

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 24

1993

Contribution à l'étude des sols de Maré :
Les sols des Centres d'Appui au Développement
Agricole de Tawainèdre et Taodé.

2. Caractérisation physico-chimique des sols

Thierry BECQUER
Emmanuel BOURDON
Jean PETARD

Convention ORSTOM/Province des Iles
notifiée le 30 avril 1991

Document de travail

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 24

1993

**Contribution à l'étude des sols de Maré :
Les sols des Centres d'Appui au Développement Agricole de
Tawaïnèdre et Taodé.**

2. Caractérisation physico-chimique des sols

**Thierry BECQUER
Emmanuel BOURDON
Jean PETARD**

**Convention ORSTOM/Province des Iles pour l'étude des conditions de
mise en valeur des sols ferrallitiques allitiques des Iles Loyauté
notifiée le 30 avril 1991**

ORSTOM

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

CENTRE DE NOUMÉA

© ORSTOM, Nouméa, 1993

/Becquer, T.
/Bourdon, E.
/Petard, J.

Contribution à l'étude des sols de Maré : Les sols des Centres d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre et Taodé. 2. Caractérisation physico-chimique des sols

Nouméa : ORSTOM. Décembre 1993. 63 p.
Conventions : Agropédol. ; 24

Ø68ANASOL

ANALYSE CHIMIQUE ; CARACTERISTIQUE CHIMIQUE ; ANALYSE FACTORIELLE ; ETUDE
COMPARATIVE ; CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE ; PH ; SOL FERRALLITIQUE ALLITIQUE
/ MARE ILE ; NOUVELLE CALEDONIE

Imprimé par le Centre ORSTOM
Décembre 1993



ORSTOM Nouméa
REPROGRAPHIE

RESUME

Deux faciès de sol ont été identifiés sur les parcelles des Centres d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre et de Taodé. Le premier correspond à des sols superficiels (inférieurs à 30 cm) caractérisés par des teneurs élevées en CaCO_3 (supérieures à 0,5 %) et des pH neutres ou légèrement alcalins. Le second correspond à des sols plus profonds, non carbonatés, modérément acides (pH 6-6,5). Ce dernier faciès est le seul susceptible de présenter un intérêt agricole en offrant des possibilités d'enracinement correctes aux plantes et en permettant une mécanisation des pratiques culturales. La comparaison statistique des deux stations montre une baisse importante des teneurs en éléments minéraux au niveau de la station de Tawaïnèdre, qui a subi une forte anthropisation, par rapport à la station de Taodé. Si on estime que l'état initial des deux stations était similaire, les pertes peuvent être évaluées respectivement à 28, 21 et 38 % pour le calcium, le magnésium et de potassium échangeable, à 28 % pour la CEC et à 65 % pour le phosphore assimilable. Cette baisse de fertilité semble être en grande partie imputable à la diminution du stock de matière organique.

AVANT PROPOS

Les pressions économiques et démographiques que subissent les Iles Loyauté, ainsi qu'une volonté de fixer les populations, notamment les jeunes, sur les îles rend nécessaire un abandon progressif des techniques d'exploitation traditionnelles pour une agriculture plus intensive.

Cependant, ce type d'agriculture n'est pas sans poser un certain nombre de problèmes liés à la fertilité, à l'évolution des sols à long terme et aux risques de pollution des lentilles d'eau douce. Différentes recherches sont donc nécessaires afin d'améliorer nos connaissances sur ces milieux. Ces objectifs intéressant la Province des Iles, le "**Programme de recherches sur les conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques allitiques des Iles Loyauté**" a reçu son appui sous forme d'une convention.

Ce document est le second volet de l'étude des sols des Centres d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre et de Taodé. Après une première étude de la variabilité des sols à partir de critères morphologiques (BECQUER *et al.*, 1993), nous nous sommes intéressés à décrire la variabilité des caractères chimiques des sols.

Les analyses chimiques ont été réalisées par les personnels du Laboratoire Commun d'Analyse de l'ORSTOM-Nouméa sous la responsabilité de J. PÉTARD.

La duplication de ce rapport a été confiée à l'atelier de reprographie du Centre ORSTOM de Nouméa (responsable : J.P. MERMOUD).

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 7 |
| I- MATÉRIEL ET MÉTHODES | 7 |
| 1- Introduction | 7 |
| 2- Mesure et interprétation du pH | 9 |
| 21- pH H ₂ O et pH KCl | 9 |
| 22- Le ΔpH | 9 |
| 3- Le complexe d'échange | 10 |
| 31- Généralités | 10 |
| 32- Les charges permanentes | 10 |
| 33- Les charges variables | 10 |
| 34- La capacité d'échange cationique (CEC) et la capacité d'échange anionique (CEA) | 11 |
| II. ANALYSE DES PROFILS | 12 |
| 1- Résultats des analyses de profils | 12 |
| 2- Discussion | 12 |
| III. ANALYSE DE LA VARIABILITE DES SOLS | 15 |
| 1- Analyse globale de la variabilité des différents paramètres chimiques sur les deux stations | 15 |
| 2- Comparaison des deux stations | 18 |
| 21- Comparaison des moyennes | 18 |
| 22- Comparaison des centiles | 20 |
| 23- Conclusion | 23 |
| 3- Relations entre les différents paramètres | 23 |
| 31- Etude de la matrice des corrélations | 24 |
| 311- pH H ₂ O et pH KCl | 24 |
| 312- pH, teneurs en bases et teneur en CaCO ₃ | 25 |
| 313- Phosphore | 27 |
| 32- Analyse factorielle | 27 |
| 4- Conclusion | 29 |

| | |
|---|----|
| IV RELATION AVEC LA CARTOGRAPHIE DES PROFONDEURS | 29 |
| CONCLUSION | 32 |
| BIBLIOGRAPHIE | 33 |
| ANNEXES | 35 |
| - Annexe 1 : analyses physico-chimiques des profils de sols des stations de Tawainèdre et Taodé | 37 |
| - Annexe 2 : résultats des analyses chimiques, effectuées sur l'horizon 15-25 cm, pour les échantillonnages systématiques | 47 |
| Tableau 1 : station de Tawainèdre | |
| Tableau 2 : station de Taodé | |
| - Annexe 3 : matrices des corrélations pour les principales variables | 59 |
| Tableau 3 : ensemble des deux stations | |
| Tableau 4 : station de Tawainèdre | |
| Tableau 5 : station de Taodé | |

