciences Publishers. 352 p.
- L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER Sylvie, 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 : 16 p.
- L'HUILLIER L. et EDIGHOFFER Sylvie, 1992. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Etude des effets de doses toxiques de sulfate de nickel sur la croissance, le développement et la nutrition du maïs. Nouméa : ORSTOM. *Conv.; Sci. Vie; Agropédol.*, 13 : 82 p.
- ROBERTSON A. I., 1985. The poisoning of roots of *Zea mays* by nickel ions, and the protection afforded by magnesium and calcium. *New Phytol.*, Vol. 100, p. 173-189.
- TAUREAU J.C., F. LAURENT et G. THEVENET, 1989. Diagnostic des carences sur blé, maïs et pois. *Perspectives Agricoles, ITCF*, supplément au n°132, janvier 1989.
- VERLIERE G. et R. HELLER, 1981. Effets du nickel sur la croissance de racines isolées de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit et caractères de son absorption. *Physiol. Vég.*, vol. 19, n°2, p.263-275.



## ANNEXES



**ANNEXE 1**

**ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'ETAT INITIAL  
DES DEUX SOLS DE L'ESSAI**



**ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'ETAT INITIAL  
DU SOL ALLUVIAL ET DU SOL FERRALLITIQUE DE L'ESSAI**

ECHANTILLON DE SOL	ALLUV.	FERRAL.
PROFONDEUR (cm)	0-25	0-25

**TEXTURE (%)**

Argile	12,7	52,2
Limon fin	13,7	19,3
Limon Grossier	11,2	5,3
Sable fin	39,2	7,9
Sable Grossier	22,1	12,2
Élément grossier	-	-
Matière organique totale	1,8	1,6
Somme	100,7	98,5

**EAU DU SOL (%)**

pF 2.5	17,6	28,7
pF 3.0	14,7	24,1
pF 4.2	9,5	18,3

**PH**

pH eau	6,1	5,2
pH KCl	5,1	5,8

**MATIERE ORGANIQUE (mg/g)**

Carbone	10,6	9,6
Azote	1,07	0,44
C/N	9,9	21,8

**COMPLEXE D'ECHANGE (még/100g)**

Calcium	8,53	0,33
Magnésium	7,35	0,16
Potassium	0,32	0,03
Sodium	0,13	0,01
Σ des bases échangeables	16,35	0,52

Capacité d'échange	15,15	0,90
Taux de saturation (%)	107,90	57,65

**BASES TOTALES (még/100g)**

Calcium	39,17	3,08
Magnésium	80,99	4,49
Potassium	6,96	0,01
Sodium	1,39	0,01
Σ des bases totales	128,51	7,57

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/g)**

Total	1,50	0,32
Assimilable	0,103	0,008

**ELEMENTS TOTAUX (%)**

Perte au feu	5,69	12,04
Résidu	52,32	0,82
SiO <sub>2</sub>	21,26	2,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,20	74,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,29	8,03
MnO <sub>2</sub>	0,13	0,35
TiO <sub>2</sub>	0,71	0,14
CaO	1,13	0,01
MgO	1,79	0,29
K <sub>2</sub> O	0,73	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,01
NiO	0,02	0,64
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	3,17
CoO	0,01	0,06
CuO (mg/g)	0,05	0,06

**NICKEL EXTRACTIBLE (DTPA) (ppm)**

NIE	10,7	3,5
-----	------	-----



## ANNEXE 2

### COMPOSITION CHIMIQUE DE LA FUMURE ORGANIQUE ET QUANTITES D'ELEMENTS APPORTES



## COMPOSITION CHIMIQUE DE LA FUMURE ORGANIQUE ET QUANTITES D'ELEMENTS APPORTES

La fumure organique utilisée est un produit commercial appelé Actilex "Bio-engrais". La nature de sa composition et les quantités d'éléments qu'elle apporte sont indiquées ci-dessous :

Tableau 3.1. Composition chimique de la fumure organique

Paramètre	Teneur
Cendres	21,26 %
N	4,443 %
P	2,082 %
K	3,537 %
Ca	3,448 %
Mg	0,680 %
Na	0,425 %
Mn	387 ppm
Ni	24 ppm

Tableau 3.2. Quantités d'éléments apportés par la fumure organique

Paramètre	Quantité apportée par kg de sol	Quantité apportée par pot	
		sol alluvial	sol ferrallitique
N	11,11 mg	67,76 mg	69,98 mg
P	5,20 mg	31,75 mg	32,79 mg
K	8,84 mg	53,94 mg	55,71 mg
Ca	8,62 mg	52,58 mg	54,31 mg
Mg	1,70 mg	10,37 mg	10,71 mg
Na	1,06 mg	6,48 mg	6,68 mg
Mn	96,75 µg	590,20 µg	609,50 µg
Ni	6,00 µg	36,60 µg	37,80 µg



## ANNEXE 3

### ETUDE DE LA FIXATION DU NICKEL SUR LES DEUX SOLS DE L'ESSAI



# ETUDE DE LA FIXATION DU NICKEL SUR LES DEUX SOLS DE L'ESSAI

## 1. Objectifs

A la suite du premier essai en serre pour étudier l'influence de fortes doses de nickel sur la croissance du maïs, nous avons constaté après dosage du nickel dans les percolats que la plus grande partie du nickel apporté était fixée sur les deux sols de l'essai (alluvial et ferrallitique).

L'objectif de cette étude fut donc de déterminer la quantité de nickel fixée sur ces deux sols en fonction de la quantité apportée.

## 2. Dispositif expérimental et conduite de l'expérimentation

Pour cela, nous avons apporté des doses croissantes de  $\text{NiSO}_4$  au sol alluvial et au sol ferrallitique qui ont servi de support aux deux expérimentations en serre, ainsi qu'au sol ferrallitique préalablement mélangé avec du superphosphate (à raison de 7 t de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha).

Les doses de  $\text{NiSO}_4$  apportées, ainsi que les quantités de Ni correspondantes, sont les suivantes :

Doses	$\text{NiSO}_4$ apporté (mg/50 g de sol)	Ni apporté (mg/kg de sol)
1	0	0
2	1,25	5,58
3	2,5	11,17
4	5	22,34
5	10	44,68
6	20	89,36
7	40	178,72
8	80	357,44
9	160	714,88
10	320	1429,76
11	640	2859,52
12	1280	5719,04
13	2560	11438,08
14	5120	22876,16
15	10240	45752,32

Chaque échantillon était constitué par 50 g de sol mis dans des flacons en polyéthylène de 250 ml, au contact de 125 ml de solution de nickel. Pour chaque dose, deux échantillons identiques furent constitués. Les flacons étaient régulièrement remués. Les solutions furent récupérées 4 jours après à l'aide d'une pipette et données au laboratoire de chimie pour en déterminer les concentrations en nickel. La différence entre la quantité de nickel apportée et la quantité en solution correspond à celle fixée sur le sol.

### 3. Résultats

Le tableau et la figure 3.1. qui suivent montrent que le nickel se fixe en quantité très importante sur les deux sols de l'essai. La dose 4 correspond à la dose appliquée lors de la première expérimentation en serre : on constate que plus de 99 % du nickel apporté lors de l'essai en serre se sont fixés sur le sol alluvial, et près de 95 % sur le sol ferrallitique mélangé à du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Par ailleurs, on constate que le nickel semble moins se fixer sur le sol ferrallitique mélangé à du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que sur le sol ferrallitique seul. Le phosphate pourrait occuper une partie des sites de fixation susceptibles d'être pris par le nickel.

Doses	Sol d'alluvions		Sol ferrallitique		Sol ferrallitique + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	Ni restant dans la solution du sol (mg/l)	Ni fixé (%)	Ni restant dans la solution du sol (mg/l)	Ni fixé (%)	Ni restant dans la solution du sol (mg/l)	Ni fixé (%)
1	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
2	0,00	100,00	0,04	98,21	0,00	100,00
3	0,00	100,00	0,03	99,33	0,10	97,76
4	0,05	99,44	0,05	99,44	0,45	94,96
5	0,05	99,72	0,23	98,71	1,49	91,66
6	0,19	99,47	0,95	97,34	5,16	85,56
7	1,17	98,36	4,23	94,08	11,51	83,90
8	5,53	96,13	15,96	88,84	36,33	74,59
9	25,34	91,14	62,91	78,00	107,00	62,58
10	106,35	81,40	206,40	63,91	289,78	49,33
11	383,95	66,43	653,69	42,85	662,26	42,10
12	1152,00	49,64	1477,11	35,43	1537,05	32,81
13	3012,00	34,17	3486,78	23,79	3612,15	21,05
14	6962,50	23,91	7636,98	16,54	7862,08	14,08
15	15624,50	14,62	16223,77	11,35	16350,05	10,66

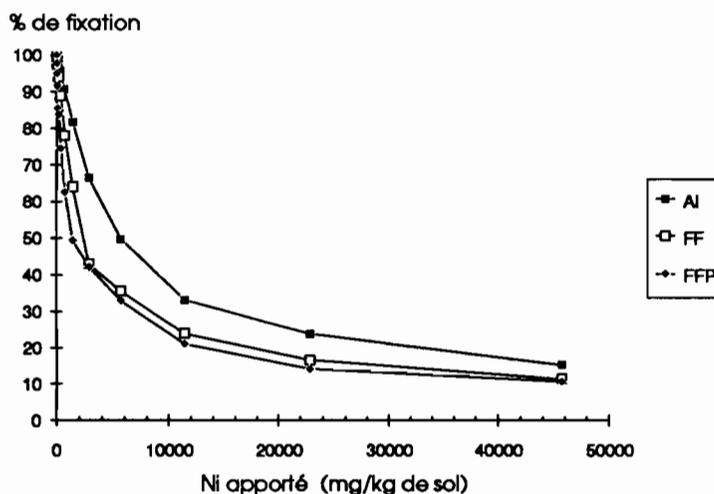


Fig. 3.1. Quantité de nickel fixé sur le sol alluvial de l'essai en fonction de la quantité de nickel apporté.

ANNEXE 4

APPORTS DE SOLUTION NUTRITIVE COMPLETE ET DE NiSO<sub>4</sub>

LORS DU PREMIER ESSAI

ET LORS DU DEUXIEME ESSAI



## SOLUTION NUTRITIVE COMPLETE ET APPORTS DE NiSO<sub>4</sub> POUR LE MAIS LORS DE LA PREMIERE EXPERIMENTATION

Pour les calculs des quantités d'éléments apportées par pot et par hectare, nous avons considéré les données suivantes :

- un hectare représente 2500 m<sup>3</sup> de sol (100 m \* 100 m \* 0,25 m);
- un pot peut recevoir un volume de sol de 4,68 litres (25 cm de haut et 15,45 cm de diamètre).

Produits	Concentrations des solutions (g/l)	Volumes des solutions en ml apporté par pot au :			Quantités d'éléments apportées en mg par pot de 4,68 litres :									
		semis	10 <sup>e</sup> jour	20 <sup>e</sup> jour	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Mo
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	24,79	-	15	15	260,1									
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	24,22	10	10	10		129,2	326,1							
KNO <sub>3</sub>	4,57	10	10	10	19		53							
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 4H <sub>2</sub> O	40,19	10	10	10	143			204,6						
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 6H <sub>2</sub> O	43,64	10	10	10	143				124,1					
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,12	10	10	-							3,92			
CuSO <sub>4</sub> , 5H <sub>2</sub> O	1,76	10	10	-						4,52		8,96		
ZnSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	1,35	10	10	-						3,01			6,14	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> , 4H <sub>2</sub> O	0,09	10	10	-	0,12									0,98
Quantités totales d'éléments apportées: en mg/pot de 4,68 l. en équivalent kg/ha					565,2 301,9	129,2 69	379,1 202,5	204,6 109,3	124,1 66,3	7,53 4,02*	3,92 2,10	8,96 4,78	6,14 3,28	0,98 0,52

\* La quantité de S habituellement apportée est d'environ 87 kg/ha. Mais étant donné que le nickel est apporté sous forme de sulfate, la quantité de S varie selon la dose de NiSO<sub>4</sub> apportée. Afin de maintenir une quantité de sulfate constante, différents apports de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sont réalisés, le niveau d'azote étant ensuite corrigé par différents apports de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

Ce tableau tient compte de la correction Mg/Ca effectué le 11/04, c'est à dire au 8<sup>ème</sup> jour. Lors des 8 premiers jours d'expérimentation la quantité de Ca était de 62,9 mg/pot, alors qu'après correction de ce rapport elle est maintenant de 204,6 mg/pot.

Les tableaux suivants indiquent les doses de  $\text{NiSO}_4$ , de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  et de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  appliquées :

Produit	Concentration de la solution (g/l)		Quantités d'éléments apportés par 50 ml appliqués à chaque pot 15 jours avant le semis			
	S1	S2	Ni		S	
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0	11,23	D1	D2	D1	D2
Quantités totales d'éléments apportées en mg/pot de 4,68l			0	125,45	0	68,51
en équivalent kg/ha			0	67,01	0	36,59

Produit	Concentration de la solution (g/l)		Quantités d'éléments apportés par 50 ml appliqués à chaque pot au semis			
	S1	S2	N		S	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	22,60	16,94	D1	D2	D1	D2
Quantités totales d'éléments apportées en mg/pot de 4,68l			239,45	179,48	274,06	205,55
en équivalent kg/ha			127,91	95,97	146,40	109,81

Produit	Concentration de la solution (g/l)		Quantité d'azote apporté par 50 ml appliqués à chaque pot au semis	
	S1	S2	D1	D2
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0	3,42	D1	D2
Quantités totales d'éléments apportées en mg/pot de 4,68l			0	59,97
en équivalent kg/ha			0	32,04

**Bilan pour N et S :** par la correction apportée par les deux derniers tableaux, tous les pots reçoivent la même quantité d'azote et de soufre, c'est à dire :

	N	S
mg/pot	$565,2 + 239,45 = 804,65$	$7,53 + 274,06 = 281,41$
kg/ha	$301,9 + 127,91 = 429,81$	$4,02 + 146,40 = 150,42$

Soit un total de S, pour tous les pots de  $150,42 \text{ kg/ha} = 0,313 \text{ méq de SO}_4^{2-} / 100\text{g}$ .



## SOLUTION NUTRITIVE COMPLETE ET APPORTS DE NiSO<sub>4</sub> POUR LE MAIS LORS DE LA DEUXIEME EXPERIMENTATION

Pour les calculs des quantités d'éléments apportées par pot et par hectare, nous avons considéré les données suivantes :

- un hectare représente 2500 m<sup>3</sup> de sol (100 m \* 100 m \* 0,25 m);
- un pot peut recevoir un volume de sol de 4,68 litres (25 cm de haut et 15,45 cm de diamètre).

Produits	Concentrations des solutions (g/l)	Volumes des solutions en ml apporté par pot au :			Quantités d'éléments apportées en mg par pot de 4,68 litres :									
		semis	10 <sup>e</sup> jour	20 <sup>e</sup> jour	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Mo
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	24,22	10	10	10		129,2	326,1							
KNO <sub>3</sub>	4,57	10	10	10	19		53							
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 4H <sub>2</sub> O	40,19	10	10	10	143			204,6						
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 6H <sub>2</sub> O	43,64	10	10	10	143				124,1					
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,12	10	10	-							3,92			
CuSO <sub>4</sub> , 5H <sub>2</sub> O	1,76	10	10	-						4,52		8,96		
ZnSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	1,35	10	10	-						3,01			6,14	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> , 4H <sub>2</sub> O	0,09	10	10	-	0,12									0,98
Quantités totales d'éléments apportées: en mg/pot de 4,68 l.					305,1	129,2	379,1	204,6	124,1	7,53	3,92	8,96	6,14	0,98
en équivalent kg/ha					163,9	69	202,5	109,3	66,3	4,02*	2,10	4,78	3,28	0,52

\* La quantité de S habituellement apportée est d'environ 87 kg/ha. Mais étant donné que le nickel est apporté sous forme de sulfate, la quantité de S varie selon la dose de NiSO<sub>4</sub> apportée. Afin de maintenir une quantité de sulfate constante, différents apports de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sont réalisés, le niveau d'azote étant ensuite corrigé par différents apports de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

Les tableaux suivants indiquent les doses de  $\text{NiSO}_4$ , de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  et de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  appliquées :

Produit	Concentration de la solution (g/l)		Quantités d'éléments apportés par 50 ml appliqués à chaque pot 15 jours avant le semis			
	S1	S2	Ni		S	
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0	179,62	D1	D2	D1	D2
Quantités totales d'éléments apportées en mg/pot de 4,68l en équivalent kg/ha			0	2007,0	0	1096,1
			0	1072,2	0	585,5

Produit	Concentration de la solution (g/l)		Quantités d'éléments apportés par 50 ml appliqués à chaque pot au semis			
	S1	S5	N		S	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	180,72	90,4	D1	D2	D1	D2
Quantités totales d'éléments apportées en mg/pot de 4,68l en équivalent kg/ha			1914,7	957,8	2192,1	1096,5
			1022,8	511,6	1171,0	585,7

Produit	Concentration de la solution (g/l)		Quantité d'azote apportée par 50 ml appliqué à chaque pot au semis	
	S1	S2	D1	D2
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0	54,74	D1	D2
Quantités totales d'éléments apportées en mg/pot de 4,68l en équivalent kg/ha			0	956,94
			0	511,18

**Bilan pour N et S :** par la correction apportée par les deux derniers tableaux, tous les pots reçoivent la même quantité d'azote et de soufre, c'est à dire :

	N	S
mg/pot	$305,1 + 1914,73 = 2219,83$	$7,53 + 2192,1 = 2199,63$
kg/ha	$163 + 1022,83 = 1185,83$	$4,02 + 1171 = 1175,02$

Soit un total de S, pour tous les pots de  $1175,02 \text{ kg/ha} = 2,443 \text{ méq de SO}_4^{2-} / 100\text{g}$ .



ANNEXE 5

DONNEES CLIMATIQUES



## DONNEES CLIMATIQUES

Cette annexe présente les données climatiques rencontrées au cours des deux essais en serre, qui se sont déroulés aux dates suivantes :

- du 2/4/91 au 6/5/91 pour le premier ;
- du 17/5/91 au 20/6/91 pour le second.

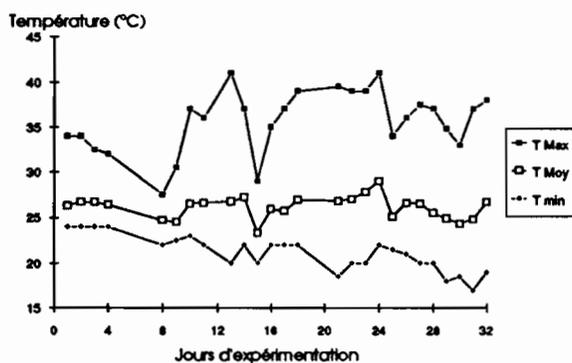


Fig. 5.1. Variation journalière de la température au cours du premier essai.