INTRODUCTION

Le développement de l'agriculture des Iles Loyauté passe par une transformation radicale des pratiques culturales. Actuellement, l'utilisation du milieu est caractérisée par des périodes de deux à trois ans de culture alternant avec des jachères de sept à huit ans, voire plusieurs décennies. Ce système permet, semble-t-il, de maintenir la fertilité des sols à un niveau acceptable, notamment grâce à la conservation de teneurs relativement élevées en matière organique. La culture prolongée sur une même parcelle se traduit, en général, par une acidification des horizons superficiels, par une baisse des teneurs en matière organique et en bases échangeables ainsi qu'en une dégradation de la structure. Le maintien de la fertilité des sols à long terme, tout en pratiquant des cultures en continu avec un niveau d'intensification relativement élevé, nécessite donc de mieux cerner les potentialités agronomiques et les différents niveaux de contraintes de ces sols. Ceci a amené la Province des Iles à établir une convention avec l'ORSTOM visant à poursuivre "**des recherches sur les conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques allitiques des Iles Loyauté**".

Un certain nombre d'études ont été menées par le passé sur les îles Loyauté (DUGAIN, 1954 ; TERCINIER, 1971 ; LATHAM, 1980, 1982 ; LATHAM et MERCKY, 1983 ; BONZON *et al.*, 1991). Celles-ci ont permis de caractériser les différents types de sols, de préciser leur répartition à grande échelle (1/200 000) ainsi que leurs potentialités agronomiques. Une première étape des études menées dans le cadre de la convention avec la Province des Iles a permis d'observer la variabilité morphologique des sols à l'échelle de la parcelle agricole (BECQUER *et al.*, 1993). Nous avons noté, en particulier, une différence non négligeable entre les stations de Tawaïnèdre et de Taodé au niveau de l'horizon de surface, celui-ci étant beaucoup plus humifère dans la seconde station.

L'objectif de ce travail était double. D'une part, nous avons analysé la variabilité de divers paramètres chimiques et nous l'avons confronté aux observations morphologiques, en particulier à la profondeur du sol qui a été cartographiée précédemment (BECQUER *et al.*, 1993). D'autre part, nous avons comparé les deux stations afin d'avoir les premiers éléments d'information sur les conséquences potentielles de diverses conduites des jachères (jachère très longue avec régénération de la couverture forestière à Taodé ; jachère fortement anthropisée avec brûlage régulier du couvert végétal à Tawaïnèdre).

Après une analyse de quelques profils, nous avons décrit, dans une seconde partie, la variabilité des différents paramètres chimiques dans leur ensemble et à l'intérieur de chacune des deux stations. Pour terminer, nous avons confronté, dans une troisième partie, les résultats d'analyses chimiques avec la cartographie des profondeurs de sol.

I- MATÉRIEL ET MÉTHODES

1- Introduction.

Les études concernant les caractéristiques physico-chimiques des sols des stations de Tawaïnèdre et Taodé ont été réalisées à partir de 7 profils pédologiques et d'un échantillonnage systématique, tous les 50 m environ, à une profondeur comprise entre 15 et 25 cm. La localisation des profils et des points d'échantillonnage est présenté dans la figure 1 ; les analyses réalisées pour les divers échantillons sont présentées dans le tableau 1.

Les méthodes utilisées par le Laboratoire de Chimie de l'ORSTOM-Nouméa sont décrites en détail par PÉTARD (1993). Nous ne précisons, dans les paragraphes ci-dessous, que les points importants relatifs à l'interprétation des analyses, notamment en ce qui concerne le pH et la capacité d'échange.

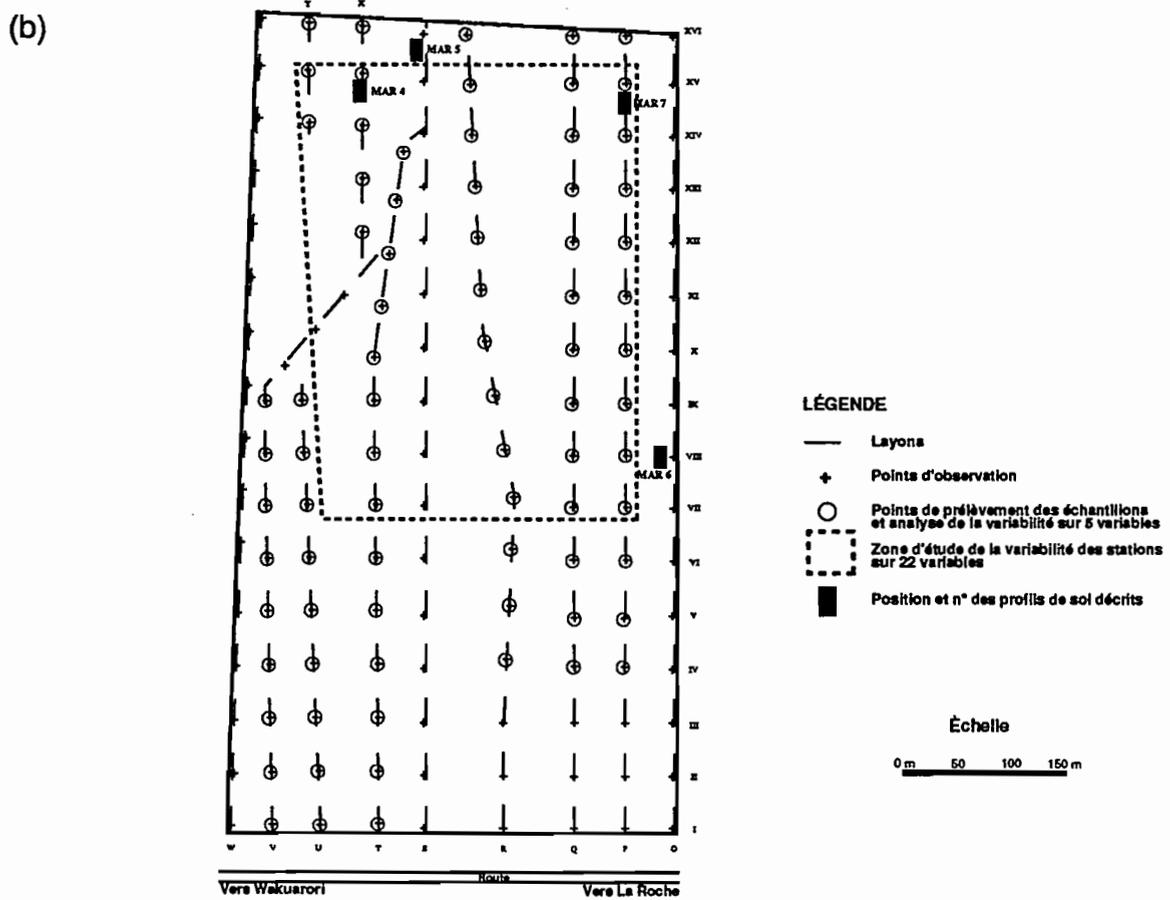
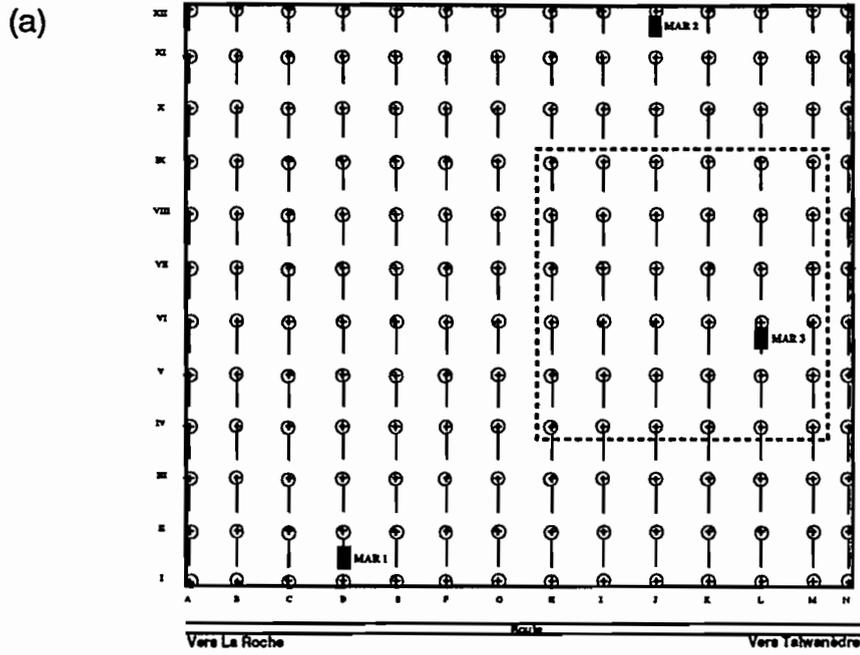


Figure 1 - Plan d'observation et de prélèvement des stations de Tawaïnèdre (a) et de Taodé (b).

| Analyse de profils de sols | Analyse de la variabilité physico-chimique sur 5 variables | Analyse de la variabilité physico-chimique sur 22 variables |
|---|---|---|
| % de refus (particules > 2 mm) Granulométrie pF 2,5 pF 3,0 pF 4,2 pH _{H2O} pH _{KCl} Carbone total Azote total Calcium échangeable (CaBE) Magnésium échangeable (MgBE) Potassium échangeable (KBE) Sodium échangeable (NaBE) CEC Phosphore total (P2O5T) Phosphore assimilable (P2O5AS) Analyse totale (SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MnO ₂ , TiO ₂ , NiO, Cr ₂ O ₃ , CoO, CaO, MgO, K ₂ O, Na ₂ O) | Profondeur du sol % de refus pH _{H2O} pH _{KCl} Carbonate de Calcium Total (CaCO ₃ T) | Profondeur du sol % de refus pH _{H2O} pH _{KCl} CaBE MgBE KBE NaBE CEC P2O5T P2O5AS CaCO ₃ T Analyse totale (SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MnO ₂ , TiO ₂ , NiO, Cr ₂ O ₃ , CoO, CaO, MgO, K ₂ O, Na ₂ O) |

Tableau 1- Liste des analyses réalisées pour chaque type d'échantillon de sol.

2- Mesure et interprétation du pH.

21- pH H₂O et pH KCl

Le pH a été mesuré, pour tous les échantillons, de deux manières :

- en suspension dans de l'eau distillée (pH H₂O),
- en suspension dans une solution de KCl N (pH KCl),

avec un rapport sol-solution de 1/2,5 dans les deux cas.

La première mesure, pH H₂O, quantifie l'acidité dite actuelle qui rend compte des protons spontanément dissociés en phase aqueuse.

La seconde, pH KCl, consiste à mettre le sol en présence d'un électrolyte indifférent, tel que le KCl, apporté à une concentration élevée afin d'augmenter la force ionique de la solution. Ceci permet d'enregistrer les modifications provoquées par la saturation des charges par cet électrolyte ; les ions K⁺ et Cl⁻ prennent la place des ions H⁺ et OH⁻ sur le complexe d'échange. Ces derniers, libérés dans la solution, induisent des modifications par rapport au pH H₂O.

22- Le ΔpH

Dans le cas où le complexe d'échange est constitué majoritairement de charges négatives (ce qui est généralement le cas dans la plupart des sols), il y a plus de K⁺ que de Cl⁻ qui se fixent sur le complexe d'échange. Il y a donc plus de H⁺ que de OH⁻ libérés dans la solution ; le pH mesuré dans le KCl sera plus faible que le pH H₂O.

A l'inverse, lorsque le complexe d'échange est constitué majoritairement de charges positives, le pH KCl sera plus élevé que le pH H₂O.

A partir de ces deux mesures on peut donc calculer :

$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$$

dont le signe indique le comportement de l'échangeur. Quand ΔpH est positif (cas le plus général), le sol se comporte comme un échangeur de cations, quand il est négatif comme un échangeur d'anions.

3- Le complexe d'échange

31- Généralités

La capacité d'échange d'un sol est liée à la présence de charges électriques à la surface des argiles et des colloïdes minéraux ou organiques qui le composent.

Des ions peuvent alors se fixer sur ces charges grâce à des forces électrostatiques. Ces forces sont relativement peu intenses ; les ions sont alors échangeables.

Ces charges peuvent être :

- soit positives ; elles induisent une capacité d'échange anionique (C.E.A.),
- soit négatives ; elles induisent une capacité d'échange cationique (C.E.C.).

On distingue deux types de charges en fonction de leur origine :

- les charges permanentes,
- les charges variables.

32- Les charges permanentes

Elles restent constantes et invariables quelles que soient les conditions de pH du milieu.

Elles sont pratiquement spécifiques des minéraux argileux.

Elles génèrent toujours des charges négatives.