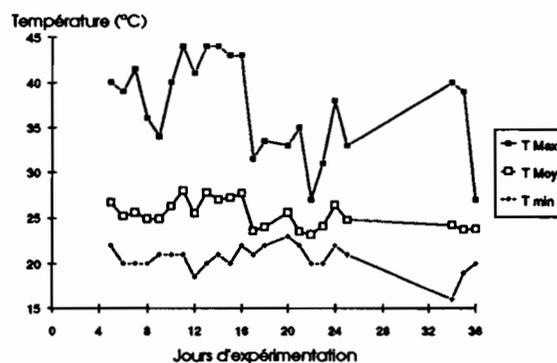


Fig. 5.2. Variation journalière de la température au cours du deuxième essai.

Tableau 5.1. Variations maximales de la température et de l'humidité pendant le jour et la nuit au cours des deux essais

Paramètres		1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
Températures extrêmes (°C) :	jour	27 à 40	27 à 43
	nuit	17 à 24	16 à 23
Humidité (%) :	jour	30 à 64	30 à 60
	nuit	80 à 86	78 à 88

La quantité de lumière qu'ont reçue les plants a été à peu près constante au cours des deux essais, soit environ 12 h/jour.



**ANNEXE 6**

**RECAPITULATIFS DES RESULTATS DES ANALYSES DE VARIANCE  
DU PREMIER ESSAI**



**TABLEAU 6.1. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Ni			S			F			Ni	S	F
				Proba.	Ni Ni1	Ni2	Proba.	S1	S2	Proba.	F1	F2			
ETPh2	ml/h	1,023	15,75	0,9187	0,982	1,064	0,9651	0,972	1,073	0,8734	1,059	0,987		2>1	
ETPh5	ml/h	0,967	13,88	0,0257	0,968	0,967	0,9999	0,868	1,067	0,9967	1,029	0,906		2>1	1>2
ETPh9	ml/h	1,789	11,41	0,4154	1,764	1,814	0,9410	1,732	1,846	0,8894	1,837	1,741			
ETPh12	ml/h	2,055	13,70	0,4682	2,024	2,085	0,9929	1,938	2,171	0,1975	2,065	2,045		2>1	
ETPh14	ml/h	4,871	15,25	0,3329	4,824	4,918	0,9921	4,570	5,173	0,3796	4,967	4,775		2>1	
ETPh16	ml/h	5,108	14,89	0,7323	4,985	5,232	0,9882	4,818	5,398	0,4749	5,189	5,028		2>1	
ETPh19	ml/h	8,534	14,91	0,2398	8,478	8,590	0,9997	7,741	9,327	0,7873	8,766	8,302		2>1	
ETPh21	ml/h	10,552	19,60	0,3724	10,404	10,701	0,9991	9,430	11,674	0,8879	11,033	10,071		2>1	
ETPh23	ml/h	15,900	13,68	0,1960	15,976	15,823	1,0000	13,742	18,058	0,8887	16,407	15,392		2>1	
ETPh26	ml/h	14,291	14,59	0,0508	14,273	14,310	1,0000	12,101	16,482	0,8681	14,751	13,832		2>1	
ETPh30	ml/h	17,553	12,30	0,4027	17,722	17,383	1,0000	14,481	20,624	0,9303	18,129	16,976		2>1	
ETPh33	ml/h	20,310	14,83	0,7912	20,864	19,757	1,0000	16,798	23,823	0,7584	20,827	19,794		2>1	
H9	cm	10,376	8,16	0,3762	10,315	10,437	0,9987	9,937	10,815	0,2713	10,419	10,333		2>1	
H12	cm	13,352	6,73	0,4053	13,281	13,423	0,9994	12,835	13,869	0,6960	13,487	13,217		2>1	
H14	cm	15,696	7,19	0,3301	15,625	15,767	0,9995	15,038	16,354	0,4696	15,817	15,575		2>1	
H16	cm	18,007	6,51	0,0965	18,027	17,987	0,9999	17,173	18,842	0,4755	18,131	17,883		2>1	
H19	cm	23,108	6,59	0,2389	23,175	23,042	1,0000	21,844	24,373	0,3885	23,223	22,994		2>1	
H21	cm	27,589	7,72	0,3224	27,719	27,458	0,9999	26,096	29,081	0,4943	27,804	27,373		2>1	
H23	cm	34,103	8,39	0,8572	34,717	33,490	1,0000	31,681	36,525	0,7587	34,594	33,613		2>1	
H26	cm	46,971	8,58	0,8711	47,867	46,075	1,0000	43,427	50,515	0,7704	47,679	46,263		2>1	
H30	cm	65,760	9,29	0,7291	66,746	64,775	1,0000	59,788	71,733	0,7207	66,729	64,792		2>1	
H33	cm	78,664	9,24	0,8104	80,058	77,269	1,0000	71,844	85,483	0,3384	79,685	77,642		2>1	
HT33	cm	176,646	5,60	0,7947	178,479	174,813	1,0000	165,396	187,896	0,3519	178,000	175,292		2>1	
VT(9,12)	cm/j	0,992	14,31	0,1257	0,989	0,995	0,7901	0,966	1,018	0,8630	1,023	0,961			
VT(12,14)	cm/j	1,172	18,37	0,0045	1,172	1,172	0,9728	1,101	1,243	0,1893	1,165	1,179		2>1	
VT(14,16)	cm/j	1,156	21,68	0,7836	1,201	1,110	0,9809	1,068	1,244	0,0353	1,157	1,154		2>1	
VT(16,19)	cm/j	1,700	12,02	0,3942	1,716	1,685	0,9999	1,557	1,844	0,0873	1,697	1,703		2>1	
VT(19,21)	cm/j	2,240	17,82	0,4087	2,272	2,208	0,9472	2,126	2,354	0,3905	2,291	2,190			
VT(21,23)	cm/j	3,257	25,44	0,9517	3,499	3,016	0,9993	2,793	3,722	0,7430	3,395	3,120	1>2	2>1	
VT(23,26)	cm/j	4,289	12,29	0,7777	4,383	4,195	0,9999	3,915	4,663	0,3488	4,362	4,217		2>1	
VT(26,30)	cm/j	4,697	14,99	0,1786	4,720	4,675	1,0000	4,090	5,305	0,4671	4,762	4,632		2>1	
VT(30,33)	cm/j	4,301	19,75	0,7273	4,438	4,165	0,9742	4,019	4,583	0,1192	4,319	4,283		2>1	

**TABLEAU 6.2. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Ni			S			F			Ni	S	F
				Proba.	Ni1	Ni2	Proba.	S1	S2	Proba.	F1	F2			
NF14	nbr/plt	3,969	3,24	0,4154	3,958	3,979	0,4154	3,958	3,979	0,4154	3,979	3,958			
NF19	nbr/plt	5,563	6,09	0,3239	5,583	5,542	0,9947	5,417	5,708	0,4047	5,521	5,604		2>1	
NF26	nbr/plt	7,365	5,31	0,3652	7,417	7,313	1,0000	6,979	7,750	0,1513	7,375	7,354		2>1	
NF33	nbr/plt	9,229	4,00	0,4455	9,271	9,188	1,0000	8,896	9,563	0,7526	9,167	9,292		2>1	
Tal33	nbr	0,688	132,50	0,7256	0,833	0,542	0,9999	0,063	1,313	0,1306	0,708	0,667		2>1	
Gley33	-	0,125	147,36	0,0000	0,125	0,125	0,9999	0,250	0,000	0,9999	0,000	0,250			
PTF33	g/plt	340,036	13,160	0,8276	348,969	331,104	1,0000	285,135	394,938	0,3320	342,865	337,208		2>1	
PTF33	g/plt	36,770	13,45	0,8116	37,721	35,819	1,0000	30,756	42,783	0,8710	37,869	35,671		2>1	
PRac33	g/plt	7,274	32,54	0,4740	7,022	7,525	0,4789	7,025	7,522	0,2432	7,379	7,168			
PP33	g/plt	44,429	14,34	0,6991	45,395	43,463	1,0000	38,174	50,684	0,8630	45,815	43,043		2>1	
TCdTF33	%	7,548	14,97	0,2166	7,592	7,503	1,0000	9,764	5,333	0,3841	7,464	7,632		1>2	
TSiTF33	%	1,495	13,97	0,4051	1,511	1,478	1,0000	1,981	1,008	0,4017	1,521	1,469		1>2	
TNTF33	%	1,580	17,64	0,4392	1,611	1,548	0,9846	1,478	1,681	0,4507	1,549	1,611		2>1	
TPIF33	%	0,231	13,04	0,9107	0,239	0,224	0,9975	0,217	0,246	0,9098	0,224	0,239		2>1	
TKTF33	%	2,029	20,87	0,2428	2,047	2,010	1,0000	3,008	1,049	0,9126	1,922	2,135		1>2	
TCaTF33	%	0,405	9,75	0,0980	0,406	0,405	1,0000	0,288	0,522	0,3929	0,402	0,408		2>1	
TMgTF33	%	0,369	7,27	0,4286	0,371	0,366	0,9985	0,355	0,382	0,4357	0,366	0,371		2>1	
TNaTF33	ppm	23,958	25,52	0,3554	23,542	24,375	0,8963	25,417	22,500	0,9359	22,292	25,625			
TSTF33	%	0,177	0,00	-	1,733	1,815	-	1,825	1,722	-	1,820	1,727			
TCITF33	%	0,336	14,49	0,7804	0,345	0,328	0,9646	0,321	0,351	1,0000	0,299	0,373		2>1	2>1
TFeTF33	ppm	151,479	48,32	0,4297	142,938	160,021	0,8979	133,938	169,021	0,9737	127,250	175,708			2>1
TMnTF33	ppm	95,625	14,87	0,2181	95,062	96,188	1,0000	45,625	145,625	0,9968	89,042	102,208		2>1	2>1
TNiTF33	ppm	4,396	27,97	1,0000	2,917	5,875	0,9346	4,729	4,063	0,3537	4,313	4,479	2>1		
TCrTF33	ppm	2,354	34,82	0,3932	2,417	2,292	0,9605	2,104	2,604	0,3886	2,250	2,458		2>1	
TCoTF33	ppm	1,615	27,77	0,7332	1,542	1,688	0,9979	1,396	1,833	0,7332	1,542	1,688		2>1	
TCuTF33	ppm	4,917	13,12	0,3804	5,000	4,833	1,0000	3,875	5,958	0,9510	4,729	5,104		2>1	2>1
TZnTF33	ppm	28,531	19,27	0,9936	30,833	26,229	1,0000	24,333	32,729	0,1192	28,646	28,417	1>2	2>1	
PSiTF33	g/plt	0,525	19,02	0,8801	0,548	0,502	1,0000	0,618	0,432	0,9501	0,554	0,496			1>2
PNTF33	g/plt	0,583	15,47	0,9611	0,611	0,556	1,0000	0,454	0,712	0,0677	0,584	0,582	1>2	2>1	
PPTF33	g/plt	0,086	16,00	0,9876	0,091	0,081	1,0000	0,067	0,105	0,1020	0,086	0,086	1>2	2>1	
PKTF33	g/plt	0,686	20,61	0,7704	0,711	0,661	1,0000	0,929	0,443	0,3703	0,676	0,696			

96

**TABLEAU 6.3. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Ni			S			F			Ni	S	F
				Proba.	Ni1	Ni2	Proba.	S1	S2	Proba.	F1	F2			
PCaTF33	g/plt	0,155	12,19	0,9230	0,160	0,150	1,0000	0,088	0,222	0,3752	0,158	0,153		2>1	
PMgTF33	g/plt	0,136	11,26	0,9682	0,141	0,131	1,0000	0,108	0,163	0,9287	0,140	0,132	1>2	2>1	
PNaTF33	mg/plt	0,869	25,83	0,2307	0,878	0,859	0,9916	0,779	0,959	0,6843	0,836	0,902		2>1	
PCITF33	g/plt	0,123	12,72	0,9941	0,129	0,116	1,0000	0,096	0,149	0,9993	0,114	0,131	1>2	2>1	2>1
PFeTF33	mg/plt	5,636	55,33	0,1572	5,550	5,723	0,9986	4,029	7,244	0,9182	4,839	6,433		2>1	
PMnTF33	mg/plt	3,786	18,14	0,6840	3,887	3,685	1,0000	1,349	6,223	0,9405	3,595	3,977		2>1	
PNiTF33	mg/plt	0,160	27,22	1,0000	0,112	0,207	0,9518	0,147	0,173	0,2489	0,158	0,162	2>1	2>1	
PCrTF33	mg/plt	0,033	117,59	0,4480	0,036	0,030	0,9993	0,011	0,055	0,7415	0,027	0,039		2>1	
PCoTF33	mg/plt	0,059	32,10	0,4275	0,057	0,060	1,0000	0,040	0,077	0,0506	0,059	0,059		2>1	
PCuTF33	mg/plt	0,186	15,07	0,9614	0,194	0,177	1,0000	0,117	0,254	0,3561	0,184	0,188	1>2	2>1	
PZnTF33	mg/plt	1,083	21,12	0,9977	1,193	0,972	1,0000	0,763	1,402	0,4855	1,105	1,061	1>2	2>1	
TKmTF33	meq%	51,890	20,87	0,2428	52,372	51,407	1,0000	76,943	26,837	0,9126	49,173	54,606			
TCamTF33	meq%	20,222	9,75	0,0980	20,255	20,188	1,0000	14,382	26,061	0,3929	20,072	20,372		2>1	
TMgmTF33	meq%	30,334	7,27	0,4286	30,520	30,149	0,9985	29,204	31,464	0,4357	30,146	30,523		2>1	
TNamTF33	meq%	0,104	25,52	0,3554	0,102	0,106	0,8963	0,111	0,098	0,9359	0,097	0,111			
BasTF33	meq%	102,550	12,33	0,2947	103,250	101,850	1,0000	120,640	84,461	0,9014	99,488	105,613			
PKmTF33	meq/plt	17,542	20,61	0,7704	18,178	16,907	1,0000	23,755	11,330	0,3703	17,284	17,800			
PCamTF33	meq/plt	7,744	12,19	0,9230	7,989	7,498	1,0000	4,405	11,083	0,3752	7,867	7,620		2>1	
PMgmTF33	meq/plt	11,163	11,26	0,9682	11,564	10,762	1,0000	8,903	13,422	0,9287	11,496	10,829	1>2	2>1	
PNamTF33	meq/plt	0,038	25,83	0,2307	0,038	0,037	0,9916	0,034	0,042	0,6844	0,036	0,039		2>1	
PBasTF33	meq/plt	36,487	13,29	0,9279	37,769	35,204	0,3935	37,096	35,877	0,2238	36,684	36,289			
PCImTF33	meq/plt	3,461	12,72	0,9941	3,648	3,274	1,0000	2,709	4,212	0,9993	3,215	3,707	1>2	2>1	2>1
K/BasTF33	%	47,291	7,87	0,2589	47,469	47,112	1,0000	63,356	31,225	0,9984	45,411	49,170		1>2	2>1
Ca/BasTF33	%	21,537	6,82	0,4989	21,390	21,684	1,0000	11,993	31,081	0,9996	22,409	20,665		2>1	1>2
Mg/BasTF33	%	31,068	8,59	0,0600	31,040	31,096	1,0000	24,559	37,577	0,9878	32,080	30,056		2>1	1>2
Na/BasTF33	%	0,104	24,18	0,4917	0,102	0,107	0,9983	0,092	0,117	0,7796	0,100	0,109		2>1	
Mg/CaTF33	-	1,630	8,80	0,7820	1,656	1,604	1,0000	2,048	1,212	0,4059	1,648	1,612		1>2	
Mono/BivTF33	-	1,124	20,85	0,4628	1,145	1,102	1,0000	1,779	0,468	0,3091	1,110	1,137		1>2	
Ca/(Ca+Mg)TF	-	0,391	4,21	0,8061	0,388	0,394	1,0000	0,330	0,453	0,6968	0,389	0,394		2>1	
(K+Na)/CITF	-	5,820	22,07	0,7309	5,612	6,028	1,0000	8,966	2,674	0,9662	6,225	5,416		1>2	1>2
ETPc/PP33	ml/g	159,256	6,87	0,9765	155,555	162,956	0,4664	160,265	158,246	0,7658	157,352	161,159	2>1		

**TABLEAU 6.4. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Proba.	Ni		S		Proba.	F		Ni	S	F	
					Ni1	Ni2		S1	S2		F1	F2			
CondPer33	µS/cm	789,250	25,76	0,4102	813,958	764,542	1,0000	539,125	1039,37	0,4417	766,125	812,375		2>1	
pHPer33	-	6,951	6,38	0,4641	6,991	6,910	1,0000	7,397	6,504	0,9663	6,811	7,090		1>2	2>1
THCO <sub>3</sub> Per33	meq/l	1,591	62,74	0,1334	1,567	1,614	1,0000	2,803	0,379	1,0000	0,814	2,367		1>2	2>1
TCIPer33	meq/l	0,041	68,99	0,2061	0,040	0,042	0,9984	0,055	0,026	0,9504	0,032	0,049		1>2	2>1
TSO <sub>4</sub> Per33	meq/l	7,037	39,48	0,7900	7,547	6,528	1,0000	2,251	11,823	0,3589	7,412	6,662		2>1	
TNO <sub>3</sub> Per33	meq/l	0,244	96,99	0,0325	0,243	0,246	0,9746	0,324	0,165	0,4972	0,221	0,268		1>2	
TPO <sub>4</sub> Per33	mg/l	1,190	102,68	0,4097	1,093	1,287	0,9956	1,731	0,649	0,4805	1,062	1,318		1>2	
Σ-Per33	meq/l	8,913	34,23	0,7208	9,397	8,430	1,0000	5,432	12,394	0,3329	8,480	9,347		2>1	
TCaPer33	meq/l	6,746	37,19	0,4813	7,008	6,485	1,0000	2,524	10,969	0,2717	6,873	6,660		2>1	
TMgPer33	meq/l	2,075	33,54	0,4385	2,135	2,015	1,0000	2,953	1,196	0,9993	1,685	2,464		1>2	2>1
TKPer33	meq/l	0,109	81,93	0,3317	0,103	0,114	0,9999	0,170	0,048	0,8102	0,092	0,126		1>2	
TNaPer33	meq/l	0,325	39,14	0,2811	0,331	0,318	0,9694	0,365	0,284	0,9969	0,266	0,384		1>2	2>1
Σ <sup>+</sup> Per33	meq/l	9,254	33,02	0,4758	9,577	8,932	1,0000	6,012	12,497	0,4537	8,916	9,593		2>1	
TFePer33	mg/l	0,174	89,53	0,6923	0,151	0,198	0,1938	0,169	0,180	0,3943	0,155	0,194			
TMnPer33	mg/l	0,211	78,83	0,2879	0,202	0,220	0,2455	0,203	0,218	0,8375	0,177	0,245			
TNiPer33	mg/l	0,098	94,41	0,9982	0,052	0,143	0,9982	0,143	0,052	0,0693	0,099	0,097	2>1	1>2	
TCrPer33	mg/l	0,074	31,48	0,3898	0,076	0,073	0,9930	0,065	0,084	0,4709	0,077	0,072		2>1	
TCoPer33	mg/l	0,042	11,81	0,8063	0,043	0,041	0,1207	0,042	0,042	0,8872	0,043	0,041			
TSiO <sub>2</sub> Per33	mg/l	28,427	16,82	0,2487	28,208	28,646	1,0000	39,667	17,188	0,9991	25,812	31,042		1>2	2>1
Mg/CaPer33	-	0,632	10,08	0,4985	0,626	0,638	1,0000	1,153	0,111	0,8060	0,620	0,644		1>2	

**TABLEAU 6.5. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Ni			S			F			Ni	S	F
				Proba.	Ni1	Ni2	Proba.	S1	S2	Proba.	F1	F2			
pF2.5r	%	23,505	3,99	0,4205	23,394	23,617	1,0000	19,048	27,963	0,9999	22,871	24,140		2>1	2>1
pF3,0r	%	20,038	-	-	20,000	20,075	-	15,625	24,450	-	19,925	20,150			
pF4,2r	%	13,939	0,50	0,3843	13,933	13,944	1,0000	9,650	18,227	0,9987	13,902	13,975		2>1	2>1
pHH <sub>2</sub> Or	-	5,868	1,55	0,0648	5,867	5,869	1,0000	6,131	5,604	0,9995	5,815	5,921		1>2	2>1
pHKClr	-	5,421	1,16	0,1859	5,423	5,419	1,0000	5,235	5,606	1,0000	5,362	5,479		2>1	2>1
CTr	mg/g	10,191	1,79	0,8025	10,156	10,225	1,0000	10,754	9,627	0,9999	10,063	10,319		1>2	2>1
NTr	mg/g	0,814	2,91	0,1005	0,814	0,814	1,0000	1,138	0,490	1,0000	0,780	0,848		1>2	2>1
C/Nr	-	14,670	4,23	0,3396	14,583	14,757	1,0000	9,456	19,883	1,0000	15,587	13,752		2>1	1>2
CaEr	meq%	5,737	3,45	0,4629	5,719	5,755	1,0000	8,739	2,735	0,9659	5,675	5,799		1>2	2>1
MgEr	meq%	3,685	5,40	0,7093	3,715	3,654	1,0000	7,123	0,246	0,6958	3,715	3,655		1>2	
KEr	meq%	0,152	16,33	0,7820	0,157	0,148	1,0000	0,266	0,038	0,9969	0,141	0,164		1>2	2>1
NaEr	meq%	0,197	22,04	0,9215	0,209	0,186	1,0000	0,258	0,137	0,7190	0,191	0,204		1>2	
ΣBEr	meq%	9,771	3,68	0,4062	9,800	9,743	1,0000	16,386	3,156	0,3367	9,721	9,822		1>2	
CECr	meq%	9,475	3,89	0,9024	9,385	9,565	1,0000	15,544	3,406	0,9955	9,637	9,313		1>2	1>2
ΣBE/CECr	%	99,584	8,03	0,9164	101,616	97,552	0,9999	105,513	93,655	0,9342	97,419	101,750		1>2	
Condr	µS/cm	385,375	-	-	387,250	383,500	-	237,750	533,000	-	371,750	399,000			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Asr	mg/g	0,264	20,21	0,3683	0,271	0,257	1,0000	0,131	0,396	0,8392	0,253	0,274		2>1	
Ni Extract.	ppm	10,025	-	-	7,925	12,125	-	15,225	4,825	-	9,850	10,200			

**TABLEAU 6.6. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
ETPh2	ml/h	0,0934	0,929	1,035	1,016	1,112	0,2197	1,024	0,939	1,094	1,034	0,7087	1,033	0,912	1,084	1,062
ETPh5	ml/h	0,8136	0,894	1,041	0,841	1,092	0,9332	0,993	0,942	1,065	0,869	0,7681	0,953	0,783	1,105	1,029
ETPh9	ml/h	0,8139	1,668	1,861	1,796	1,831	0,2082	1,804	1,724	1,869	1,758	0,3890	1,765	1,700	1,909	1,783
ETPh12	ml/h	0,4340	1,876	2,173	2,001	2,168	0,2833	2,049	1,999	2,080	2,090	0,1816	1,939	1,938	2,190	2,152
ETPh14	ml/h	0,7851	4,388	5,260	4,752	5,085	0,0884	4,909	4,740	5,026	4,811	0,1349	4,648	4,491	5,286	5,059
ETPh16	ml/h	0,7424	4,569	5,401	5,068	5,396	0,0063	5,065	4,905	5,313	5,151	0,3151	4,853	4,783	5,524	5,273
ETPh19	ml/h	0,7666	7,464	9,493	8,019	9,161	0,3102	8,636	8,321	8,896	8,284	0,0734	7,990	7,493	9,542	9,111
ETPh21	ml/h	0,4037	9,119	11,688	9,740	11,661	0,2291	10,799	10,009	11,268	10,133	0,2497	9,816	9,043	12,251	11,098
ETPh23	ml/h	0,2187	13,732	18,220	13,752	17,895	0,1915	16,559	15,394	16,256	15,391	0,9309	14,831	12,653	17,984	18,132
ETPh26	ml/h	0,4508	11,897	16,648	12,305	16,315	0,1871	14,802	13,743	14,700	13,920	0,7471	12,910	11,292	16,593	16,371
ETPh30	ml/h	0,1362	14,701	20,742	14,260	20,507	0,3228	18,430	17,013	17,827	16,940	0,8784	15,546	13,415	20,711	20,538
ETPh33	ml/h	0,2885	17,189	24,540	16,407	23,106	0,0781	21,422	20,307	20,232	19,282	0,9327	18,125	15,471	23,528	24,118
H9	cm	0,9756	9,592	11,037	10,283	10,592	0,0220	10,354	10,275	10,483	10,392	0,6815	10,104	9,771	10,733	10,896
H12	cm	0,9390	12,517	14,046	13,154	13,692	0,0268	13,413	13,150	13,563	13,283	0,3621	13,033	12,638	13,942	13,796
H14	cm	0,9614	14,621	16,629	15,454	16,079	0,3301	15,675	15,575	15,958	15,575	0,0627	15,146	14,929	16,487	16,221
H16	cm	0,8565	16,942	19,113	17,404	18,571	0,3731	18,067	17,988	18,196	17,779	0,3648	17,379	16,967	18,883	18,800
H19	cm	0,7795	21,637	24,712	22,050	24,033	0,1327	23,254	23,096	23,192	22,892	0,7686	22,225	21,462	24,221	24,525
H21	cm	0,7675	25,854	29,583	26,338	28,579	0,0116	27,938	27,500	27,671	27,246	0,3353	26,612	25,579	28,996	29,167
H23	cm	0,4993	32,008	37,425	31,354	35,625	0,3295	35,617	33,817	33,571	33,408	0,9478	32,992	30,371	36,196	36,854
H26	cm	0,4831	43,904	51,829	42,950	49,200	0,7261	49,221	46,513	46,138	46,013	0,9946	45,867	40,987	49,492	51,537
H30	cm	0,4938	60,171	73,321	59,404	70,146	0,7432	68,729	64,762	64,729	64,821	0,9978	63,717	55,858	69,742	73,725
H33	cm	0,4735	72,467	87,650	71,221	83,317	0,7765	82,375	77,742	76,996	77,542	0,9982	76,487	67,200	82,883	88,083
HT33	cm	0,4490	166,354	190,604	164,438	185,187	0,7054	181,354	175,604	174,646	174,979	0,9987	171,896	158,896	184,104	191,687
VT(9,12)	cm/j	0,4362	0,975	1,003	0,957	1,033	0,0161	1,019	0,958	1,026	0,964	0,3253	0,976	0,956	1,069	0,967
VT(12,14)	cm/j	0,8796	1,052	1,292	1,150	1,194	0,7093	1,131	1,213	1,198	1,146	0,7662	1,056	1,146	1,273	1,213
VT(14,16)	cm/j	0,8041	1,160	1,242	0,975	1,246	0,1533	1,196	1,206	1,119	1,102	0,8041	1,117	1,019	1,198	1,290
VT(16,19)	cm/j	0,1986	1,565	1,867	1,549	1,821	0,4099	1,729	1,703	1,665	1,704	0,9579	1,615	1,499	1,779	1,908
VT(19,21)	cm/j	0,4007	2,108	2,435	2,144	2,273	0,2609	2,342	2,202	2,240	2,177	0,2354	2,194	2,058	2,387	2,321
VT(21,23)	cm/j	0,2766	3,077	3,921	2,508	3,523	0,9053	3,840	3,158	2,950	3,081	0,9651	3,190	2,396	3,600	3,844
VT(23,26)	cm/j	0,4274	3,965	4,801	3,865	4,525	0,6920	4,535	4,232	4,187	4,201	0,9994	4,292	3,539	4,432	4,894
VT(26,30)	cm/j	0,3409	4,067	5,373	4,114	5,236	0,3739	4,877	4,563	4,648	4,702	0,9952	4,462	3,718	5,063	5,547
VT(30,33)	cm/j	0,3482	4,099	4,776	3,939	4,390	0,4575	4,549	4,326	4,089	4,240	0,9227	4,257	3,781	4,381	4,786

**TABLEAU 6.7. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
NF14	nbr/plt	0,9027	3,917	4,000	4,000	3,958	0,4154	3,958	3,958	4,000	3,958	0,4154	3,958	3,958	4,000	3,958
NF19	nbr/plt	0,7926	5,375	5,792	5,458	5,625	0,0045	5,542	5,625	5,500	5,583	0,4047	5,333	5,500	5,708	5,708
NF26	nbr/plt	0,7978	6,958	7,875	7,000	7,625	0,7879	7,500	7,333	7,250	7,375	0,8981	7,083	6,875	7,667	7,833
NF33	nbr/plt	0,7526	8,875	9,667	8,917	9,458	0,8768	9,292	9,250	9,042	9,333	0,9993	9,042	8,750	9,292	9,833
Ta133	nbr	0,4628	0,125	1,542	0,000	1,083	0,3575	0,792	0,875	0,625	0,458	0,2486	0,125	0,000	1,292	1,333
Gley33	-	0,0000	0,250	0,000	0,250	0,000	0,0000	0,000	0,250	0,000	0,250	0,9999	0,000	0,500	0,000	0,000
PTF33	g/plt	0,3659	290,917	407,021	279,354	382,854	0,3927	357,438	340,500	328,292	333,917	0,9982	310,333	259,938	375,396	414,479
PTF33	g/plt	0,2340	31,496	43,946	30,017	41,621	0,2607	39,058	36,383	36,679	34,958	0,9639	33,392	28,121	42,346	43,221
PRac33	g/plt	0,7615	6,366	7,679	7,685	7,365	0,3031	7,263	6,782	7,495	7,554	0,4584	7,391	6,660	7,368	7,676
PP33	g/plt	0,3986	38,647	52,143	37,701	49,225	0,3565	47,217	43,574	44,414	42,512	0,9512	41,414	34,935	50,217	51,151
TCdTF33	%	0,3444	9,734	5,450	9,794	5,212	0,0916	7,526	7,658	7,401	7,605	0,9488	10,005	9,523	4,922	5,740
TSiTF33	%	0,6923	1,967	1,056	1,996	0,960	0,3274	1,567	1,455	1,474	1,483	0,8420	2,050	1,912	0,991	1,025
TNTF33	%	0,1513	1,517	1,706	1,439	1,657	0,3339	1,598	1,625	1,499	1,597	0,9621	1,533	1,423	1,564	1,798
TPTF33	%	0,3075	0,223	0,255	0,211	0,236	0,6930	0,236	0,242	0,212	0,236	0,2645	0,211	0,223	0,237	0,255
TKTF33	%	0,0165	3,026	1,069	2,990	1,029	0,0236	1,940	2,155	1,905	2,114	0,9486	3,023	2,992	0,821	1,277
TCaTF33	%	0,9551	0,277	0,535	0,299	0,510	0,4270	0,406	0,406	0,398	0,411	0,9731	0,272	0,304	0,533	0,512
TMgTF33	%	0,9088	0,350	0,391	0,359	0,373	0,3418	0,370	0,371	0,362	0,370	0,9894	0,342	0,368	0,390	0,374
TNaTF33	ppm	0,0045	25,000	22,083	25,833	22,917	0,4903	22,500	24,583	22,083	26,667	0,3554	24,167	26,667	20,417	24,583
TSTF33	%	-	0,176	0,170	0,188	0,174	-	0,173	0,173	0,190	0,172	-	0,183	0,182	0,181	0,163
TCITF33	%	0,2959	0,332	0,358	0,310	0,345	0,3565	0,311	0,379	0,287	0,368	0,6923	0,277	0,365	0,322	0,381
TFeTF33	ppm	0,1981	122,792	163,083	145,083	174,958	0,7200	130,292	155,583	124,208	195,833	0,2309	106,625	161,250	147,875	190,167
TMnTF33	ppm	0,3758	43,208	146,917	48,042	144,333	0,1884	88,958	101,167	89,125	103,250	0,9385	35,125	56,125	142,958	148,292
TNiTF33	ppm	0,9991	2,583	3,250	6,875	4,875	0,4926	2,708	3,125	5,917	5,833	0,9822	5,083	4,375	3,542	4,583
TCrTF33	ppm	0,4927	2,083	2,750	2,125	2,458	0,1446	2,292	2,542	2,208	2,375	0,4927	2,083	2,125	2,417	2,792
TCoTF33	ppm	0,4319	1,375	1,708	1,417	1,958	0,8471	1,375	1,708	1,708	1,667	0,4319	1,375	1,417	1,708	1,958
TCuTF33	ppm	0,3804	3,875	6,125	3,875	5,792	0,7298	4,917	5,083	4,542	5,125	0,8774	3,542	4,208	5,917	6,000
TZnTF33	ppm	0,4500	27,250	34,417	21,417	31,042	0,2564	31,208	30,458	26,083	26,375	0,9605	26,125	22,542	31,167	34,292
PSiTF33	g/plt	0,4543	0,630	0,466	0,606	0,398	0,6832	0,591	0,504	0,516	0,488	0,9909	0,686	0,549	0,421	0,443
PNTF33	g/plt	0,2596	0,478	0,744	0,431	0,680	0,4266	0,622	0,599	0,546	0,565	0,9997	0,512	0,396	0,656	0,768
PPTF33	g/plt	0,3806	0,070	0,112	0,063	0,098	0,3531	0,093	0,089	0,078	0,083	0,9667	0,071	0,062	0,100	0,110
PKTF33	g/plt	0,0615	0,955	0,466	0,902	0,420	0,3401	0,710	0,712	0,642	0,680	0,9998	1,010	0,848	0,342	0,544
PCaTF33	g/plt	0,9810	0,087	0,234	0,090	0,211	0,4636	0,164	0,156	0,151	0,150	0,0433	0,091	0,086	0,225	0,220

**TABLEAU 6.8. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
PMgTF33	g/plt	0,8881	0,109	0,172	0,107	0,155	0,4757	0,146	0,135	0,133	0,128	0,3884	0,114	0,102	0,165	0,161
PNaTF33	mg/plt	0,0796	0,785	0,972	0,772	0,947	0,7201	0,881	0,876	0,791	0,928	0,9228	0,804	0,753	0,868	1,050
PCITF33	g/plt	0,2220	0,102	0,157	0,090	0,142	0,3716	0,122	0,137	0,106	0,126	0,9782	0,093	0,099	0,135	0,163
PFETf33	mg/plt	0,1161	3,879	7,220	4,179	7,267	0,4638	5,091	6,009	4,587	6,858	0,4647	3,569	4,488	6,109	8,378
PMnTF33	mg/plt	0,8037	1,320	6,454	1,377	5,992	0,0579	3,703	4,071	3,487	3,883	0,0179	1,160	1,537	6,030	6,416
PNiTF33	mg/plt	0,9927	0,082	0,143	0,212	0,202	0,4665	0,106	0,119	0,210	0,204	0,9982	0,167	0,127	0,149	0,196
PCrTF33	mg/plt	0,4151	0,010	0,063	0,012	0,047	0,1488	0,031	0,042	0,022	0,037	0,4519	0,008	0,014	0,045	0,064
PCoTF33	mg/plt	0,2928	0,040	0,075	0,041	0,080	0,7402	0,054	0,060	0,064	0,057	0,9489	0,046	0,035	0,072	0,083
PCuTF33	mg/plt	0,8560	0,120	0,269	0,115	0,240	0,7471	0,197	0,192	0,171	0,184	0,4374	0,119	0,116	0,149	0,259
PZnTF33	mg/plt	0,1524	0,868	1,519	0,659	1,286	0,4668	1,236	1,150	0,973	0,971	0,9930	0,880	0,647	1,330	1,475
TKmTF33	meq%	0,0165	77,398	27,347	76,487	26,327	0,0236	49,612	55,132	48,734	54,080	0,9486	77,339	76,546	21,008	32,667
TCamTF33	meq%	0,9551	13,831	26,680	14,933	25,443	0,4270	20,270	20,241	19,873	20,503	0,9731	13,582	15,182	26,561	25,561
TMgmTF33	meq%	0,9088	28,843	32,196	29,566	30,732	0,3418	30,475	30,564	29,817	30,482	0,9894	28,160	30,249	32,131	30,797
TNamTF33	meq%	0,0045	0,109	0,096	0,112	0,100	0,4903	0,098	0,107	0,096	0,116	0,3554	0,105	0,116	0,089	0,107
BasTF33	meq%	0,4635	120,180	86,319	121,099	82,602	0,1212	100,455	106,044	98,520	105,181	0,3879	119,186	122,093	79,789	89,132
PKmTF33	meq/plt	0,0615	24,429	11,926	23,080	10,734	0,3401	18,154	18,201	16,414	17,399	0,9998	25,825	21,685	8,744	13,916
PCamTF33	meq/plt	0,9810	4,318	11,660	4,491	10,505	0,4636	8,199	7,779	7,535	7,462	0,0433	4,535	4,274	11,199	10,967
PMgmTF33	meq/plt	0,8881	9,012	14,116	8,795	12,729	0,4757	12,016	11,112	10,977	10,547	0,3884	9,397	8,410	13,596	13,249
PNamTF33	meq/plt	0,0796	0,034	0,042	0,034	0,041	0,7201	0,038	0,038	0,034	0,040	0,9228	0,035	0,033	0,038	0,046
PBasTF33	meq/plt	0,4134	37,793	37,744	36,400	34,009	0,4608	38,407	37,130	34,960	35,448	0,9986	39,791	34,402	33,577	38,177
PClmTF33	meq/plt	0,2220	2,878	4,417	2,540	4,008	0,3716	3,433	3,862	2,996	3,551	0,9782	2,614	2,804	3,815	4,609
K/BasTF33	%	0,4893	63,915	31,022	62,797	31,428	0,3535	45,337	49,600	45,485	48,740	1,0000	64,615	62,097	26,207	36,243
Ca/BasTF33	%	0,7356	11,606	31,174	12,381	30,988	0,4299	22,433	20,347	22,385	20,984	1,0000	11,476	12,511	33,342	28,820
Mg/BasTF33	%	0,2860	24,388	37,691	24,731	37,462	0,1634	32,129	29,950	32,031	30,161	0,9998	23,821	25,297	40,339	34,814
Na/BasTF33	%	0,3582	0,091	0,112	0,092	0,121	0,3404	0,101	0,103	0,099	0,115	0,1576	0,088	0,095	0,112	0,122
Mg/CaTF33	-	0,7656	2,099	1,213	1,998	1,211	0,0307	1,673	1,639	1,623	1,586	0,4558	2,082	2,015	1,213	1,210
Mono/BivTF33	-	0,4884	1,825	0,465	1,734	0,470	0,0302	1,133	1,157	1,087	1,117	0,9920	1,861	1,698	0,359	0,577
Ca/(Ca+Mg)TF	-	0,7863	0,324	0,453	0,336	0,453	0,2415	0,386	0,390	0,391	0,398	0,3640	0,325	0,335	0,452	0,453
(K+Na)/CITF	-	0,7272	8,552	2,673	9,380	2,676	0,8055	5,773	5,451	6,676	5,380	0,9996	10,131	7,801	2,318	3,030
ETPc/PP33	ml/g	0,2312	156,103	155,008	164,427	161,485	0,7097	151,956	159,155	162,747	163,164	0,9889	154,150	166,380	160,553	155,939