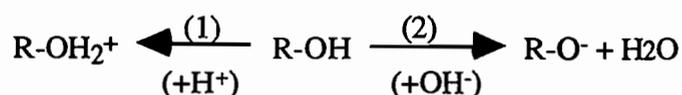
Elles sont dues à des phénomènes de substitution ionique : au sein des feuillets de certains minéraux argileux, des ions à forte charge positive peuvent être remplacés par des ions à charge plus faible. Par exemple, dans la montmorillonite, il y a des substitutions d' Al^{3+} par Mg^{2+} (parfois Fe^{2+}). Ceci provoque un déficit de charges positives donc l'apparition de charges négatives.

33- Les charges variables

Leur existence et leur importance sont étroitement conditionnées par le pH du milieu.

Elles sont fonction des possibilités d'ionisation de certaines liaisons en présence d' H^+ ou d' OH^- .

La réaction chimique générale décrivant ce processus pourrait s'écrire de la façon suivante :



Il existe une valeur de pH, variable selon les constituants, pour laquelle les composés sont électriquement neutres (non chargés). Ce point est appelé le ZPC (Zéro Point of Charge), point de charge nulle ou point isoélectrique.

En dessous de cette valeur de pH, c'est la réaction (1) qui a lieu.
Au dessus de cette valeur de pH, c'est la réaction (2) qui a lieu.

Donc, quand le pH baisse, ceci conduit à la diminution du nombre de charges négatives, donc à la baisse de la CEC et inversement à l'augmentation du nombre de charges positives et donc à l'augmentation de la CEA.

Trois groupes de composés sont susceptibles de conduire à l'apparition de charges variables :

- **la matière organique**, par l'ionisation des groupements carboxyl ou phénol. Le ZPC des acides humiques ou fulviques est généralement voisin de 2,5 ; quand le pH est supérieur à 2,5, ce qui est toujours le cas dans les sols, c'est la réaction (2) qui a lieu. Il y a donc apparition de charges négatives à la surface des composés organiques.

- **les argiles**, par l'ionisation des liaisons Si-OH. Le ZPC de la kaolinite, par exemple, est environ de 3,5. Donc, comme pour la matière organique, c'est la réaction (2) qui a lieu avec apparition de charges négatives.

- **les oxy-hydroxydes de fer (goethite, hématite...) et d'aluminium (gibbsite...)**. Le ZPC de ces composés est de 8,1 pour la goethite (PARFITT, 1980), 8 pour l'hématite (CHAMAYOU et LEGROS, 1989) et 9,5 pour la gibbsite (PARFITT, 1980). Dans la plupart des sols, c'est la réaction (1) qui a lieu avec apparition de charges positives à la surface de ces composés.

En réalité, les mécanismes ne se limitent pas à cette simple juxtaposition de charges positives et négatives. En particulier, l'existence d'adsorption spécifique d'anions, notamment de phosphates ou de sulfates, sur la surface des minéraux complique ces phénomènes. Dans ces cas, une partie seulement de la charge de l'anion sert à la fixation sur le support, l'autre contribuant à la création de charges négatives elles même variables.

De plus, la force ionique du milieu intervient dans ces phénomènes.

34- La capacité d'échange cationique (CEC) et la capacité d'échange anionique (CEA)

Comme nous venons de le voir, les charges négatives et positives peuvent "cohabiter" dans un même sol. La "CEC" qui est mesurée est en fait la résultante de l'ensemble des charges permanentes ou variables, positives ou négatives, développées à la surface des colloïdes organo-minéraux. Selon la méthode utilisée, en particulier dans les sols à charges variables où les charges positives peuvent être importantes, certains biais peuvent apparaître dans le résultat.

Le Laboratoire d'Analyse du Centre ORSTOM de Nouméa utilise du NH_4Cl à pH 7 en milieu éthanol (PÉTARD, 1993). Cette méthode permet à la fois de doser le K^+ et le Cl^- adsorbés par le sol. La CEC mesurée correspond à la quantité d'ammonium fixée sur le complexe d'échange à laquelle on soustrait la quantité de chlorure fixé. Pour la plupart des sols, la fixation de chlorure est faible ou négligeable par rapport à celle d'ammonium ; dans ce cas, on mesure réellement la capacité d'échange cationique. Du fait que l'on se place à pH 7, la CEC peut être surestimée, les charges des composés à charges variables (matière organique notamment) augmentant avec le pH. Par contre, lorsque les oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium sont présents à des teneurs élevées, le fait de soustraire la quantité de chlorure adsorbé à celle de l'ammonium peut biaiser fortement les résultats.

II- ANALYSE DES PROFILS

1- Résultats des analyses de profils

7 profils de sols ont été analysés sur l'ensemble des deux stations (figure 1).

Les résultats analytiques de chaque profil sont présentés en annexe 1. Le nombre relativement faible de profils observés ne nous permet pas de comparer valablement les valeurs obtenues pour chacune des deux stations. Une comparaison de ce type sera réalisée pour l'échantillonnage systématique (CF. paragraphe IV)

2- Discussion

Les points majeurs suivants peuvent être retenus :

- **la texture** est très fine, les particules inférieures à 20 µm (argiles et limons fins) représentant de 70 à 80 % de l'ensemble. Un sol de ce type serait classé, dans un triangle des textures (BONNEAU et SOUCHIER, 1979 ; BAIZE, 1988), comme un sol argilo-limoneux (AL). Toutefois, il faut être très prudent sur l'interprétation de ce résultat. En effet, les éléments classés comme "argiles" ne sont pas des minéraux argileux mais essentiellement des oxyhydroxydes de fer et d'aluminium dont la taille des particules est inférieure à 2 µm (argiles granulométriques). Les interprétations concernant les propriétés physiques ou agronomiques qui sont souvent déduites de l'analyse granulométrique ne peuvent plus être faites.

- A partir des mesures de teneur en eau à différents pF (potentiel matriciel), une estimation de la **Réserve Utile (R.U.)** peut être faite. Elle est calculée (BAIZE, 1988) à partir de la relation :

$$\text{R.U.} = E * D_a * (\text{CC} - \text{PF}) / 100$$

avec : R.U. exprimé en mm
 E = épaisseur de l'horizon en mm
 Da = densité apparente
 CC et PF = humidités pondérales, respectivement à la capacité au champs et au point de flétrissement, en %

Le point de flétrissement correspond au pF 4,2. Par contre, une certaine imprécision demeure en ce qui concerne la capacité au champs, qui est voisine de pF 2,5 ou pF 3 (variable suivant les sols). Les valeurs de densité apparente utilisées dans notre calcul sont celles mesurées par BROUWERS (1990) à Tawaïnèdre. Trois horizons, 0-10 cm, 10-30 cm et 30-50 cm ont été pris en compte avec des densités apparentes respectives de 0,66 ; 0,74 ; 0,88.