**TABLEAU 6.9. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF					SF				
		Proba	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
CondPer33	µS/cm	0,0359	565,125	1062,79	513,125	1015,96	0,4524	772,708	855,208	759,542	769,542	0,9878	438,958	639,292	1093,29	985,46
pHPer33	-	0,0333	7,435	6,548	7,359	6,461	0,4766	6,893	7,089	6,728	7,092	0,9979	7,040	7,754	6,582	6,427
THCO <sub>3</sub> Per33	meq/l	0,0435	2,787	0,348	2,818	0,410	0,2847	0,844	2,291	0,785	2,444	1,0000	1,199	4,407	0,430	0,328
TCiPer33	meq/l	0,0848	0,053	0,026	0,056	0,027	0,3495	0,030	0,050	0,035	0,048	0,3843	0,045	0,065	0,020	0,032
TSO <sub>4</sub> Per33	meq/l	0,2835	2,614	12,480	1,889	11,167	0,3191	7,754	7,340	7,071	5,985	0,2777	2,482	2,020	12,342	11,305
TNO <sub>3</sub> Per33	meq/l	0,1981	0,314	0,172	0,333	0,158	0,2462	0,230	0,256	0,211	0,280	0,3856	0,330	0,317	0,111	0,220
TPO <sub>4</sub> Per33	mg/l	0,0348	1,641	0,544	1,821	0,754	0,3899	0,873	1,313	1,252	1,323	0,1843	1,643	1,818	0,481	0,817
Σ-Per33	meq/l	0,2625	5,768	13,026	5,097	11,762	0,1938	8,858	9,937	8,102	8,757	0,9630	4,056	6,809	12,904	11,885
TCaPer33	meq/l	0,2693	2,660	11,356	2,388	10,582	0,4908	6,879	7,138	6,868	6,102	0,9599	1,888	3,160	11,858	10,080
TMgPer33	meq/l	0,4507	3,075	1,194	2,832	1,198	0,0532	1,752	2,517	1,619	2,411	0,9995	2,154	3,753	1,216	1,176
TKPer33	meq/l	0,0395	0,165	0,042	0,175	0,054	0,2192	0,082	0,124	0,101	0,128	0,0527	0,152	0,188	0,032	0,064
TNaPer33	meq/l	0,8549	0,399	0,263	0,332	0,304	0,2253	0,267	0,395	0,264	0,372	0,4716	0,293	0,438	0,238	0,329
Σ+Per33	meq/l	0,0669	6,299	12,855	5,725	12,138	0,4315	8,980	10,174	8,851	9,012	0,9895	4,487	7,537	13,345	11,649
TFePer33	mg/l	0,1660	0,150	0,152	0,188	0,208	0,3346	0,153	0,148	0,156	0,239	0,1800	0,154	0,183	0,155	0,204
TMnPer33	mg/l	0,7984	0,163	0,240	0,243	0,196	0,3767	0,156	0,248	0,198	0,242	0,2271	0,162	0,244	0,191	0,245
TNiPer33	mg/l	0,9984	0,050	0,052	0,234	0,050	0,2586	0,048	0,054	0,148	0,136	0,1172	0,142	0,142	0,055	0,047
TCrPer33	mg/l	0,2637	0,065	0,087	0,064	0,081	0,4709	0,076	0,076	0,077	0,068	0,4308	0,065	0,065	0,088	0,080
TCoPer33	mg/l	0,8063	0,044	0,042	0,040	0,042	0,3328	0,044	0,041	0,042	0,040	0,4759	0,042	0,041	0,043	0,040
TSiO <sub>2</sub> Per33	mg/l	0,0617	39,500	16,917	39,833	17,458	0,3502	26,250	30,167	25,375	31,917	0,9997	34,083	45,250	17,542	16,833
Mg/CaPer33	-	0,1267	1,145	1,106	1,161	0,116	0,4977	0,620	0,631	0,620	0,657	0,3520	1,137	1,170	0,103	0,119

**TABLEAU 6.10. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

84

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
pF2.5r	%	0,2694	18,983	27,804	19,112	28,121	0,2260	22,721	24,067	23,021	24,212	0,0824	18,400	19,696	27,343	28,583
pF3,0r	%	-	15,600	24,400	15,650	24,500	-	19,950	20,050	19,900	20,250	-	15,600	15,650	24,250	24,650
pF4,2r	%	0,7359	9,633	18,233	9,667	18,221	0,8137	13,883	13,983	13,921	13,967	0,9987	9,650	9,650	18,154	18,300
pHH <sub>2</sub> Or	-	0,4108	6,137	5,587	6,125	5,612	0,4108	5,821	5,912	5,808	5,929	0,9959	6,038	6,225	5,592	5,617
pHKClr	-	0,8270	5,250	5,596	5,221	5,617	0,1859	5,367	5,479	5,358	5,479	1,0000	5,108	5,363	5,617	5,596
CTr	mg/g	0,7420	10,750	9,563	10,758	9,692	0,1615	10,033	10,279	10,092	10,358	0,9934	10,550	10,958	9,575	9,679
NTr	mg/g	0,1958	1,138	0,491	1,138	0,489	0,0495	0,780	0,848	0,780	0,847	0,9998	1,120	1,156	0,440	0,540
C/Nr	-	0,3351	9,457	19,708	9,455	20,058	0,1646	15,482	13,683	15,692	13,821	1,0000	9,420	9,493	21,754	18,012
CaEr	meq%	0,0194	8,721	2,717	8,756	2,754	0,8413	5,616	5,822	5,734	5,777	0,7918	8,640	8,838	2,710	2,761
MgEr	meq%	0,4840	7,173	0,258	7,073	0,235	0,2087	3,738	3,693	3,691	3,616	0,9249	7,205	7,041	0,224	0,268
KEr	meq%	0,2089	0,272	0,042	0,261	0,035	0,9357	0,138	0,175	0,143	0,152	0,8328	0,250	0,282	0,031	0,045
NaEr	meq%	0,8096	0,278	0,140	0,239	0,134	0,3275	0,205	0,213	0,177	0,196	0,9943	0,270	0,247	0,111	0,162
ΣBEr	meq%	0,4142	16,444	3,156	16,329	3,157	0,6789	9,697	9,903	9,745	9,741	0,4196	16,365	16,408	3,076	3,237
CECr	meq%	0,4064	15,483	3,287	15,604	3,525	0,0321	9,546	9,225	9,729	9,400	0,9988	15,900	15,188	3,375	3,438
ΣBE/CECr	%	0,6985	106,333	96,899	104,693	90,412	0,4266	98,783	104,449	96,054	99,050	0,2830	102,924	108,101	91,913	95,398
Condr	µS/cm	-	233,000	541,500	242,500	524,500	-	373,500	401,000	370,000	397,000	-	230,500	245,000	513,000	553,000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Asr	mg/g	0,3952	0,131	0,410	0,130	0,383	0,2798	0,262	0,279	0,243	0,270	0,3757	0,113	0,148	0,392	0,400
Ni Extract.	ppm	-	12,500	3,350	17,950	6,300	-	7,100	8,750	12,600	11,650	-	15,000	15,450	4,700	4,950

**TABLEAU 6.11. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
ETPh2	ml/h	1,023	15,75	0,1431	1,000	0,857	1,048	1,021	1,067	0,966	1,121	1,103	
ETPh5	ml/h	0,967	13,88	0,9658	0,986	0,803	1,001	1,082	0,920	0,762	1,209	0,975	7>3=8=5>6; 1>2
ETPh9	ml/h	1,789	11,41	0,2466	1,684	1,653	1,925	1,796	1,845	1,747	1,892	1,769	
ETPh12	ml/h	2,055	13,70	0,3542	1,853	1,898	2,245	2,101	2,025	1,977	2,134	2,203	
ETPh14	ml/h	4,871	15,25	0,4934	4,382	4,394	5,436	5,085	4,915	4,589	5,137	5,033	
ETPh16	ml/h	5,108	14,89	0,2989	4,561	4,576	5,569	5,233	5,146	4,990	5,479	5,313	
ETPh19	ml/h	8,534	14,91	0,1574	7,602	7,325	9,669	9,316	8,377	7,661	9,416	8,906	
ETPh21	ml/h	10,552	19,60	0,0345	9,406	8,832	12,191	11,186	10,226	9,255	12,311	11,010	
ETPh23	ml/h	15,900	13,68	0,4745	15,126	12,338	17,991	18,450	14,536	12,968	17,977	17,813	
ETPh26	ml/h	14,291	14,59	0,7282	13,111	10,683	16,493	16,803	12,708	11,902	16,692	15,939	
ETPh30	ml/h	17,553	12,30	0,9207	16,456	12,947	20,404	21,080	14,637	13,883	21,018	19,996	
ETPh33	ml/h	20,310	14,83	0,3996	18,324	16,054	24,520	24,559	17,927	14,887	22,536	23,676	
H9	cm	10,376	8,16	0,4802	9,667	9,517	11,042	11,033	10,542	10,025	10,425	10,758	
H12	cm	13,352	6,73	0,2174	12,675	12,358	14,150	13,942	13,392	12,917	13,733	13,650	
H14	cm	15,696	7,19	0,2049	14,617	14,625	16,733	16,525	15,675	15,233	16,242	15,917	
H16	cm	18,007	6,51	0,4531	16,933	16,950	19,200	19,025	17,825	16,983	18,567	18,575	
H19	cm	23,108	6,59	0,2918	21,900	21,375	24,608	24,817	22,550	21,550	23,833	24,233	
H21	cm	27,589	7,72	0,0468	26,392	25,317	29,483	29,683	26,833	25,842	28,508	28,650	
H23	cm	34,103	8,39	0,2041	33,833	30,183	37,400	37,450	32,150	30,558	34,992	36,258	
H26	cm	46,972	8,58	0,3290	47,242	40,567	51,200	52,458	44,492	41,408	47,783	50,617	
H30	cm	65,760	9,29	0,2991	65,458	54,883	72,000	74,642	61,975	56,833	67,483	72,808	
H33	cm	78,664	9,24	0,1643	78,617	66,317	86,133	89,167	74,358	68,083	79,633	87,000	
HT33	cm	176,646	5,60	0,0474	174,458	158,250	188,250	192,958	169,333	159,542	179,958	190,417	
VT(9,12)	cm/j	0,992	14,31	0,3977	1,003	0,947	1,036	0,969	0,950	0,964	1,103	0,964	
VT(12,14)	cm/j	1,172	18,37	0,0828	0,971	1,133	1,292	1,292	1,142	1,158	1,254	1,133	
VT(14,16)	cm/j	1,156	21,68	0,7728	1,158	1,162	1,233	1,250	1,075	0,875	1,163	1,329	
VT(16,19)	cm/j	1,700	12,02	0,3942	1,656	1,475	1,803	1,931	1,575	1,522	1,756	1,886	
VT(19,21)	cm/j	2,240	17,82	0,3905	2,246	1,971	2,437	2,433	2,142	2,146	2,337	2,208	
VT(21,23)	cm/j	3,257	25,44	0,2826	3,721	2,433	3,958	3,883	2,658	2,358	3,242	3,804	
VT(23,26)	cm/j	4,289	12,29	0,4691	4,469	3,461	4,600	5,003	4,114	3,617	4,264	4,786	
VT(26,30)	cm/j	4,697	14,99	0,1825	4,554	3,579	5,200	5,546	4,371	3,856	4,925	5,548	
VT(30,33)	cm/j	4,301	19,75	0,2784	4,386	3,811	4,711	4,842	4,128	3,750	4,050	4,731	

**TABLEAU 6.12. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
NF14	nbr/plt	3,969	3,24	0,4154	3,917	3,917	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,917	
NF19	nbr/plt	5,563	6,09	0,4047	5,250	5,500	5,833	5,750	5,417	5,500	5,583	5,667	
NF26	nbr/plt	7,365	5,31	0,4103	7,167	6,750	7,833	7,917	7,000	7,000	7,500	7,750	
NF33	nbr/plt	9,229	4,000	0,3000	9,083	8,667	9,500	9,833	9,000	8,833	9,083	9,833	
Tal33	nbr	0,688	132,50	0,3504	0,250	0,000	1,333	1,750	0,000	0,000	1,250	0,917	
Gley33	-	0,125	147,36	0,0000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000	0,000	
PTF33	g/plt	340,036	13,16	0,4570	325,792	256,042	389,083	424,958	294,875	263,833	361,708	404,000	
PTF33	g/plt	36,770	13,45	0,3871	35,000	27,992	43,117	44,775	31,783	28,250	41,575	41,667	
PRac33	g/plt	7,274	32,54	0,4704	6,646	6,086	7,881	7,477	8,135	7,234	6,855	7,874	
PP33	g/plt	44,429	14,34	0,4656	42,909	34,386	51,525	52,762	39,919	35,484	48,909	49,541	
TCdTF33	%	7,548	14,97	0,2148	10,038	9,431	5,015	5,885	9,973	9,615	4,829	5,596	
TSiTF33	%	1,495	13,97	0,2248	2,074	1,859	1,060	1,052	2,027	1,966	0,922	0,999	
TNIF33	%	1,580	17,64	0,3244	1,607	1,428	1,589	1,822	1,459	1,419	1,539	1,774	
TPTF33	%	0,231	13,04	0,4614	0,224	0,221	0,248	0,262	0,198	0,224	0,226	0,247	
TKIF33	%	2,029	20,87	0,2842	3,062	2,989	0,817	1,321	2,985	2,995	0,826	1,233	
TCaTF33	%	0,405	9,75	0,2376	0,263	0,292	0,550	0,520	0,282	0,317	0,515	0,505	
TMgTF33	%	0,369	7,27	0,2028	0,340	0,360	0,400	0,382	0,344	0,375	0,381	0,366	
TNaTF33	ppm	23,958	25,52	0,7557	23,333	26,667	21,667	22,500	25,000	26,667	19,167	26,667	
TSTF33	%	0,177	0,00	-	0,167	0,186	0,180	0,160	0,199	0,178	0,182	0,167	-
TCITF33	%	0,336	14,49	0,9541	0,306	0,359	0,317	0,398	0,248	0,372	0,327	0,364	4>3; 7-1>5
TFeTF33	ppm	151,479	48,32	0,6879	117,917	127,667	142,667	183,500	95,333	194,833	153,083	196,833	
TMnTF33	ppm	95,625	14,87	0,3311	34,083	52,333	143,833	150,000	36,167	59,917	142,083	146,583	
TNiTF33	ppm	4,396	27,97	0,7976	2,583	2,583	2,833	3,677	7,583	6,167	4,250	5,500	
TCrTF33	ppm	2,354	34,82	0,2732	2,083	2,083	2,500	3,000	2,083	2,167	2,333	2,583	
TCoTF33	ppm	1,615	27,77	0,1326	1,250	1,500	1,500	1,917	1,500	1,333	1,917	2,000	
TCuTF33	ppm	4,917	13,12	0,1812	3,667	4,083	6,167	6,083	3,417	4,333	5,667	5,917	
TZnTF33	ppm	28,531	19,27	0,3746	28,583	25,917	33,833	35,000	23,667	19,167	28,500	33,583	
PSiTF33	g/plt	0,525	19,02	0,3626	0,726	0,533	0,456	0,475	0,647	0,566	0,386	0,410	
PNTF33	g/plt	0,583	15,47	0,7370	0,561	0,394	0,684	0,804	0,464	0,398	0,628	0,732	
PPTF33	g/plt	0,086	16,00	0,8022	0,078	0,061	0,107	0,117	0,063	0,063	0,094	0,102	
PKTF33	g/plt	0,686	20,61	0,7635	1,070	0,840	0,350	0,583	0,950	0,855	0,334	0,505	
PCaTF33	g/plt	0,155	12,19	0,3280	0,092	0,081	0,237	0,231	0,090	0,090	0,212	0,209	
PMgTF33	g/plt	0,136	11,26	0,7101	0,119	0,100	0,173	0,170	0,109	0,105	0,158	0,152	

**TABLEAU 6.13. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
PNaTF33	mg/plt	0,869	25,83	0,4499	0,820	0,749	0,941	1,002	0,787	0,757	0,795	1,099	
PCITF33	g/plt	0,123	12,72	0,9974	0,107	0,097	0,136	0,177	0,078	0,102	0,134	0,150	4>8=7=3>1=2=6>5
PFeTF33	mg/plt	5,636	55,33	0,4042	4,143	3,615	6,039	8,402	2,995	5,362	6,179	8,355	
PMnTF33	mg/plt	3,786	18,14	0,3904	1,190	1,450	6,216	6,691	1,130	1,625	5,844	6,140	
PNiTF33	mg/plt	0,160	27,22	0,7205	0,090	0,074	0,122	0,165	0,244	0,181	0,176	0,228	
PCrTF33	mg/plt	0,033	117,59	0,1024	0,009	0,011	0,053	0,072	0,008	0,017	0,036	0,057	
PCoTF33	mg/plt	0,059	32,10	0,4067	0,044	0,036	0,065	0,085	0,048	0,034	0,079	0,081	
PCuTF33	mg/plt	0,186	15,07	0,4517	0,128	0,111	0,266	0,272	0,109	0,121	0,232	0,247	
PZnTF33	mg/plt	1,083	21,12	0,2194	0,996	0,739	1,477	1,561	0,764	0,554	1,183	1,388	
TKmTF33	meq%	51,890	20,87	0,2842	78,326	76,469	20,899	33,795	76,352	76,623	21,116	31,538	
TCamTF33	meq%	20,222	9,75	0,2376	13,110	14,552	27,430	25,929	14,054	15,812	25,692	25,194	
TMgmTF33	meq%	30,334	7,27	0,2028	28,023	29,662	32,927	31,466	28,297	30,835	31,336	30,129	
TNamTF33	meq%	0,104	25,52	0,7557	0,101	0,116	0,094	0,098	0,109	0,116	0,083	0,116	
BasTF33	meq%	102,550	12,33	0,2436	119,561	120,800	81,350	91,289	118,812	123,386	78,228	86,976	
PKmTF33	meq/plt	17,542	20,61	0,7635	27,360	21,499	8,949	14,903	24,289	21,871	8,540	12,928	
PCamTF33	meq/plt	7,744	12,19	0,3280	4,594	4,042	11,804	11,516	4,476	4,506	10,594	10,417	
PMgmTF33	meq/plt	11,163	11,26	0,7101	9,819	8,205	14,213	14,019	8,975	8,615	12,979	12,479	
PNamTF33	meq/plt	0,038	25,83	0,4499	0,036	0,033	0,041	0,044	0,034	0,033	0,035	0,048	
PBasTF33	meq/plt	36,487	13,29	0,7848	41,808	33,778	35,007	40,482	37,774	35,025	32,146	35,872	
PClmTF33	meq/plt	3,461	12,72	0,9974	3,024	2,732	3,842	4,992	2,204	2,876	3,789	4,227	4>8=7=3>1=2=6>5
K/BasTF33	%	47,291	7,87	0,2447	65,089	62,741	25,585	36,460	64,140	61,453	26,830	36,027	
Ca/BasTF33	%	21,537	6,82	0,4465	11,095	12,118	33,771	28,577	11,857	12,904	32,912	29,064	
Mg/BasTF33	%	31,068	8,59	0,0113	23,731	25,045	40,527	34,855	23,912	25,549	40,151	34,773	
Na/BasTF33	%	0,104	24,18	0,8736	0,085	0,097	0,116	0,109	0,091	0,094	0,107	0,135	
Mg/CaTF33	-	1,630	8,80	0,3514	2,142	2,057	1,204	1,221	2,022	1,973	1,223	1,199	
Mono/BivTF33	-	1,124	20,85	0,2328	1,917	1,732	0,348	0,583	1,804	1,664	0,371	0,570	
Ca/(Ca+Mg)TF	-	0,391	4,21	0,3965	0,318	0,329	0,454	0,451	0,332	0,340	0,451	0,455	
(K+Na)/CITF	-	5,820	22,07	0,8609	9,195	7,908	2,351	2,995	11,067	7,693	2,285	3,066	
ETPc/PP33	mg/l	159,256	6,87	0,4705	147,124	165,083	156,789	153,227	161,175	167,677	164,318	158,651	

**TABLEAU 6.14. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

88

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
CondPer33	µS/cm	789,250	25,76	0,3806	473,083	657,167	1072,33	1053,25	404,833	621,417	1114,25	917,667	
pHPer33	-	6,951	6,38	0,8773	7,220	7,650	6,567	6,528	6,859	7,858	6,597	6,325	
THCO <sub>3</sub> Per33	meq/l	1,591	62,74	0,4688	1,343	4,231	0,345	0,351	1,054	4,582	0,515	0,305	
TCIPer33	meq/l	0,041	68,99	0,3843	0,039	0,067	0,020	0,032	0,050	0,062	0,021	0,033	
TSO <sub>4</sub> Per33	meq/l	7,037	39,48	0,3520	2,864	2,363	12,643	12,317	2,101	1,677	12,041	10,293	
TNO <sub>3</sub> Per33	meq/l	0,244	96,99	0,3890	0,301	0,327	0,159	0,186	0,359	0,307	0,063	0,253	
TPO <sub>4</sub> Per33	mg/l	1,190	102,68	0,6897	1,279	2,003	0,466	0,623	2,008	1,634	0,497	1,012	
Σ-Per33	meq/l	8,913	34,23	0,4379	4,547	6,988	13,168	12,885	3,564	6,630	12,640	10,884	
TCaPer33	meq/l	6,746	37,19	0,4070	2,075	3,245	11,682	11,030	1,701	3,074	12,034	9,129	
TMgPer33	meq/l	2,075	33,54	0,3977	2,369	3,781	1,134	1,254	1,939	3,724	1,298	1,097	
TKPer33	meq/l	0,109	81,93	0,4615	0,135	0,194	0,030	0,053	0,168	0,181	0,033	0,075	
TNaPer33	meq/l	0,325	39,14	0,7018	0,341	0,457	0,193	0,333	0,245	0,418	0,283	0,325	
Σ+Per33	meq/l	9,254	33,02	0,3677	4,920	7,677	13,040	12,671	4,053	7,398	13,649	10,627	
TFePer33	mg/l	0,174	89,53	0,7422	0,132	0,168	0,175	0,128	0,177	0,198	0,135	0,280	
TMnPer33	mg/l	0,211	78,83	0,1004	0,113	0,213	0,198	0,282	0,212	0,275	0,184	0,208	
TNiPer33	mg/l	0,098	94,65	0,3506	0,041	0,062	0,058	0,048	0,245	0,225	0,052	0,051	
TCrPer33	mg/l	0,074	31,48	0,0258	0,063	0,067	0,089	0,085	0,066	0,062	0,087	0,075	
TCoPer33	mg/l	0,042	11,81	0,3328	0,045	0,042	0,043	0,040	0,040	0,040	0,043	0,040	
TSiO <sub>2</sub> Per33	mg/l	28,427	16,82	0,7224	35,333	43,667	17,167	16,667	32,833	46,833	17,917	17,000	
Mg/CaPer33	-	0,632	10,08	0,4886	1,142	1,149	0,098	0,114	1,132	1,190	0,108	0,123	

**TABLEAU 6.15. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (1<sup>er</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générale	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
pF2.5r	%	23,505	3,99	0,4570	18,400	19,567	27,042	28,567	18,400	19,825	27,642	28,600	
pF3,0r	%	20,038	-	-	15,600	15,600	24,300	24,500	15,600	15,700	24,200	24,800	
pF4,2r	%	13,939	0,50	0,9446	9,600	9,667	18,167	18,300	9,700	9,633	18,142	18,300	
pHH <sub>2</sub> Or	-	5,868	1,55	0,0648	6,050	6,225	5,592	5,600	6,025	6,225	5,592	5,633	
pHKClr	-	5,421	1,16	0,3666	5,133	5,367	5,600	5,592	5,083	5,358	5,633	5,600	
CTr	mg/g	10,191	1,79	0,9319	10,600	10,900	9,467	9,658	10,500	11,017	9,683	9,700	
NTr	mg/g	0,814	2,91	0,1497	1,120	1,155	0,441	0,542	1,120	1,157	0,440	0,538	
C/Nr	-	14,670	4,23	0,4990	9,464	9,450	21,499	17,917	9,375	9,536	22,009	18,107	
CaEr	meq%	5,737	3,45	0,3296	8,610	8,833	2,622	2,812	8,670	8,842	2,798	2,711	
MgEr	meq%	3,685	5,40	0,4448	7,270	7,076	0,206	0,310	7,140	7,006	0,242	0,227	
KEr	meq%	0,152	16,33	0,2907	0,250	0,293	0,027	0,057	0,250	0,272	0,036	0,033	
NaEr	meq%	0,197	22,04	0,7740	0,300	0,256	0,109	0,170	0,240	0,237	0,113	0,154	
ΣBEr	meq%	9,771	3,68	0,7446	16,430	16,458	2,963	3,348	16,300	16,358	3,189	3,125	
CECr	meq%	9,475	3,89	0,9606	15,950	15,017	3,142	3,433	15,850	15,358	3,608	3,442	1>5>6=2>4=3=8=7
ΣBE/CECr	%	99,584	8,03	0,0472	103,009	109,656	94,556	99,242	102,839	106,546	89,270	91,553	
Cond	µS/cm	385,375	-	-	226,000	240,000	521,000	562,000	235,000	250,000	505,000	544,000	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Asr	mg/g	0,264	20,21	0,3723	0,112	0,150	0,413	0,408	0,113	0,147	0,372	0,393	
Ni Extract.	ppm	10,025	-	-	10,700	14,300	3,500	3,200	19,300	16,600	5,900	6,700	



**ANNEXE 7**

**RECAPITULATIFS DES RESULTATS DES ANALYSES DE VARIANCE  
DU DEUXIEME ESSAI**



**TABLEAU 7.1. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Proba.	Ni Ni1	Ni2	Proba.	S S1	S2	Proba.	F F1	F2	Ni	S	F
ETPh9	ml/h	1,409	8,44	0,8034	1,432	1,387	0,9389	1,442	1,376	0,7884	1,431	1,387			
ETPh12	ml/h	1,592	17,47	0,9611	1,677	1,507	0,7678	1,641	1,543	0,4693	1,622	1,562	1>2		
ETPh16	ml/h	2,101	15,97	0,9999	2,342	1,861	0,9976	2,262	1,940	0,4659	2,070	2,132	1>2	1>2	
ETPh19	ml/h	1,973	18,49	1,0000	2,293	1,653	0,9988	2,164	1,782	0,8206	1,901	2,045	1>2	1>2	
ETPh21	ml/h	2,656	18,31	1,0000	3,220	2,093	0,9986	2,906	2,407	0,9540	2,513	2,800	1>2	1>2	2>1
ETPh23	ml/h	2,461	19,44	1,0000	3,073	1,849	0,9993	2,730	2,192	0,8770	2,353	2,569	1>2	1>2	
ETPh26	ml/h	3,315	25,58	1,0000	4,125	2,504	0,9522	3,563	3,067	0,9923	2,969	3,661	1>2	1>2	2>1
ETPh28	ml/h	4,775	21,87	1,0000	6,177	3,373	0,9440	5,069	4,480	0,9499	4,473	5,077	1>2		
ETPh30	ml/h	5,224	22,20	1,0000	7,168	3,281	0,9984	5,812	4,637	0,9816	4,814	5,635	1>2	1>2	2>1
ETPh33	ml/h	5,991	26,45	1,0000	8,350	3,631	0,9280	6,410	5,572	0,9500	5,532	6,449	1>2		2>1
ETPh35	ml/h	5,777	24,79	1,0000	7,853	3,700	0,9974	6,457	5,096	0,8578	5,469	6,084	1>2	1>2	
ETPh36	ml/h	7,316	31,17	1,0000	10,115	4,517	0,2106	7,229	7,403	0,6781	6,984	7,648	1>2		
H9	cm	8,642	9,24	0,9995	9,112	8,172	0,9986	9,054	8,230	0,4952	8,561	8,723	1>2	1>2	
H14	cm	13,118	7,76	1,0000	13,954	12,281	0,9977	13,610	12,625	0,7893	12,931	13,303	1>2	1>2	
H19	cm	17,924	8,09	1,0000	19,255	16,594	0,9974	18,615	17,234	0,9691	17,459	18,390	1>2	1>2	2>1
H23	cm	22,324	8,91	1,0000	24,329	20,319	0,9995	23,475	21,173	0,9974	21,379	23,269	1>2	1>2	2>1
H26	cm	26,737	9,12	1,0000	29,958	23,517	0,9999	28,377	25,098	0,9941	25,704	27,771	1>2	1>2	2>1
H30	cm	33,989	8,95	1,0000	39,852	28,125	1,0000	36,475	31,502	0,9997	32,102	35,875	1>2	1>2	2>1
H33	cm	42,455	8,93	1,0000	51,846	33,065	1,0000	46,002	38,908	0,9988	40,463	44,448	1>2	1>2	2>1
H36	cm	51,008	10,56	1,0000	64,133	37,883	1,0000	55,650	46,367	0,9956	48,629	53,388	1>2	1>2	2>1
HT36	cm	143,932	9,85	1,0000	170,052	117,813	1,0000	154,969	132,896	0,7883	141,344	146,521	1>2	1>2	
VT(9,14)	cm/j	0,895	19,18	0,9943	0,968	0,822	0,4743	0,911	0,879	0,4036	0,874	0,916	1>2		
VT(14,19)	cm/j	0,961	21,17	0,9978	1,060	0,863	0,8153	1,001	0,922	0,9370	0,906	1,017	1>2		
VT(19,23)	cm/j	1,100	29,85	0,9986	1,268	0,931	0,9808	1,215	0,985	0,9847	0,980	1,220	1>2	1>2	2>1
VT(23,26)	cm/j	1,471	26,55	1,0000	1,876	1,066	0,9934	1,634	1,308	0,3901	1,442	1,501	1>2	1>2	
VT(26,30)	cm/j	1,813	24,48	1,0000	2,473	1,152	0,9975	2,024	1,601	0,9976	1,599	2,026	1>2	1>2	2>1
VT(30,33)	cm/j	2,822	20,06	1,0000	3,998	1,647	0,9997	3,176	2,469	0,3291	2,787	2,858	1>2	1>2	
VT(33,36)	cm/j	2,851	25,10	1,0000	4,096	1,606	0,9985	3,216	2,486	0,7815	2,722	2,980	1>2	1>2	

**TABEAU 7.2. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Proba.	Ni Ni1	Ni2	Proba.	S S1	S2	Proba.	F F1	F2	Ni	S	F
NF23	nbr/plt	4,647	6,03	1,0000	4,938	4,356	0,9969	4,777	4,517	0,3669	4,627	4,667	1>2	1>2	
NF35	nbr/plt	6,697	15,62	1,0000	7,760	5,633	0,9982	7,217	6,177	0,1632	6,727	6,667	1>2	1>2	
Chloros35	-	0,858	75,36	0,9979	0,542	1,175	1,0000	0,313	1,404	0,9276	1,029	0,688	2>1	2>1	
Enrac35	-	1,079	30,21	1,0000	0,167	1,991	1,0000	0,697	1,460	0,1006	1,084	1,073	2>1	2>1	
PTFF36	g/plt	161,443	21,15	1,0000	238,617	84,269	1,0000	191,221	131,665	0,9991	142,835	180,050	1>2	1>2	2>1
PTF36	g/plt	14,232	22,18	1,0000	20,225	8,239	1,0000	17,183	11,281	0,9982	12,662	15,802	1>2	1>2	2>1
PRac36	g/plt	1,544	39,27	1,0000	2,038	1,049	1,0000	2,407	0,681	0,1653	1,526	1,562	1>2	1>2	
PP36	g/plt	15,776	22,10	1,0000	22,263	9,289	1,0000	19,590	11,962	0,9964	14,188	17,364	1>2	1>2	2>1
TCdTF36	%	11,859	12,65	0,9999	10,735	12,983	0,9999	12,944	10,774	0,4753	12,000	11,718	2>1	1>2	
TSiTF36	%	2,042	10,21	0,4126	2,067	2,016	1,0000	2,575	1,509	1,0000	2,217	1,866		1>2	1>2
TNIF36	%	3,471	5,66	1,0000	3,621	3,321	0,4608	3,492	3,449	0,9862	3,544	3,398	1>2		1>2
TPTF36	%	0,310	16,93	0,9991	0,339	0,282	1,0000	0,240	0,381	0,9925	0,332	0,289	1>2	2>1	1>2
TKTF36	%	3,807	17,66	1,0000	3,209	4,405	0,9999	4,292	3,322	0,1178	3,793	3,821	2>1	1>2	
TCaTF36	%	0,584	10,78	0,7300	0,594	0,574	1,0000	0,413	0,756	0,9063	0,600	0,569		2>1	
TMgTF36	%	0,438	10,67	1,0000	0,485	0,390	0,1361	0,436	0,439	0,8886	0,448	0,427	1>2		
TNaTF36	ppm	31,667	24,51	0,9697	29,167	34,167	0,8012	30,208	33,125	0,9543	33,958	29,375	2>1		1>2
TFeTF36	ppm	116,354	21,56	0,9953	127,333	105,375	0,3790	113,104	119,604	0,4132	118,375	114,333	1>2		
TAITF36	ppm	20,813	46,07	0,9087	18,438	23,188	0,9030	23,146	18,479	0,0368	20,875	20,750			
TMnTF36	ppm	150,740	12,91	1,0000	174,188	127,292	1,0000	69,896	231,583	0,9823	143,812	157,667	1>2	2>1	2>1
TNiTF36	ppm	63,469	108,41	1,0000	5,104	121,833	0,9980	29,563	97,375	0,7538	51,792	75,146	2>1	2>1	
TCrTF36	ppm	2,385	25,30	0,4130	2,458	2,312	0,9530	2,208	2,562	0,0987	2,396	2,375		2>1	
TCoTF36	ppm	3,750	28,85	0,0045	3,750	3,750	1,0000	2,542	4,958	0,7066	3,583	3,917		2>1	
TCuTF36	ppm	7,958	26,56	1,0000	9,750	6,167	0,9957	7,021	8,896	0,4641	8,187	7,729	1>2	2>1	
TZnTF36	ppm	46,552	13,73	1,0000	54,708	38,396	0,9999	51,042	42,063	0,4691	47,146	45,958	1>2	1>2	
PSiTF36	g/plt	0,300	16,67	1,0000	0,417	0,182	1,0000	0,421	0,178	0,9967	0,277	0,322	1>2	1>2	2>1
PNTF36	g/plt	0,497	20,26	1,0000	0,721	0,273	1,0000	0,597	0,396	0,9987	0,444	0,549	1>2	1>2	2>1
PPTF36	g/plt	0,042	23,21	1,0000	0,065	0,018	0,3967	0,043	0,040	0,9815	0,038	0,045	1>2		2>1
PKTF36	g/plt	0,492	15,94	1,0000	0,626	0,359	1,0000	0,689	0,296	1,0000	0,411	0,573	1>2	1>2	2>1
PCaTF36	g/plt	0,078	33,00	1,0000	0,116	0,041	0,9893	0,068	0,088	0,9836	0,069	0,088	1>2	2>1	2>1