Pour pF 3 et pF 2,5, les R.U. calculées sont respectivement de 35,9 et 53,8 mm pour 50 cm de sol, ce qui est relativement faible.

Ce résultat est à prendre avec précaution car sujet à un certain nombre d'imprécisions, en particulier en ce qui concerne les mesures de pF, qui ont été réalisées sur échantillons séchés et tamisés, le laboratoire ne disposant pas des équipements nécessaires pour travailler sur mottes fraîches. Toutefois, on peut penser que les faibles réserves hydriques et le drainage interne très rapide de ces sols sont susceptible de provoquer d'importants stress hydriques sur les cultures annuelles. En ce qui concerne les plantes pérennes, une contribution de l'eau contenue dans le calcaire corallien à la réserve hydrique a été proposée (LATHAM et MERCKY, 1983), une partie des racines s'alimentant au contact ou dans les fissures de la roche. Dans ce cas, les problèmes de sécheresse pourraient être atténués.

- le $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ est très légèrement acide (entre 6 et 7), ce qui est généralement favorable à la croissance de la plupart des plantes. Le ΔpH positif dans les horizons de surface devient nul en profondeur ; les charges électronégatives qui sont majoritaires en surface s'équilibrent donc en profondeur avec les charges électropositives.

- La teneur en **matière organique** est très importante dans l'horizon de surface. Elle décroît rapidement dans les horizons inférieurs. Le C/N d'environ 10-12 est un indice d'une bonne humification de la matière organique.

- La **C.E.C.** est importante en surface et décroît rapidement en profondeur, de façon assez similaire au taux de matière organique. En effet, dans ces sols dépourvus d'argiles minéralogiques, la CEC est en liaison étroite avec le taux de matière organique. Le complexe d'échange est saturé par le calcium et le magnésium. Le rapport entre ces deux éléments est favorable aux plantes ($\text{Ca} / \text{Mg} = 1,6$ en surface et 1 en profondeur). Par contre, le **potassium** est très peu abondant et doit probablement induire des carences importantes. Hormis au niveau de l'horizon humifère où un peu de potassium est présent (0,48 méq/100g), il est pratiquement absent du reste du sol (0,04 à 0,09 méq/100g). La réserve de potassium échangeable calculée est de 120 kg/ha pour l'horizon humifère et de 100 kg/ha pour le reste du profil.

- Les teneurs en **phosphore total** sont très importantes dans ces sols (2 à 3 %), essentiellement sous forme de phosphate d'alumine (crandalite) (LATHAM et MERCKY, 1983). De même, les valeurs de **phosphore assimilable**, obtenues par la méthode Olsen modifiée Dabin (PÉTARD, 1993), sont également importantes (1000 à 2000 ppm) et très supérieures aux seuils de carences proposés habituellement [de l'ordre de 100 à 200 ppm pour la méthode Olsen-Dabin (Mémento de l'agronome, 1991)]. Toutefois, les expérimentations en serre, que nous avons menées par ailleurs (BONZON et BECQUER, 1993), montrent de graves carences en phosphore pour ces sols. Ces deux résultats ne semblent pas compatibles. En fait, les extractions chimiques d'un élément pour obtenir une valeur dite assimilable de l'élément ne sont en général qu'une image souvent imparfaite de la réalité, c'est à dire de ce que la plante peut réellement absorber. Dans le cas du phosphore, les méthodes d'extraction n'ont probablement pas été testées par rapport à des sols oxydiques, car ces sols sont relativement peu représentés à l'échelle mondiale. De ce fait, la méthode employée solubilise sans doute beaucoup plus de phosphore qu'une plante n'est capable d'en prélever. Une méthode chimique plus proche de la réalité reste donc à trouver pour ces sols.

Cette faible assimilabilité du phosphore doit être mise en regard des valeurs de rétention de phosphore. Cette méthode qui consiste à mettre une solution de phosphore en contact avec du sol et à mesurer le pourcentage de phosphore fixé donne un premier aperçu de la capacité de rétention du sol. Les résultats obtenus pour les horizons de surface et de profondeur sont respectivement de 83 % et 96 % de phosphore fixé. Ce résultat nous montre la capacité très importante des oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium à fixer le phosphore ce qui explique sa faible disponibilité. Seul l'horizon humifère fixe le phosphore plus modérément ; la présence de matière organique semble donc être un élément majeur pour rendre le phosphore disponible.

- L'**analyse tri-acides** de ces sols montre la large prédominance de l'aluminium et du fer (34 à 42 % d' Al_2O_3 et 19 à 24 % de Fe_2O_3) et les faibles teneurs de silice (généralement moins de 1 % de SiO_2) dans ces sols. Ceci est en relation avec leur très grande richesse en oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium et avec l'absence de minéraux argileux. Les faibles teneurs en silice peuvent induire des carences sur des plantes exigeantes, comme le montrent les teneurs exceptionnellement basses des maïs cultivés sous serre (BONZON et BECQUER, 1993).

Nous pouvons également noter la présence, à des teneurs relativement forte de titane et de manganèse (de l'ordre de 1 % de TiO_2 et de MnO_2). Les oxydes de titane sont connus pour fixer très fortement le phosphore ; leur effet peut donc s'ajouter à celui des oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium. Le manganèse est parfois suspecté d'avoir des effets toxiques sur les plantes lorsqu'il est présent à des teneurs élevées dans la solution du sol. Le pH assez élevé et

la forte aération du milieu sont des facteurs qui vont limiter sa solubilité ; il est peu probable qu'il puisse avoir un effet néfaste dans ces sols.

Les réserves totales en calcium et magnésium sont satisfaisantes [respectivement 63 et 33 méq / 100 g dans l'horizon A et 20 et 17 méq / 100 g dans l'horizon (B)] mais pratiquement nulles en ce qui concerne le potassium et le sodium (< ou = à 0,5 méq / 100 g). Un calcul, utilisant les mêmes données que pour le calcul de la réserve utile permet d'évaluer le stock total de ces éléments (tableau 2).

| | Horizon A (0-10 cm) | Horizon (B)1 (10-30 cm) | Horizon (B)2 (30-50 cm) |
|----|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ca | 8380 | 6960 | 5950 |
| Mg | 2650 | 3510 | 3060 |
| K | 140 | 210 | 240 |
| Na | 80 | 190 | 100 |

Tableau 2- Réserves moyennes de calcium, magnésium, potassium et sodium des sols ferrallitiques allitiques des stations de Tawaïnèdre et Taodé (en kg d'élément par ha).