**TABEAU 7.3. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Proba.	Ni Ni1	Ni2	Proba.	S S1	S2	Proba.	F F1	F2	Ni	S	F
PMgTF36	g/plt	0,067	28,10	1,0000	0,099	0,034	0,9939	0,074	0,059	0,9837	0,060	0,073	1>2	1>2	2>1
PNaTF36	mg/plt	0,402	24,28	1,0000	0,561	0,244	1,0000	0,491	0,313	0,9947	0,360	0,444	1>2	1>2	2>1
PFeTF36	mg/plt	1,692	41,08	1,0000	2,530	0,855	0,9751	1,925	1,460	0,9768	1,456	1,928	1>2	1>2	2>1
PAITF36	mg/plt	0,278	56,26	0,9991	0,362	0,193	0,9974	0,352	0,203	0,9183	0,238	0,318	1>2	1>2	
PMnTF36	mg/plt	2,058	35,65	1,0000	3,335	0,782	1,0000	1,310	2,807	0,9968	1,719	2,398	1>2	2>1	2>1
PNiTF36	mg/plt	0,269	42,06	1,0000	0,098	0,439	0,9997	0,340	0,197	0,9986	0,211	0,327	2>1	1>2	2>1
PCrTF36	mg/plt	0,012	172,43	0,9864	0,020	0,004	0,3717	0,011	0,014	0,7994	0,008	0,016	1>2		
PCoTF36	mg/plt	0,049	49,18	1,0000	0,072	0,027	0,9525	0,042	0,056	0,9873	0,040	0,058	1>2	2>1	2>1
PCuTF36	mg/plt	0,122	50,00	1,0000	0,193	0,050	0,0652	0,121	0,122	0,9351	0,105	0,138	1>2		
PZnTF36	mg/plt	0,729	23,55	1,0000	1,095	0,363	1,0000	0,880	0,577	0,9980	0,644	0,813	1>2	1>2	2>1
TKmTF36	meq%	97,386	17,66	1,0000	82,092	112,679	0,9999	109,794	84,978	0,1178	97,031	97,740	2>1	1>2	
TCamTF36	meq%	29,145	10,78	0,7300	29,653	28,637	1,0000	20,595	37,695	0,9063	29,918	28,372		2>1	
TMgmTF36	meq%	36,012	10,67	1,0000	39,919	32,106	0,1362	35,921	36,104	0,8886	36,908	35,116	1>2		
TNamTF36	meq%	0,138	24,51	0,9697	0,127	0,149	0,8012	0,131	0,144	0,9543	0,148	0,128	2>1		1>2
BasTF36	meq%	162,681	10,72	0,9997	151,790	173,571	0,8595	166,441	158,921	0,3918	164,005	161,357	2>1		
PKmTF36	meq/plt	12,592	15,94	1,0000	16,001	9,184	1,0000	17,623	7,562	1,0000	10,522	14,662	1>2	1>2	2>1
PCamTF36	meq/plt	3,911	33,00	1,0000	5,796	2,026	0,9893	3,411	4,410	0,9836	3,445	4,376	1>2	2>1	2>1
PMgmTF36	meq/plt	5,474	28,10	1,0000	8,150	2,797	0,9939	6,123	4,824	0,9837	4,918	6,029	1>2	1>2	2>1
PNamTF36	meq/plt	0,017	24,28	1,0000	0,024	0,011	1,0000	0,021	0,014	0,9947	0,016	0,019	1>2	1>2	2>1
PBasTF36	meq/plt	21,994	18,73	1,0000	29,972	14,017	1,0000	27,179	16,816	0,9999	18,901	25,087	1>2	1>2	2>1
K/BasTF36	%	58,810	8,74	1,0000	53,320	64,300	1,0000	65,524	52,096	0,8768	57,650	59,970	2>1	1>2	
Ca/BasTF36	%	18,343	12,03	0,9998	19,757	16,928	1,0000	12,443	24,243	0,8498	18,807	17,878	1>2	2>1	
Mg/BasTF36	%	22,763	14,52	1,0000	26,839	18,687	0,9047	21,954	23,572	0,8465	23,453	22,073	1>2		
Na/BasTF36	%	0,084	21,66	0,2868	0,083	0,085	0,9625	0,079	0,090	0,9559	0,090	0,079		2>1	1>2
Mg/CaTF36	-	1,357	9,18	1,0000	1,484	1,231	1,0000	1,762	0,953	0,1876	1,361	1,353	1>2	1>2	
Mono/BivTF36	-	1,596	19,63	1,0000	1,300	1,892	1,0000	1,945	1,247	0,8700	1,527	1,666	2>1	1>2	
Ca/(Ca+Mg)TF	-	0,441	5,98	1,0000	0,414	0,468	1,0000	0,364	0,518	0,0249	0,441	0,441	2>1	2>1	
ETPc/PP36	mg/l	196,573	27,29	0,9999	158,941	234,205	0,9998	162,107	231,039	0,9994	227,513	165,633	2>1	2>1	1>2

**TABLEAU 7.4. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

96

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements		
				Proba.	Ni		Proba.	S		Proba.	F		Ni	S	F
					Ni1	Ni2		S1	S2		F1	F2			
CondPer36	µS/cm	2838,948	8,01	1,0000	2365,396	3312,500	0,9999	2673,417	3004,479	0,9974	2731,104	2946,792	2>1	2>1	2>1
pHPer36	-	5,399	11,88	0,9994	5,033	5,767	0,8602	5,537	5,260	0,4087	5,348	5,450	2>1		
THCO <sub>3</sub> Per36	meq/l	0,134	137,10	0,4500	0,150	0,118	0,7974	0,100	0,168	0,8134	0,098	0,169			
TCIPer36	meq/l	0,296	22,30	1,0000	0,238	0,354	0,9757	0,274	0,318	0,9689	0,275	0,317	2>1	2>1	2>1
TSO <sub>4</sub> Per36	meq/l	14,211	14,95	1,0000	10,957	17,465	1,0000	19,821	8,602	0,9949	13,291	15,132	2>1	1>2	2>1
TNO <sub>3</sub> Per36	meq/l	15,907	14,48	1,0000	13,268	18,545	1,0000	10,023	21,791	0,7746	15,498	16,315	2>1	2>1	
TPO <sub>4</sub> Per36	mg/l	15,607	34,81	0,4264	16,245	14,968	1,0000	21,025	10,189	0,9607	17,265	13,949		1>2	1>2
Σ-Per36	meq/l	30,548	11,05	1,0000	24,613	36,482	0,4918	30,217	30,878	0,9927	29,162	31,933	2>1		2>1
TCaPer36	meq/l	17,734	13,67	1,0000	14,442	21,025	1,0000	11,892	23,576	0,9998	16,152	19,315	2>1	2>1	2>1
TMgPer36	meq/l	9,108	22,86	1,0000	6,651	11,564	1,0000	13,844	4,371	0,7610	8,749	9,466	2>1	1>2	
TKPer36	meq/l	0,866	40,75	0,9992	0,672	1,060	0,2941	0,886	0,847	0,8306	0,795	0,937	2>1		
TNaPer36	meq/l	0,798	18,50	0,9998	0,704	0,892	0,2593	0,791	0,805	0,9992	0,717	0,879	2>1		
TNH <sub>4</sub> Per36	meq/l	2,583	63,00	0,3955	2,787	2,379	0,9989	3,448	1,718	0,9821	3,161	2,005		1>2	1>2
Σ+Per36	meq/l	31,088	10,26	1,0000	25,256	36,921	0,3719	30,860	31,317	0,9974	29,574	32,603	2>1		2>1
TFePer36	mg/l	0,319	112,77	0,7333	0,378	0,261	0,2569	0,302	0,336	0,1192	0,327	0,312			
TMnPer36	mg/l	1,934	88,07	1,0000	0,519	3,349	1,0000	0,221	3,647	0,9999	0,754	3,114	2>1	2>1	2>1
TNiPer36	mg/l	17,035	79,95	1,0000	0,119	33,952	0,8636	20,003	14,067	0,4923	15,649	18,421	2>1		
TCrPer36	mg/l	0,064	16,26	0,9774	0,060	0,067	0,9881	0,060	0,068	0,7262	0,062	0,066			
TCoPer36	mg/l	0,078	70,84	0,9997	0,044	0,111	0,9998	0,042	0,113	0,9921	0,055	0,100	2>1	2>1	2>1
TSiO <sub>2</sub> Per36	mg/l	23,458	16,58	0,0918	23,521	23,396	1,0000	30,813	16,104	0,3624	23,188	23,729		1>2	
Mg/CaPer36	-	0,673	3,98	0,9346	0,666	0,680	1,0000	1,161	0,185	0,8311	0,678	0,668		1>2	

**TABLEAU 7.5. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Influence des facteurs contrôlés									Comparaisons des traitements			
				Proba.	Ni Ni1	Ni2	Proba.	S S1	S2	Proba.	F F1	F2	Ni	S	F	
pF2.5r	%															
pF3,0r	%															
pF4,2r	%															
pHH <sub>2</sub> O <sub>r</sub>	-	4,961	1,61	0,9995	5,008	4,915	1,0000	5,079	4,844	0,7538	4,975	4,948	1>2	1>2		
pHKCl <sub>r</sub>	-	4,757	2,40	0,8726	4,782	4,731	1,0000	4,535	4,978	0,1790	4,753	4,760		2>1		
CT <sub>r</sub>	mg/g															
NT <sub>r</sub>	mg/g															
C/N <sub>r</sub>	-															
CaE <sub>r</sub>	meq%	4,969	4,69	0,9966	5,075	4,862	1,0000	7,854	2,084	0,0504	4,971	4,966	1>2	1>2		
MgE <sub>r</sub>	meq%	3,412	6,19	0,9946	3,502	3,321	1,0000	6,562	0,262	0,1071	3,416	3,408	1>2	1>2		
KE <sub>r</sub>	meq%	0,147	19,85	1,0000	0,119	0,175	1,0000	0,229	0,065	0,8633	0,141	0,153	2>1	1>2		
NaE <sub>r</sub>	meq%	0,112	26,21	0,2329	0,113	0,111	1,0000	0,142	0,083	0,9092	0,105	0,119		1>2		
ΣBE <sub>r</sub>	meq%	8,639	5,01	0,9904	8,810	8,469	1,0000	14,785	2,494	0,1006	8,632	8,647	1>2	1>2		
CEC <sub>r</sub>	meq%	8,202	8,30	0,1394	8,185	8,219	1,0000	13,867	2,538	0,8054	8,073	8,331		1>2		
ΣBE/CEC <sub>r</sub>	%	108,083	24,65	0,4020	111,377	104,788	0,2407	106,907	109,258	0,3578	111,686	104,479				
Cond <sub>r</sub>	µS/cm															
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> As <sub>r</sub>	mg/g															
Ni Extract.	ppm	85,038	-	-	8,100	161,975	-	129,025	41,050	-	83,950	86,125				

**TABLEAU 7.6. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
ETPh9	ml/h	0,8947	1,436	1,427	1,448	1,326	0,8854	1,481	1,382	1,381	1,392	0,4465	1,474	1,410	1,388	1,365
ETPh12	ml/h	0,4054	1,692	1,663	1,590	1,424	0,4207	1,730	1,624	1,514	1,500	0,4781	1,641	1,640	1,602	1,484
ETPh16	ml/h	0,6752	2,454	2,229	2,070	1,651	0,9650	2,416	2,268	1,725	1,997	0,3288	2,280	2,245	1,861	2,019
ETPh19	ml/h	0,2938	2,464	2,122	1,864	1,442	0,7765	2,286	2,300	1,516	1,789	0,4093	2,122	2,207	1,681	1,883
ETPh21	ml/h	0,0736	3,464	2,977	2,349	1,837	0,8073	3,169	3,271	1,857	2,329	0,2277	2,783	3,030	2,243	2,570
ETPh23	ml/h	0,0616	3,337	2,810	2,122	1,575	0,8197	3,059	3,088	1,647	2,050	0,4594	2,665	2,794	2,041	2,344
ETPh26	ml/h	0,9824	4,071	4,179	3,054	1,954	0,0302	3,784	4,466	2,154	2,855	0,3019	3,168	3,957	2,769	3,365
ETPh28	ml/h	0,9991	5,900	6,453	4,238	2,508	0,1212	5,897	6,457	3,049	3,697	0,3182	4,830	5,308	4,115	4,845
ETPh30	ml/h	0,9959	7,238	7,098	4,387	2,175	0,2303	6,806	7,529	2,822	3,740	0,4483	5,532	6,092	4,096	5,177
ETPh33	ml/h	0,9995	7,844	8,856	4,976	2,287	0,0088	7,891	8,810	3,174	4,089	0,3948	6,073	6,747	4,992	6,152
ETPh35	ml/h	0,9999	7,517	8,189	5,398	2,003	0,3263	7,635	8,072	3,304	4,096	0,9445	5,746	7,169	5,193	4,999
ETPh36	ml/h	1,0000	8,076	12,153	6,382	2,653	0,4452	9,583	10,646	4,385	4,649	0,8750	7,410	7,049	6,559	8,247
H9	cm	0,9948	9,179	9,046	8,929	7,415	0,4243	8,937	9,288	8,185	8,158	0,1928	8,946	9,163	8,177	8,283
H14	cm	0,8482	14,233	13,675	12,988	11,575	0,7013	13,613	14,296	12,250	12,312	0,7568	13,250	13,971	12,612	12,637
H19	cm	0,4537	20,075	18,435	17,154	16,033	0,2339	18,852	19,658	16,067	17,121	0,0307	18,142	19,087	16,777	17,692
H23	cm	0,4821	25,671	22,988	21,279	19,358	0,8160	23,771	24,887	18,987	21,650	0,8661	22,967	23,983	19,792	22,554
H26	cm	0,4548	31,817	28,100	24,938	22,096	0,6947	29,292	30,625	22,117	24,917	0,8603	27,871	28,883	23,537	26,658
H30	cm	0,4869	42,633	37,071	30,317	25,933	0,9077	38,717	40,987	25,488	30,763	0,9331	35,408	37,542	28,796	34,208
H33	cm	0,1117	55,467	48,225	36,537	29,592	0,3814	50,342	53,350	30,583	35,546	0,7360	44,629	47,375	36,296	41,521
H36	cm	0,8390	67,671	60,596	43,629	32,138	0,1536	61,900	66,367	35,358	40,408	0,2291	53,496	57,804	43,763	48,971
HT36	cm	0,9846	175,917	164,188	134,021	101,604	0,2206	166,896	173,208	115,792	119,833	0,8785	149,167	160,771	133,521	132,271
VT(9,14)	cm/j	0,7051	1,011	0,926	0,812	0,832	0,3688	0,935	1,002	0,813	0,831	0,7561	0,861	0,962	0,887	0,871
VT(14,19)	cm/j	0,9761	1,168	0,952	0,833	0,892	0,8553	1,048	1,072	0,763	0,962	0,7351	0,978	1,023	0,833	1,011
VT(19,23)	cm/j	0,2518	1,399	1,138	1,031	0,831	0,9079	1,230	1,307	0,730	1,132	0,9765	1,206	1,224	0,754	1,216
VT(23,26)	cm/j	0,1368	2,049	1,704	1,219	0,913	0,0966	1,840	1,913	1,043	1,089	0,3983	1,635	1,633	1,249	1,368
VT(26,30)	cm/j	0,2343	2,704	2,243	1,345	0,959	0,8610	2,356	2,591	0,843	1,461	0,7399	1,884	2,165	1,315	1,888
VT(30,33)	cm/j	0,3771	4,278	3,718	2,074	1,219	0,7084	3,875	4,121	1,699	1,594	0,4253	3,074	3,278	2,500	2,438
VT(33,36)	cm/j	0,9992	4,068	4,124	2,364	0,849	0,7241	3,853	4,339	1,592	1,621	0,7913	2,956	3,476	2,489	2,483

**TABLEAU 7.7. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>e</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
NF23	nbr/plt	0,9898	4,958	4,917	4,596	4,117	0,0222	4,917	4,958	4,338	4,375	0,9414	4,679	4,875	4,575	4,458
NF35	nbr/plt	0,9970	7,792	7,729	6,642	4,625	0,4940	7,688	7,833	5,767	5,500	0,3204	7,183	7,250	6,271	6,083
Chloros35	-	0,9276	0,167	0,917	0,458	1,892	0,4069	0,792	0,292	1,267	1,083	0,4570	0,542	0,083	1,517	1,292
Dérac35	-	1,0000	0,042	0,292	1,352	2,629	0,8958	0,250	0,083	1,919	2,063	0,3880	0,727	0,667	1,442	1,479
PTF36	g/plt	0,9392	258,967	218,267	123,475	45,063	0,0539	219,683	257,550	65,987	102,550	0,4455	176,467	205,975	109,204	154,125
PTF36	g/plt	0,7335	22,662	17,787	11,704	4,775	0,7158	19,150	21,300	6,174	10,305	0,4000	15,858	18,508	9,465	13,097
PRac36	g/plt	0,7210	2,997	1,080	1,816	0,283	0,9920	2,266	1,810	0,786	1,313	0,3795	2,467	2,346	0,585	0,777
PP36	g/plt	0,4174	25,660	18,867	13,520	5,058	0,8537	21,416	23,110	6,960	11,618	0,4690	18,326	20,854	10,050	13,874
TCaTF36	%	0,8700	11,487	9,982	14,401	11,566	0,9974	10,164	11,305	13,837	12,130	0,1922	13,034	12,854	10,967	10,581
TSiTF36	%	1,0000	2,396	1,738	2,753	1,280	1,0000	2,082	2,052	2,353	1,680	0,9890	2,670	2,479	1,765	1,253
TNiTF36	%	0,9976	3,548	3,694	3,436	3,205	0,9939	3,611	3,631	3,477	3,164	0,7513	3,532	3,453	3,556	3,343
TPiTF36	%	0,9394	0,283	0,395	0,197	0,367	0,8274	0,350	0,328	0,314	0,250	0,9996	0,230	0,250	0,434	0,328
TKiTF36	%	0,0194	3,692	2,726	4,892	3,918	0,9896	2,934	3,485	4,653	4,157	0,1838	4,300	4,284	3,286	3,358
TCaTF36	%	0,9995	0,386	0,803	0,440	0,709	0,9811	0,588	0,601	0,612	0,536	0,0839	0,427	0,398	0,772	0,739
TMgTF36	%	1,0000	0,434	0,536	0,439	0,341	0,9838	0,479	0,491	0,418	0,362	0,3343	0,454	0,419	0,443	0,434
TNaTF36	ppm	0,3615	28,750	29,583	31,667	36,667	0,9802	28,750	29,583	39,167	29,167	0,8578	30,833	29,583	37,083	29,167
TFeTF36	ppm	0,9895	114,333	140,333	111,875	98,875	0,9194	122,917	131,750	113,833	96,917	0,4093	113,125	113,083	123,625	115,583
TAiTF36	ppm	0,8939	18,500	18,375	27,792	18,583	0,4619	17,625	19,250	24,125	22,250	0,4449	24,292	22,000	17,458	19,500
TMnTF36	ppm	0,1133	92,958	255,417	46,833	207,750	0,8989	162,583	185,792	125,042	129,542	0,7742	66,417	73,375	221,208	241,958
TNiTF36	ppm	0,9978	4,667	5,542	54,458	189,208	0,7564	5,167	5,042	98,417	145,250	0,8405	32,042	27,083	71,542	123,208
TCrTF36	ppm	0,4395	2,333	2,583	2,083	2,542	0,8747	2,333	2,583	2,458	2,167	0,8747	2,083	2,333	2,708	2,417
TCoTF36	ppm	0,7066	2,375	5,125	2,708	4,792	0,4345	3,458	4,042	3,708	3,792	0,3968	2,458	2,625	4,708	5,208
TCuTF36	ppm	0,9998	7,458	12,042	6,583	5,750	0,9296	9,417	10,083	6,958	5,375	0,4939	7,042	7,000	9,333	8,458
TZnTF36	ppm	1,0000	51,208	58,208	50,875	25,917	0,4397	54,750	54,667	39,542	37,250	0,9891	49,167	52,917	45,125	39,000
PSiTF36	g/plt	0,1986	0,537	0,297	0,306	0,059	0,3959	0,400	0,434	0,153	0,211	0,8563	0,388	0,455	0,166	0,190
PNiTF36	g/plt	0,8544	0,800	0,642	0,394	0,151	0,3110	0,674	0,767	0,214	0,331	0,4580	0,554	0,640	0,335	0,458
PPTF36	g/plt	0,9746	0,063	0,067	0,023	0,014	0,0804	0,061	0,068	0,015	0,021	0,4456	0,039	0,047	0,038	0,043
PKiTF36	g/plt	0,1828	0,825	0,426	0,553	0,165	0,0117	0,544	0,707	0,278	0,440	0,4204	0,599	0,779	0,224	0,367
PCaTF36	g/plt	0,9999	0,087	0,145	0,049	0,032	0,4108	0,104	0,129	0,034	0,047	0,7470	0,063	0,073	0,075	0,102

**TABLEAU 7.8. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>eme</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
PMgTF36	g/plt	0,9962	0,098	0,100	0,050	0,018	0,1192	0,092	0,106	0,028	0,040	0,7935	0,071	0,078	0,048	0,069
PNaTF36	mg/plt	0,7362	0,634	0,488	0,349	0,138	0,2030	0,515	0,606	0,205	0,282	0,1688	0,446	0,536	0,274	0,352
PFerTF36	mg/plt	0,9287	2,578	2,481	1,272	0,438	0,4678	2,219	2,840	0,694	1,016	0,3759	1,740	2,110	1,173	1,746
PAITF36	mg/plt	0,8966	0,399	0,325	0,305	0,081	0,1063	0,325	0,399	0,150	0,236	0,3126	0,321	0,383	0,154	0,252
PMnTF36	mg/plt	0,9999	2,088	4,582	0,531	1,033	0,9511	2,782	3,888	0,656	0,908	0,9433	1,177	1,443	2,262	3,353
PNiTF36	mg/plt	0,9994	0,105	0,092	0,575	0,303	0,9970	0,093	0,104	0,328	0,549	0,8498	0,258	0,422	0,163	0,231
PCrTF36	mg/plt	0,3584	0,020	0,020	0,001	0,007	0,9484	0,010	0,030	0,007	0,002	0,7397	0,003	0,018	0,013	0,014
PCoTF36	mg/plt	0,9975	0,053	0,090	0,031	0,022	0,4205	0,060	0,084	0,020	0,033	0,3885	0,036	0,048	0,044	0,069
PCuTF36	mg/plt	0,9928	0,167	0,219	0,074	0,026	0,4142	0,169	0,217	0,041	0,059	0,4566	0,111	0,131	0,099	0,145
PZnTF36	mg/plt	0,9986	1,158	1,031	0,603	0,122	0,4027	1,024	1,116	0,265	0,460	0,4980	0,779	0,982	0,510	0,644
TKmTF36	meq%	0,0194	94,446	69,739	125,142	100,217	0,9896	75,050	89,135	119,013	106,346	0,1838	110,004	109,584	84,059	85,897
TCamTF36	meq%	0,9995	19,262	40,043	21,928	35,346	0,9811	29,319	29,986	30,516	26,759	0,0839	21,322	19,869	38,514	36,876
TMgmTF36	meq%	1,0000	35,732	44,106	36,109	28,102	0,9838	39,425	40,413	34,391	29,820	0,3343	37,361	34,480	36,455	35,752
TNamTF36	meq%	0,3615	0,125	0,129	0,138	0,159	0,9802	0,125	0,129	0,170	0,127	0,8578	0,134	0,129	0,161	0,127
BasTF36	meq%	0,9783	149,565	154,016	183,317	163,825	0,9988	143,919	159,662	184,091	163,051	0,3194	168,820	164,061	159,189	158,652
PKmTF36	meq/plt	0,1828	21,097	10,905	14,149	4,218	0,0117	13,928	18,074	7,117	11,251	0,4204	15,314	19,932	5,731	9,393
PCamTF36	meq/plt	0,9999	4,357	7,235	2,465	1,586	0,4108	5,173	6,418	1,717	2,335	0,7470	3,161	3,661	3,729	5,092
PMgmTF36	meq/plt	0,9962	8,106	8,195	4,141	1,452	0,1192	7,563	8,738	2,273	3,320	0,7935	5,852	6,394	3,984	5,663
PNamTF36	meq/plt	0,7362	0,028	0,021	0,015	0,006	0,2030	0,022	0,026	0,009	0,012	0,1688	0,019	0,023	0,012	0,015
PBasTF36	meq/plt	0,9881	33,587	26,356	20,770	7,263	0,2526	26,687	33,256	11,116	16,917	0,3329	24,347	30,010	13,456	20,163
K/BasTF36	%	0,9991	62,847	43,793	68,200	60,399	0,3853	51,503	55,138	63,797	64,802	0,0118	64,356	66,692	50,944	53,248
Ca/BasTF36	%	0,9939	12,926	26,589	11,961	21,896	0,4073	20,492	19,023	17,123	16,734	0,3309	12,769	12,117	24,846	23,639
Mg/BasTF36	%	0,9994	24,144	29,534	19,765	17,609	0,4244	27,919	25,759	18,987	18,387	0,2485	22,796	21,113	24,111	23,033
Na/BasTF36	%	0,9429	0,083	0,084	0,074	0,096	0,3736	0,086	0,080	0,093	0,077	0,9028	0,080	0,078	0,100	0,080
Mg/CaTF36	-	0,7572	1,866	1,100	1,657	0,805	0,3535	1,504	1,462	1,218	1,244	0,4766	1,778	1,746	0,945	0,960
Mono/BivTF36	-	0,9202	1,730	0,871	2,160	1,623	0,4015	1,192	1,409	1,861	1,922	0,1797	1,866	2,025	1,187	1,306
Ca/(Ca+Mg)TF	-	0,9985	0,350	0,478	0,377	0,558	0,1424	0,413	0,415	0,468	0,467	0,2751	0,362	0,365	0,519	0,517
ETPc/PP36	mg/l	0,1127	125,531	192,351	198,683	269,728	0,9944	166,982	150,900	288,045	180,366	0,8174	182,592	141,622	272,434	189,645

001

**TABLEAU 7.9. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS					NiF				SF					
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
CondPer36	µS/cm	0,9332	2138,500	2592,292	3208,333	3416,667	0,7697	2217,625	2513,167	3244,583	3380,417	0,9941	2662,000	2684,833	2800,208	3208,750
pHPer36	-	0,9999	4,692	5,375	6,383	5,146	0,9915	4,725	5,342	5,971	5,558	0,9947	5,762	5,313	4,933	5,588
THCO <sub>3</sub> Per36	meq/l	0,9989	0,018	0,282	0,181	0,054	0,9957	0,033	0,267	0,163	0,072	0,9944	0,142	0,057	0,054	0,282
TCIPer36	meq/l	0,9995	0,255	0,222	0,293	0,415	0,3501	0,226	0,250	0,323	0,384	0,9236	0,235	0,312	0,314	0,322
TSO <sub>4</sub> Per36	meq/l	1,0000	14,949	6,966	24,693	10,238	0,4407	10,279	11,635	16,302	18,628	0,8470	18,456	21,185	8,125	9,078
TNO <sub>3</sub> Per36	meq/l	0,1914	7,463	19,073	12,582	24,508	0,7980	12,430	14,106	18,567	18,524	0,9926	10,559	9,487	20,437	23,144
TPO <sub>4</sub> Per36	mg/l	0,3413	22,422	10,068	19,627	10,310	0,2576	18,162	14,328	16,368	13,569	0,9735	20,887	21,163	13,643	6,735
Σ-Per36	meq/l	0,9973	22,685	26,542	37,749	35,215	0,3967	22,968	26,259	35,356	37,608	0,7443	29,393	31,041	28,931	32,825
TCaPer36	meq/l	0,4839	8,349	20,536	15,434	26,615	0,7214	12,476	16,409	19,828	22,222	0,9988	11,588	12,195	20,716	26,435
TMgPer36	meq/l	1,0000	9,667	3,635	18,021	5,108	0,4528	6,106	7,195	11,391	11,737	0,3960	13,645	14,043	3,852	4,890
TKPer36	meq/l	0,9995	0,898	0,446	0,874	1,247	0,9411	0,699	0,645	0,891	1,230	0,7001	0,868	0,903	0,722	0,971
TNaPer36	meq/l	0,9407	0,656	0,752	0,926	0,858	0,0477	0,625	0,784	0,810	0,975	0,7865	0,737	0,845	0,697	0,913
TNH <sub>4</sub> Per36	meq/l	0,6802	3,889	1,684	3,006	1,752	0,0724	3,385	2,188	2,936	1,822	0,9736	3,488	3,408	2,834	0,602
Σ+Per36	meq/l	0,9980	23,458	27,054	38,261	35,580	0,3359	23,291	27,221	35,857	37,985	0,9620	30,326	31,394	28,822	33,812
TFePer36	mg/l	0,2257	0,346	0,410	0,258	0,263	0,8535	0,462	0,294	0,192	0,330	0,8535	0,263	0,341	0,390	0,283
TMnPer36	mg/l	1,0000	0,342	0,697	0,100	6,597	0,9997	0,438	0,600	1,069	5,628	0,9998	0,175	0,266	1,332	5,962
TNiPer36	mg/l	0,8618	0,132	0,105	39,874	28,029	0,4907	0,124	0,113	31,175	36,728	0,6796	20,604	19,403	10,695	17,439
TCrPer36	mg/l	0,9774	0,060	0,061	0,060	0,075	0,4155	0,060	0,061	0,065	0,070	0,7262	0,060	0,060	0,065	0,071
TCoPer36	mg/l	0,9996	0,042	0,046	0,043	0,180	0,9802	0,041	0,047	0,070	0,152	0,9930	0,043	0,042	0,068	0,158
TSiO <sub>2</sub> Per36	mg/l	0,9975	32,750	14,292	28,875	18,125	0,1873	23,333	23,708	23,042	23,958	0,9339	31,583	30,042	14,792	17,625
Mg/CaPer36	-	0,0192	1,154	0,178	1,169	0,192	0,0643	0,671	0,661	0,686	0,675	0,8214	1,172	1,151	0,185	0,185

**TABLEAU 7.10. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

102

Paramètres	Unités	Influence des facteurs contrôlés														
		NiS				NiF				SF						
		Proba.	Ni1S1	Ni1S2	Ni2S1	Ni2S2	Proba.	Ni1F1	Ni1F2	Ni2F1	Ni2F2	Proba.	S1F1	S1F2	S2F1	S2F2
pF2,5r	%															
pF3,0r	%															
pF4,2r	%															
pHH <sub>2</sub> O <sub>r</sub>	-	0,8705	5,108	4,908	5,050	4,779	0,3276	5,010	5,006	4,940	4,890	0,3277	5,104	5,054	4,846	4,842
pHKCl <sub>r</sub>	-	0,2252	4,556	5,008	4,515	4,948	0,8195	4,756	4,808	4,750	4,712	0,3362	4,548	4,523	4,958	4,998
CT <sub>r</sub>	mg/g															
N <sub>T</sub> <sub>r</sub>	mg/g															
C/N <sub>r</sub>	-															
Ca <sub>Er</sub>	meq%	0,0659	7,958	2,193	7,750	1,974	0,1665	5,084	5,066	4,857	4,867	0,2478	7,866	7,841	2,075	2,092
Mg <sub>Er</sub>	meq%	0,9989	6,764	0,241	6,359	0,283	0,7029	3,539	3,466	3,293	3,350	0,2896	6,554	6,569	0,278	0,247
K <sub>Er</sub>	meq%	0,6815	0,205	0,033	0,252	0,098	0,9069	0,120	0,118	0,162	0,189	0,8502	0,228	0,229	0,053	0,078
Na <sub>Er</sub>	meq%	0,0045	0,143	0,084	0,140	0,081	0,7744	0,111	0,115	0,098	0,123	0,1974	0,135	0,148	0,074	0,091
ΣBE <sub>Er</sub>	meq%	0,9256	15,069	2,550	14,502	2,437	0,4195	8,854	8,766	8,410	8,528	0,0838	14,784	14,787	2,480	2,508
CEC <sub>r</sub>	meq%	0,1723	13,871	2,500	13,863	2,575	0,0517	8,063	8,308	8,083	8,354	0,4366	13,679	14,054	2,467	2,608
ΣBE/CEC <sub>r</sub>	%	0,2375	109,043	113,712	104,771	104,805	0,4471	117,325	105,429	106,047	103,530	0,4215	108,315	105,499	115,057	103,460
Cond <sub>r</sub>	µS/cm															
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> A <sub>sr</sub>	mg/g															
Ni Extract.	ppm	-	12,150	4,050	245,900	78,050	-	8,000	8,200	159,900	164,050	-	126,150	131,900	41,750	40,350

**TABLEAU 7.11. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
ETPh9	ml/h	1,409	8,44	0,4433	1,509	1,363	1,452	1,402	1,439	1,457	1,323	1,328	
ETPh12	ml/h	1,592	17,47	0,9764	1,809	1,574	1,650	1,675	1,473	1,706	1,554	1,294	1>5; 4=3>8; 6>8
ETPh16	ml/h	2,101	15,97	0,9766	2,690	2,219	2,141	2,317	1,869	2,272	1,581	1,721	1>6-2-3-5; 6>5; 3>8
ETPh19	ml/h	1,973	18,49	0,9959	2,649	2,279	1,924	2,321	1,594	2,134	1,439	1,444	1>6-3-5; 6>5
ETPh21	ml/h	2,656	18,31	0,9988	3,689	3,238	2,649	3,304	1,877	2,821	1,837	1,837	1-4>3-6>5=7=8
ETPh23	ml/h	2,461	19,44	0,9962	3,582	3,092	2,536	3,083	1,748	2,497	1,545	1,604	1=2>3-6>5=7=8
ETPh26	ml/h	3,315	25,58	0,8707	3,869	4,272	3,698	4,661	2,468	3,641	1,840	2,068	
ETPh28	ml/h	4,775	21,87	0,9800	6,047	5,753	5,747	7,160	3,613	4,863	2,484	2,531	4>2-3-6-1>5=7=8
ETPh30	ml/h	5,224	22,20	0,9952	7,514	6,962	6,099	8,097	3,550	5,223	2,094	2,257	4=2=1>3-6>5>7=8
ETPh33	ml/h	5,991	26,45	0,9804	8,060	7,628	7,721	9,992	4,086	5,866	2,263	2,311	4>3-2-8; 1>6>8
ETPh35	ml/h	5,777	24,79	0,4918	7,035	8,000	8,234	8,144	4,457	6,339	2,151	1,854	
ETPh36	ml/h	7,316	31,17	0,9882	8,927	7,226	10,240	14,066	5,892	6,872	2,878	2,427	4>3; 5>7
H9	cm	8,642	9,24	0,9328	9,192	9,167	8,683	9,408	8,700	9,158	7,671	7,158	
H14	cm	13,118	7,76	0,4427	13,833	14,633	13,392	13,958	12,667	13,308	11,833	11,317	
H19	cm	17,924	8,09	0,9499	20,083	20,067	17,621	19,250	16,200	18,108	15,933	16,133	
H23	cm	22,324	8,91	0,7832	25,908	25,433	21,633	24,342	20,025	22,533	17,950	20,767	
H26	cm	26,737	9,12	0,9359	32,342	31,292	26,242	29,958	23,400	26,475	20,833	23,358	
H30	cm	33,989	8,95	0,9545	43,217	42,050	34,217	39,925	27,600	33,033	23,375	28,492	1=2=4>3-6>8-5>7
H33	cm	42,455	8,93	0,9969	56,342	54,592	44,342	52,108	32,917	40,158	28,250	30,933	1=2=4>3-6>8-5>7
H36	cm	51,008	10,56	0,9959	68,067	67,275	55,733	65,458	38,925	48,333	31,792	32,483	1=2=4>3-6>5>7=8
HT36	cm	143,932	9,85	0,9980	176,500	175,333	157,292	171,083	121,833	146,208	109,750	93,458	1=2=4>3-6>5=7=8
VT(9,14)	cm/j	0,895	19,18	0,4329	0,928	1,093	0,942	0,910	0,793	0,830	0,833	0,832	
VT(14,19)	cm/j	0,961	21,17	0,9563	1,250	1,087	0,846	1,058	0,707	0,960	0,820	0,963	1>3-6>5
VT(19,23)	cm/j	1,100	29,85	0,2479	1,456	1,342	1,003	1,273	0,956	1,106	0,504	1,158	
VT(23,26)	cm/j	1,471	26,55	0,9237	2,144	1,953	1,536	1,872	1,125	1,314	0,961	0,864	
VT(26,30)	cm/j	1,813	24,48	0,3697	2,719	2,690	1,994	2,492	1,050	1,640	0,635	1,283	
VT(30,33)	cm/j	2,822	20,06	0,9984	4,375	4,181	3,375	4,061	1,772	2,375	1,625	0,814	1=2=4>3-6=5=7>8
VT(33,36)	cm/j	2,851	25,10	0,9576	3,908	4,228	3,797	4,450	2,003	2,725	1,181	0,517	1=2=4=3>6=5=7=8
NF23	nbr/plt	4,647	6,03	0,9983	5,000	4,917	4,833	5,000	4,358	4,833	4,317	3,917	1=6>5; 3>7>8; 4-6>8
NF35	nbr/plt	6,697	15,62	0,9114	7,917	7,667	7,458	8,000	6,450	6,833	5,083	4,167	