A partir des réserves totales, l'**altération** des minéraux et la **dissolution** du calcaire est susceptible de fournir des nutriments utilisables par les plantes. Dans ces sols où le pH est relativement élevé et où l'activité biologique doit conduire à une production importante de CO₂, lors de la minéralisation de la matière organique, la dissolution des carbonates de calcium et de magnésium est sans doute importante (BOURRIÉ, 1976). Par contre l'altération, qui est un processus généralement lent, peut être considéré comme nulle dans les sols oxydiques où il n'y a plus de trace de minéraux primaires (JAMET, 1986).

Si l'on compare cette source minérale avec la fraction fixée sur le complexe d'échange, on constate que, si un peu de calcium et de magnésium peuvent provenir de la dissolution du calcaire, seul le complexe d'échange participe à la nutrition potassique de la plante.

III- ANALYSE DE LA VARIABILITÉ DES SOLS

1- Analyse globale de la variabilité des différents paramètres chimiques sur les deux stations.

L'ensemble des résultats des analyses réalisées pour les différents échantillons de sol est présenté dans l'annexe 2.

Des analyses statistiques descriptives ont été réalisées sur des sous-échantillons de chaque station (CF. figure 1), grâce au logiciel Statview II utilisé sur micro-ordinateur Macintosh, pour les différents paramètres listés dans le tableau 1.

Il est important de préciser que ces sous échantillons ne sont pas totalement représentatifs de l'ensemble des stations. En particulier, les sols très superficiels (< 20 cm) sont sous représentés car l'échantillonnage n'était pas toujours possible (profondeur < à 15 cm). De plus, leur intérêt agricole étant très limité, nous avons volontairement porté notre attention sur les sols les plus profonds. Les enseignements que nous pourrons tirer de cette étude concerneront donc essentiellement les sols dont la profondeur est supérieure à 20 cm, hormis pour le pH et la teneur en CaCO₃.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau 3 ; l'étude de la distribution des fréquences de ces divers paramètres est présentée, par des graphes en diagrammes boîtes [ces graphes permettent de représenter la médiane et les deux quartiles d'une variable (rectangle central), le premier et le dernier décile (extrémités des barres latérales) et les valeurs extrêmes (points)], sur la figure 2.

| Eléments | Nombre d'observations | Moyenne | Ecart type | Coefficient de variation (en %) |
|--|-----------------------|--------------|------------|---------------------------------|
| Refus (en %) | 233 | 1,74 | 5,66 | 325,17 |
| pH H ₂ O | 229 | 6,52 | 0,36 | 5,45 |
| pH KCl | 232 | 6,35 | 0,32 | 5,00 |
| CaBE (en me/100g) | 76 | 11,18 | 5,07 | 45,35 |
| MgBE (en me/100g) | 76 | 7,31 | 2,49 | 34,10 |
| KBE (en me/100g) | 76 | 0,24 | 0,10 | 40,62 |
| NaBE (en me/100g) | 76 | 0,27 | 0,13 | 47,85 |
| BE (en me/100g) | 76 | 19,00 | 7,35 | 38,70 |
| CEC (en me/100g) | 76 | 21,22 | 5,39 | 25,39 |
| BE/CEC (en %) | 76 | 87,50 | 17,18 | 19,63 |
| P ₂ O ₅ T (en mg/g) | 76 | 22,13 | 4,88 | 22,05 |
| P ₂ O ₅ Ass. (en mg/g) | 76 | 1,79 | 1,01 | 56,27 |
| CaCO ₃ T (en %) | 232 | 2,05 | 7,48 | 364,69 |
| SiO ₂ (en %) | 76 | 0,78 | 0,22 | 28,05 |
| Fe ₂ O ₃ (en %) | 76 | 21,37 | 1,59 | 7,43 |
| Al ₂ O ₃ (en %) | 76 | 39,29 | 1,99 | 5,06 |
| MnO ₂ (en %) | 76 | 1,17 | 0,27 | 23,41 |
| TiO ₂ (en %) | 76 | 1,03 | 0,15 | 14,96 |
| Cr ₂ O ₃ (en %) | 76 | 0,11 | 0,01 | 8,02 |
| CaO (en %) | 76 | 1,19 | 0,69 | 57,73 |
| MgO (en %) | 76 | 0,61 | 0,29 | 47,08 |
| K ₂ O (en %) | 76 | 0,02 | 0,01 | 25,36 |
| Na ₂ O (en %) | 76 | 0,02 | 0,01 | 25,61 |

Tableau 3- Caractéristiques chimiques moyennes de l'ensemble des échantillons, de l'horizon 15-25 cm, prélevés sur les deux stations.