**TABLEAU 7.12. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

104

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
Chloros35	-	0,858	75,36	0,8655	0,333	0,000	1,250	0,583	0,750	0,167	1,783	2,000	
Dérac35	-	1,079	30,21	0,9966	0,000	0,083	0,500	0,083	1,454	1,250	2,383	2,875	8>7>5
PTfF36	g/plt	161,443	21,15	0,9996	264,500	253,433	174,867	261,667	88,433	158,517	43,542	46,583	1=2=4>3-6>5>7=8
PTF36	g/plt	14,232	22,18	0,9992	23,575	21,750	14,725	20,850	8,142	15,267	4,206	5,343	1=2=4>3-6>5>7=8
PRac36	g/plt	1,544	39,27	0,9992	3,637	2,358	0,896	1,263	1,298	2,334	0,274	0,292	1>2=6>5-4=3=7=8
PP36	g/plt	15,776	22,10	0,9996	27,212	24,108	15,621	22,113	9,439	17,601	4,480	5,635	1=2=4>3-6>5=7=8
TCdTF36	%	11,859	12,65	0,8411	10,556	12,418	9,773	10,192	15,512	13,290	12,162	10,970	
TSiTF36	%	2,042	10,21	0,4787	2,308	2,483	1,855	1,651	3,032	2,475	1,675	0,884	
TNiTF36	%	3,471	5,66	0,4428	3,483	3,614	3,740	3,649	3,582	3,291	3,372	3,038	
TPiTF36	%	0,310	16,93	0,2186	0,265	0,302	0,435	0,354	0,195	0,199	0,432	0,301	
TKTF36	%	3,807	17,66	0,7874	3,316	4,068	2,551	2,901	5,284	4,500	4,021	3,815	
TCaTF36	%	0,584	10,78	0,3746	0,374	0,398	0,802	0,804	0,481	0,398	0,743	0,675	
TMgTF36	%	0,438	10,67	0,4498	0,440	0,428	0,518	0,554	0,468	0,410	0,368	0,315	
TNaTF36	ppm	31,667	24,51	0,0045	26,667	30,833	30,833	28,333	35,000	28,333	43,333	30,000	
TFeTF36	ppm	116,354	21,56	0,2684	109,167	119,500	136,667	144,000	117,083	106,667	110,583	87,167	
TAiTF36	ppm	20,813	46,07	0,2480	18,333	18,667	16,917	19,833	30,250	25,333	18,000	19,167	
TMnTF36	ppm	150,740	12,91	0,2682	83,833	102,083	241,333	269,500	49,000	44,667	201,083	214,417	
TNiTF36	ppm	63,469	108,41	0,8471	4,500	4,833	5,833	5,250	59,583	49,333	137,250	241,167	
TCrTF36	ppm	2,385	25,30	0,4130	2,000	2,667	2,667	2,500	2,167	2,000	2,750	2,333	
TCoTF36	ppm	3,750	28,85	0,0045	2,167	2,583	4,750	5,500	2,750	2,667	4,667	4,917	
TCuTF36	ppm	7,958	26,56	0,4234	7,167	7,750	11,667	12,417	6,917	6,250	7,000	4,500	
TZnTF36	ppm	46,552	13,73	0,4397	49,333	53,083	60,167	56,250	49,000	52,750	30,083	21,750	
PSiTF36	g/plt	0,300	16,67	0,9996	0,539	0,535	0,261	0,333	0,236	0,375	0,070	0,048	1=2>6-4>3-5>7=8
PNiTF36	g/plt	0,497	20,26	0,9992	0,818	0,781	0,531	0,752	0,290	0,499	0,139	0,163	1=2=4>3-6>5>7=8
PPTF36	g/plt	0,042	23,21	0,9798	0,062	0,064	0,061	0,073	0,015	0,030	0,015	0,013	4=2=1>3-6>5=7=8
PKTF36	g/plt	0,492	15,94	0,9980	0,773	0,877	0,316	0,537	0,424	0,682	0,132	0,198	2>1=6-4>5-3>7=8
PCaTF36	g/plt	0,078	33,00	0,9787	0,088	0,087	0,119	0,171	0,039	0,060	0,030	0,033	4>3>1=2=6=5=7=8
PMgTF36	g/plt	0,067	28,10	0,9982	0,104	0,093	0,080	0,120	0,038	0,063	0,017	0,018	4-1>2-3-6>5=7=8
PNaTF36	mg/plt	0,402	24,28	0,9848	0,621	0,647	0,409	0,566	0,272	0,426	0,139	0,138	2=1>3-6>5>7=8

**TABLEAU 7.13. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
PFeTF36	mg/plt	1,692	41,08	0,9788	2,557	2,598	1,881	3,082	0,922	1,623	0,466	0,410	4>3=7=8; 2=1>6
PAITF36	mg/plt	0,278	56,26	0,9644	0,420	0,378	0,230	0,420	0,223	0,387	0,078	0,085	1>3-5; 4>3; 6>8
PMnTF36	mg/plt	2,058	35,65	0,9648	1,971	2,206	3,594	5,570	0,382	0,680	0,930	1,135	4>3>1-8=7; 4>2
PNiTF36	mg/plt	0,269	42,06	0,9240	0,106	0,105	0,081	0,103	0,411	0,739	0,245	0,360	
PCrTF36	mg/plt	0,012	172,43	0,3714	0,004	0,037	0,017	0,024	0,003	0,000	0,010	0,005	
PCoTF36	mg/plt	0,049	49,18	0,9255	0,051	0,056	0,069	0,112	0,022	0,041	0,019	0,025	
PCuTF36	mg/plt	0,122	50,00	0,9483	0,168	0,167	0,171	0,267	0,054	0,094	0,027	0,024	
PZnTF36	mg/plt	0,729	23,55	0,9988	1,160	1,156	0,887	1,176	0,398	0,808	0,132	0,113	4-1>3-6>5>7=8
TKmTF36	meq%	97,386	17,66	0,7874	84,832	104,059	65,267	74,210	135,175	115,108	102,851	97,583	
TCamTF36	meq%	29,145	10,78	0,3746	18,655	19,869	39,983	40,104	23,988	19,869	37,044	33,648	
TMgmTF36	meq%	36,012	10,67	0,4498	36,212	35,252	42,638	45,574	38,510	33,709	30,273	25,931	
TNamTF36	meq%	0,138	24,51	0,0045	0,116	0,134	0,134	0,123	0,152	0,123	0,188	0,130	
BasTF36	meq%	162,681	10,72	0,7497	139,815	159,314	148,023	160,010	197,825	168,809	170,356	157,293	
PKmTF36	meq/plt	12,592	15,94	0,9980	19,773	22,422	8,084	13,727	10,856	17,442	3,378	5,059	2>1=6-4>5-3>8=7
PCamTF36	meq/plt	3,911	33,00	0,9787	4,395	4,318	5,952	8,517	1,928	3,003	1,506	1,666	4>3>1=2=6=5=7=8
PMgmTF36	meq/plt	5,474	28,10	0,9982	8,572	7,639	6,554	9,836	3,132	5,150	1,414	1,490	4-1>2-3-6>5=8=7
PNamTF36	meq/plt	0,017	24,28	0,9848	0,027	0,028	0,018	0,025	0,012	0,019	0,006	0,006	2=1>3-6>5>7=8
PBasTF36	meq/plt	21,994	18,73	0,9990	32,766	34,408	20,608	32,105	15,928	25,613	6,304	8,222	2=1>6>5-3>7=8
K/BasTF36	%	58,810	8,74	0,4744	60,477	65,217	42,528	45,058	68,235	68,166	59,359	61,438	
Ca/BasTF36	%	18,343	12,03	0,3225	13,386	12,465	27,597	25,581	12,151	11,770	22,095	21,697	
Mg/BasTF36	%	22,763	14,52	0,8394	26,054	22,235	29,785	29,283	19,537	19,992	18,437	16,782	
Na/BasTF36	%	0,084	21,66	0,3661	0,083	0,083	0,090	0,078	0,077	0,072	0,110	0,082	
Mg/CaTF36	-	1,357	9,18	0,9783	1,942	1,790	1,066	1,133	1,613	1,701	0,824	0,787	1>2=6=5>4=3>7=8
Mono/BivTF36	-	1,596	19,63	0,7053	1,564	1,897	0,820	0,921	2,168	2,153	1,554	1,692	
Ca/(Ca+Mg)TF	-	0,441	5,98	0,9369	0,341	0,360	0,485	0,470	0,384	0,371	0,553	0,563	
ETPc/PP36	mg/l	196,573	27,29	0,2558	120,583	130,479	213,380	171,322	244,602	152,764	331,488	207,967	

**TABLEAU 7.14. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE  
SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

106

Paramètres	Unités	Moyennes générales	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1	2	3	4	5	6	7	8	
					Ni1S1F1	Ni1S1F2	Ni1S2F1	Ni1S2F2	Ni2S1F1	Ni2S1F2	Ni2S2F1	Ni2S2F2	
CondPer36	µS/cm	2838,948	8,01	0,2360	2077,333	2199,667	2357,917	2826,667	3246,667	3170,000	3242,500	3590,833	
pHPer36	-	5,399	11,88	0,0123	4,658	4,725	4,792	5,958	6,867	5,900	5,075	5,217	
THCO3Per36	meq/l	0,134	137,10	0,7361	0,010	0,027	0,057	0,507	0,275	0,087	0,052	0,057	
TCIPer36	meq/l	0,296	22,30	0,9980	0,193	0,317	0,259	0,184	0,278	0,308	0,369	0,460	8>7
TSO4Per36	meq/l	14,211	14,95	0,9233	14,379	15,518	6,179	7,753	22,533	26,853	10,072	10,403	
TNO3Per36	meq/l	15,907	14,48	0,8843	7,038	7,888	17,821	20,325	14,079	11,086	23,054	25,962	
TPO4Per36	mg/l	15,607	34,81	0,0404	22,582	22,263	13,742	6,394	19,192	20,063	13,544	7,075	
Σ-Per36	meq/l	30,548	11,05	0,0326	21,620	23,749	24,316	28,768	37,165	38,333	33,547	36,882	
TCaPer36	meq/l	17,734	13,67	0,2646	7,780	8,918	17,173	23,899	15,397	15,472	24,259	28,972	
TMgPer36	meq/l	9,108	22,86	0,4555	9,095	10,238	3,117	4,153	18,195	17,847	4,588	5,628	
TKPer36	meq/l	0,866	40,75	0,9544	0,874	0,921	0,524	0,368	0,863	0,885	0,920	1,574	
TNaPer36	meq/l	0,798	18,50	0,6825	0,582	0,731	0,667	0,837	0,892	0,960	0,728	0,989	
TNH4Per36	meq/l	2,583	63,00	0,4872	4,108	3,671	2,663	0,705	2,867	3,145	3,005	0,498	
Σ+Per36	meq/l	31,088	10,26	0,0648	22,437	24,479	24,145	29,962	38,214	38,308	33,499	37,661	
TFePer36	mg/l	0,319	112,77	0,4311	0,342	0,350	0,582	0,238	0,185	0,332	0,198	0,327	
TMnPer36	mg/l	1,934	88,07	0,9999	0,246	0,438	0,631	0,763	0,104	0,095	2,034	11,161	8>7
TNiPer36	mg/l	17,035	79,95	0,6829	0,124	0,140	0,123	0,087	41,083	38,665	21,267	34,792	
TCrPer36	mg/l	0,064	16,26	0,4155	0,060	0,060	0,060	0,062	0,060	0,060	0,069	0,081	
TCoPer36	mg/l	0,078	70,84	0,9825	0,042	0,042	0,040	0,052	0,043	0,042	0,096	0,263	
TSiO2Per36	mg/l	23,458	16,58	0,9798	32,250	33,250	14,417	14,167	30,917	26,833	15,167	20,667	6>8 ; 8>7
Mg/CaPer36	-	0,673	3,98	0,4492	1,161	1,146	0,180	0,175	1,182	1,155	0,189	0,194	

**TABLEAU 7.15. RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE FUMURE ORGANIQUE SUR L'ASSIMILATION DU NICKEL SUR DEUX TYPES DE SOL (2<sup>ème</sup> ESSAI)**

Paramètres	Unités	Moyennes générale	CV (%)	Probabilité du facteur Ni.S.F	Effets des différentes combinaisons triples Ni.S.F								Comparaisons des traitements
					1 Ni1S1F1	2 Ni1S1F2	3 Ni1S2F1	4 Ni1S2F2	5 Ni2S1F1	6 Ni2S1F2	7 Ni2S2F1	8 Ni2S2F2	
pF2.5r	%												
pF3.0r	%												
pF4.2r	%												
pHH <sub>2</sub> Or	-	4,961	1,61	0,2161	5,125	5,092	4,896	4,921	5,083	5,017	4,796	4,763	
pHKClr	-	4,757	2,40	0,7753	4,567	4,546	4,946	5,071	4,529	4,500	4,971	4,925	
CTr	mg/g												
NTr	mg/g												
C/Nr	-												
CaEr	meq%	4,969	4,69	0,4173	8,005	7,910	2,163	2,222	7,727	7,772	1,987	1,962	
MgEr	meq%	3,412	6,19	0,3729	6,817	6,712	0,261	0,221	6,292	6,427	0,294	0,272	
KEr	meq%	0,147	19,85	0,4545	0,208	0,201	0,031	0,035	0,248	0,257	0,075	0,121	
NaEr	meq%	0,112	26,21	0,7744	0,137	0,149	0,086	0,082	0,134	0,147	0,063	0,100	
ΣBEr	meq%	8,639	5,01	0,4611	15,167	14,972	2,541	2,560	14,402	14,602	2,418	2,455	
CECr	meq%	8,202	8,30	0,2192	13,717	14,025	2,408	2,592	13,642	14,083	2,525	2,625	
ΣBE/CECr	%	108,083	24,65	0,3672	110,913	107,173	123,738	103,685	105,718	103,825	106,376	103,235	
Condr	µS/cm												
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Asr	mg/g												
Ni Extract.	ppm	85,038	-	-	12,000	12,300	4,000	4,100	240,300	251,500	79,500	76,600	



ANNEXE 8

CULTURE HYDROPONIQUE DU MAÏS



# CULTURE HYDROPONIQUE DU MAÏS

## 1. Objectifs

L'objectif principal de cette expérimentation est de déterminer précisément le seuil de toxicité d'un métal en solution pour le maïs, en cultivant ce dernier sur des solutions contenant des doses croissantes de sulfates de ce métal (Ni, Mn, Cr ou Co).

L'avantage de ce type d'expérimentation est que l'élément est totalement disponible pour la plante et n'interagit pas avec le sol. De plus, sa durée est très courte, En effet, après quelques jours seulement, la mesure de la longueur des racines suffit déjà pour mettre en évidence la concentration du métal en solution à partir de laquelle la toxicité apparaît.

Ses limites tiennent au fait que le maïs ne peut être cultivé facilement au delà du 8<sup>ème</sup> jour en raison de l'instabilité croissante des plants due à la faiblesse de leur maintien et de l'exigence croissante de leur nutrition.

## 2. Mise en place de l'expérimentation

800 graines de maïs (hybride double GH 5010) sont mis à germer pendant environ deux jours, 120 sont ensuite sélectionnées par la longueur de leur racine principale de façon homogène. Ainsi, la longueur des racines au départ de l'expérimentation est de 15 mm  $\pm$  2 mm.

Ces plantules prégermées sont coincées verticalement dans des trous adaptés à leur taille fait dans une plaque de polystyrène de 5 mm d'épaisseur, la racine disposée vers le bas, et de façon à permettre au coléoptile de se développer le plus naturellement vers le haut.

Plusieurs plaques contenant chacune 12 plantules sont ainsi constituées. Chaque plaque est déposée dans une bassine en polyéthylène, à la surface d'une solution de culture aérée à l'aide d'un bulleur. Le volume des solutions est de 2 litres, ce qui est suffisant pour limiter l'effet de concentration du milieu par évapotranspiration.

Les produits et les doses testés jusqu'à présent sont les suivants :

NiSO <sub>4</sub> (mg/l)	0	0,029	0,059	0,117	0,176	0,235	0,293	0,352	0,470	0,587	-
MnSO <sub>4</sub> (mg/l)	0	0,550	1,099	1,648	2,198	2,747	3,297	4,396	5,495	8,242	16,484
CoSO <sub>4</sub> (mg/l)	0	0,029	0,059	0,118	0,236	0,354	0,472	0,589	1,179	1,768	-

Le pH des solutions est de 6,4, et il n'est pratiquement pas influencé par les doses croissantes de NiSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub>, ou CoSO<sub>4</sub>.

Aucun nutriment susceptible d'influencer l'absorption du métal n'a été rajouté à la solution. Les résultats doivent donc être replacés dans leur contexte, sachant que les conditions de l'expérience ne sont pas celles du terrain dans lequel une multitude d'éléments interviennent. Toutefois, les résultats qui suivent constituent une première approche indispensable pour de nombreuses raisons : ils permettent d'appréhender les risques de toxicité d'un élément en solution *in situ*, de comparer le potentiel toxique d'un élément avec un autre, de définir la sensibilité d'une espèce végétale voire d'une variété à l'égard du métal considéré, et d'avoir même par analyse des parties aériennes le seuil de toxicité de l'élément dans le végétal qui sera transposable dans la nature.

### 3. Résultats

Les longueurs des racines ont été mesurées à différents temps après mise en solution. Les longueurs indiquées sont des longueurs nettes correspondant à la longueur brute diminuée de la longueur de la racine avant la mise en solution (environ 1,5 cm).

Les figures 8.1., 8.2. et 8.3. qui suivent nous montrent que les valeurs de ces mesures diminuent nettement à partir de 0,117 mg/l de Ni, 2,198 mg/l de Mn et 0,059 mg/l de Co.

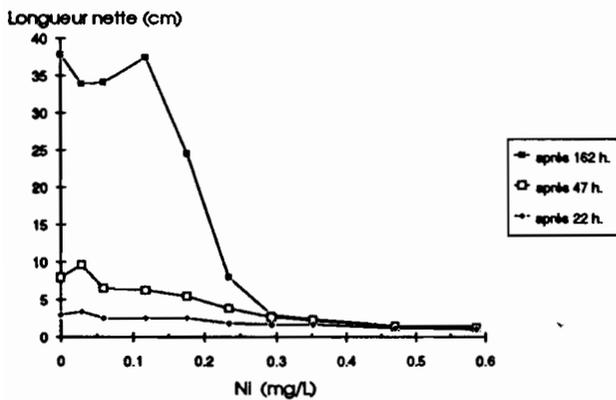


Fig. 8.1. Mesure de la longueur nette des racines à différents temps après mise dans une solution de NiSO<sub>4</sub>.

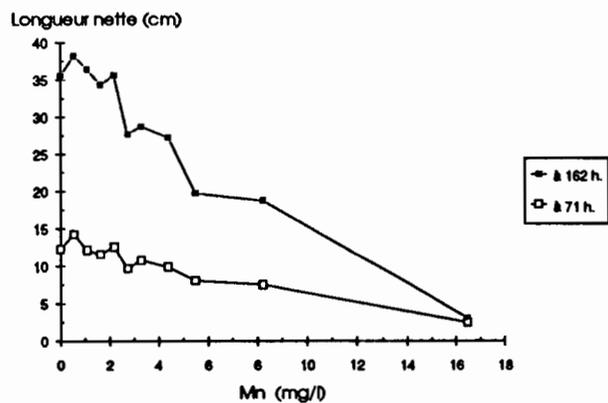


Fig. 8.2. Mesure de la longueur nette des racines à différents temps après mise dans une solution de MnSO<sub>4</sub>.

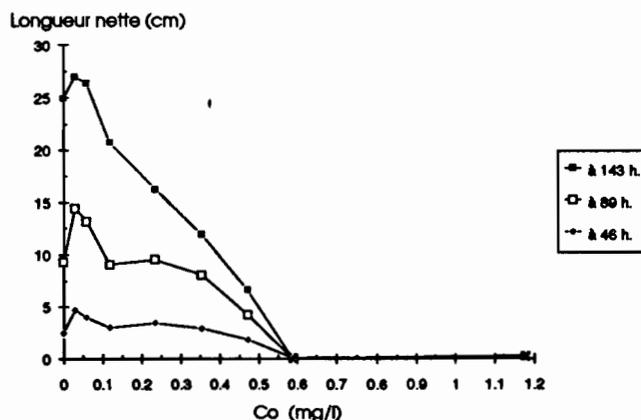


Fig. 8.3. Mesure de la longueur nette des racines à différents temps après mise dans une solution de CoSO<sub>4</sub>.