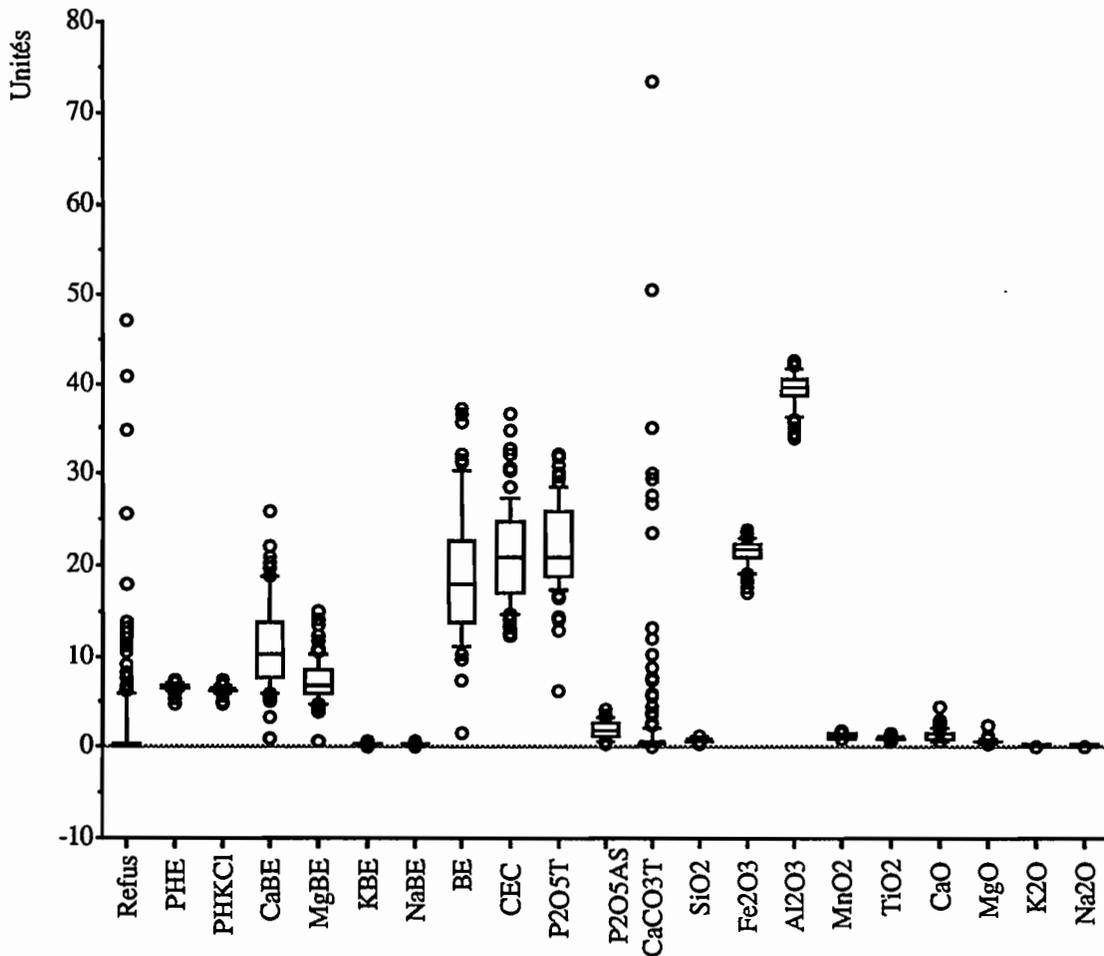


Figure 2 - Représentation de la distribution des fréquences des différentes variables à l'aide de diagrammes boîtes pour l'ensemble des échantillons, de l'horizon 15-25 cm, prélevés sur les deux stations.

Ces résultats et ces distributions peuvent être interprétés de la façon suivante :

- La distribution relativement symétrique autour de la médiane (hormis en ce qui concerne le pourcentage de refus et la teneur en CaCO_3) ainsi que l'homogénéité des paramètres tels que les mesures de pH ou les résultats de l'analyse totale, notamment en ce qui concerne Fe_2O_3 et Al_2O_3 qui sont les deux éléments les plus abondant, (coefficients de variations de 5 à 8%), nous indiquent que notre échantillonnage provient d'une population relativement homogène ;

- Toutefois, la présence de carbonates de calcium, à des teneurs élevées, dans un certain nombre d'échantillons, qui se traduit par une forte asymétrie de la distribution des individus pour ce paramètre, nous permet de subdiviser cette population en deux sous-groupe, avec une limite arbitraire qui se situerait vers 0,5 % de CaCO_3 . Le nombre de données est insuffisant dans le sous-groupe à forte teneur en CaCO_3 pour pouvoir faire des comparaisons statistiques, hormis en ce qui concerne les pH où des différences hautement significatives (seuil 0,01) sont observées entre les moyennes des deux sous groupes, les valeurs moyennes des pH étant présentées dans le tableau 4 :

| | Teneur inférieure à 0,5 % de CaCO ₃ | Teneur supérieur à 0,5 % de CaCO ₃ |
|---------------------|---|--|
| pH H ₂ O | 6,39 | 6,95 |
| pH KCl | 6,24 | 6,70 |

Tableau 4- Valeurs moyennes des pH H₂O et pH KCl pour les échantillons de sol à teneurs faible et élevées en CaCO₃ (seuil = 0,5 % de CaCO₃).

• Par contre, les paramètres reliés à la fertilité des sols (teneurs en bases échangeables, CEC, teneurs en phosphore total et assimilable) présentent une variabilité beaucoup plus importante que nous allons analyser par la suite.

2- Comparaison des deux stations

21- Comparaison des moyennes

De la même manière que précédemment, les statistiques descriptives réalisées sur les deux stations sont présentées dans le tableau 5 :

Ce tableau nous montre l'existence de différences significatives (seuil 95 %) ou hautement significatives (seuil 99 %) pour tous les paramètres étudiés sauf pour le taux de refus, la teneur en CaCO₃ et le taux de saturation du complexe d'échange. On peut donc considérer qu'il existe un effet stationnel important.

Les coefficients de variation obtenus, pour chaque station, pour les différents paramètres ne sont pas beaucoup plus faibles que ceux enregistrés pour l'ensemble des deux stations. Le nombre plus réduit d'observations explique probablement cette faible amélioration des résultats. Ces coefficients sont inférieurs à 5 % à Tawainèdre et à 7 % à Taodé en ce qui concerne les pH et les teneurs en Fe₂O₃ et Al₂O₃, ce qui traduit une très grande homogénéité du sol. En ce qui concerne les paramètres de fertilité (bases échangeables ou totales, phosphore assimilable et total), la variabilité des résultats reste encore importante à l'intérieur de chaque station malgré une légère amélioration par rapport à l'ensemble.

| Eléments | TAWAÏNEDRE | | | | TAODE | | | | test t |
|--|---------------|--------------|------------|-------------|---------------|--------------|------------|-------------|--------|
| | Nombre d'obs. | Moyenne | Ecart type | C.V. (en %) | Nombre d'obs. | Moyenne | Ecart type | C.V. (en %) | |
| Refus (en %) | 156 | 1,65 | 6,37 | 385,57 | 77 | 1,91 | 3,85 | 201,04 | ns |
| pH H2O | 152 | 6,50 | 0,30 | 4,61 | 77 | 6,58 | 0,44 | 6,74 | ** |
| pH KCl | 155 | 6,40 | 0,27 | 4,16 | 77 | 6,27 | 0,39 | 6,23 | *** |
| CaBE (en me/100g) | 35 | 9,25 | 3,95 | 42,69 | 39 | 12,91 | 5,38 | 41,67 | *** |
| MgBE (en me/100g) | 35 | 6,42 | 1,58 | 24,55 | 39 | 8,11 | 2,89 | 35,55 | *** |
| KBE (en me/100g) | 35 | 0,18 | 0,06 | 35,22 | 39 | 0,29 | 0,09 | 31,93 | *** |
| NaBE (en me/100g) | 35 | 0,17 | 0,06 | 37,18 | 39 | 0,36 | 0,10 | 27,20 | *** |
| BE (en me/100g) | 35 | 16,02 | 5,41 | 33,79 | 39 | 21,68 | 7,88 | 36,35 | *** |
| CEC (en me/100g) | 35 | 17,57 | 3,42 | 19,48 | 39 | 24,50 | 4,69 | 19,15 | *** |
| BE/CEC (en %) | 35 | 89,32 | 13,11 | 14,68 | 39 | 85,87 | 20,18 | 23,50 | ns |
| P ₂ O ₅ T (en mg/g) | 35 | 18,94 | 1,76 | 9,30 | 39 | 24,99 | 5,02 | 20,08 | *** |
| P ₂ O ₅ Ass. (en mg/g) | 35 | 0,91 | 0,35 | 38,56 | 39 | 2,58 | 0,70 | 27,18 | *** |
| CaCO ₃ T (en %) | 155 | 2,37 | 8,75 | 369,67 | 77 | 1,42 | 3,78 | 267,25 | ns |
| SiO ₂ (en %) | 35 | 0,62 | 0,07 | 10,77 | 39 | 0,93 | 0,20 | 21,37 | *** |
| Fe ₂ O ₃ (en %) | 35 | 22,52 | 0,78 | 3,45 | 39 | 20,34 | 1,42 | 6,98 | *** |
| Al ₂ O ₃ (en %) | 35 | 40,38 | 1,47 | 3,63 | 39 | 38,31 | 1,89 | 4,94 | *** |
| MnO ₂ (en %) | 35 | 1,45 | 0,09 | 6,49 | 39 | 0,93 | 0,07 | 7,80 | *** |
| TiO ₂ (en %) | 35 | 0,92 | 0,10 | 10,35 | 39 | 1,13 | 0,12 | 10,91 | *** |
| Cr ₂ O ₃ (en %) | 35 | 0,10 | 0,01 | 6,69 | 39 | 0,11 | 0,01 | 7,24 | *** |
| CaO (en %) | 35 | 0,84 | 0,39 | 46,11 | 39 | 1,51 | 0,75 | 49,75 | *** |
| MgO (en %) | 35 | 0,55 | 0,16 | 29,41 | 39 | 0,67 | 0,36 | 53,59 | ** |
| K ₂ O (en %) | 35 | 0,017 | 0,01 | 26,74 | 39 | 0,022 | 0,01 | 20,04 | *** |
| Na ₂ O (en %) | 35 | 0,016 | 0,01 | 30,10 | 39 | 0,021 | 0,01 | 17,06 | *** |

Tableau 5- Caractéristiques chimiques moyennes des échantillons (horizon 15-25 cm) de chacune des stations [le test t de student indique si les différences entre les deux stations sont significatives à 99 % (***), 95 % (**) ou non significatives à 95 % (ns)].

22- Comparaison des centiles

Une analyse plus détaillée nous a conduit à faire une comparaison des centiles des deux stations. Le n ième centile d'une série de données est la valeur pour laquelle n % des données sont inférieurs ou égales à cette valeur. On compare 19 centiles correspondant de deux variables (les centiles comparés sont 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 96, 97, 98, 99,) et on les projette sur un graphe carré. Cette procédure permet de comparer visuellement les distributions d'un même paramètre dans deux situations différentes.

Dans notre cas, les 19 points seront projetés sur un graphe dont l'abscisse représente les centiles d'une station (Tawaïnèdre) et l'ordonnée, les centiles de l'autre (Taodé) :

- si les deux distributions sont comparables, les 19 points reportés sur le graphe tombent sur une droite diagonale ;
- si un point se trouve au dessus de la droite, l'échantillon correspondant à l'ordonnée a un score plus grand, pour le centile en question, que le point associé à l'abscisse. Ceci traduit une plus grande richesse de cette station (Taodé) pour l'élément considéré ;
- inversement, si un point est situé en dessous de la droite, ceci traduit une plus grande richesse de la station présentée en abscisse (Tawaïnèdre) pour l'élément considéré.

Les résultats des principaux paramètres étudiés sont présentés dans la figure 3.

Ceci nous permet de constater que :

- le pH (figure 3a et 3b) est sensiblement identique entre les deux stations, hormis pour le premier décile où des valeurs extrêmement faible peuvent être observées à Taodé ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ min} = 4,77$) alors que pour Tawaïnèdre, le pH minimum est de 5,95. Près de 90 % des échantillons ont des pH compris entre 6 et 7 ;

- les courbes correspondant aux bases échangeables (figure 3c, 3d et 3e) présentent des pentes beaucoup plus importante que 1, ce qui indique une étendue beaucoup plus grande des résultats pour la station de Taodé. Pour le Calcium et le Magnésium, les 5 premiers centiles sont en dessous de la bissectrice, ce qui traduit des valeurs très faible, proche de zéro pour deux échantillons. Ensuite, les teneurs à Taodé sont toujours plus élevées avec une différence d'environ 25 %. Dans le cas du potassium, la différence est encore plus marquée, les teneurs à Taodé étant toujours supérieure d'environ 40 à 50 % ;

- la plus grande richesse en bases est étroitement corrélée avec une CEC toujours supérieure à Taodé par rapport à Tawaïnèdre (figure 3f). Par contre, le taux de saturation est analogue pour les deux stations (hormis deux échantillons de Taodé présentant des taux de saturation inférieur à 20 %) ;

- le Phosphore (figure 3g et 3h) présente des tendances similaires à celles observées pour les bases échangeables. Pour le phosphore total, hormis les cinq premier centiles, les teneurs sont supérieures d'environ 30 % à Taodé. En ce qui concerne le phosphore assimilable, la différence entre les deux stations est encore plus forte puisqu'il y a toujours une à deux fois plus de phosphore assimilable à Taodé par rapport à Tawaïnèdre, les valeurs médianes étant respectivement de 2,61 mg/g et 0,83 mg/g ;

- en ce qui concerne les principaux éléments dosés lors de l'analyse totale, notamment la silice, le fer et l'aluminium (figure 3i, 3j et 3k) on observe une plus grande richesse en silice à Taodé et à l'inverse une plus grande richesse en fer et en aluminium à Tawaïnèdre, traduisant un caractère oxydique légèrement plus marqué dans la deuxième station. La teneur en SiO_2 plus importante peut également limiter les risques de carence en silicium.

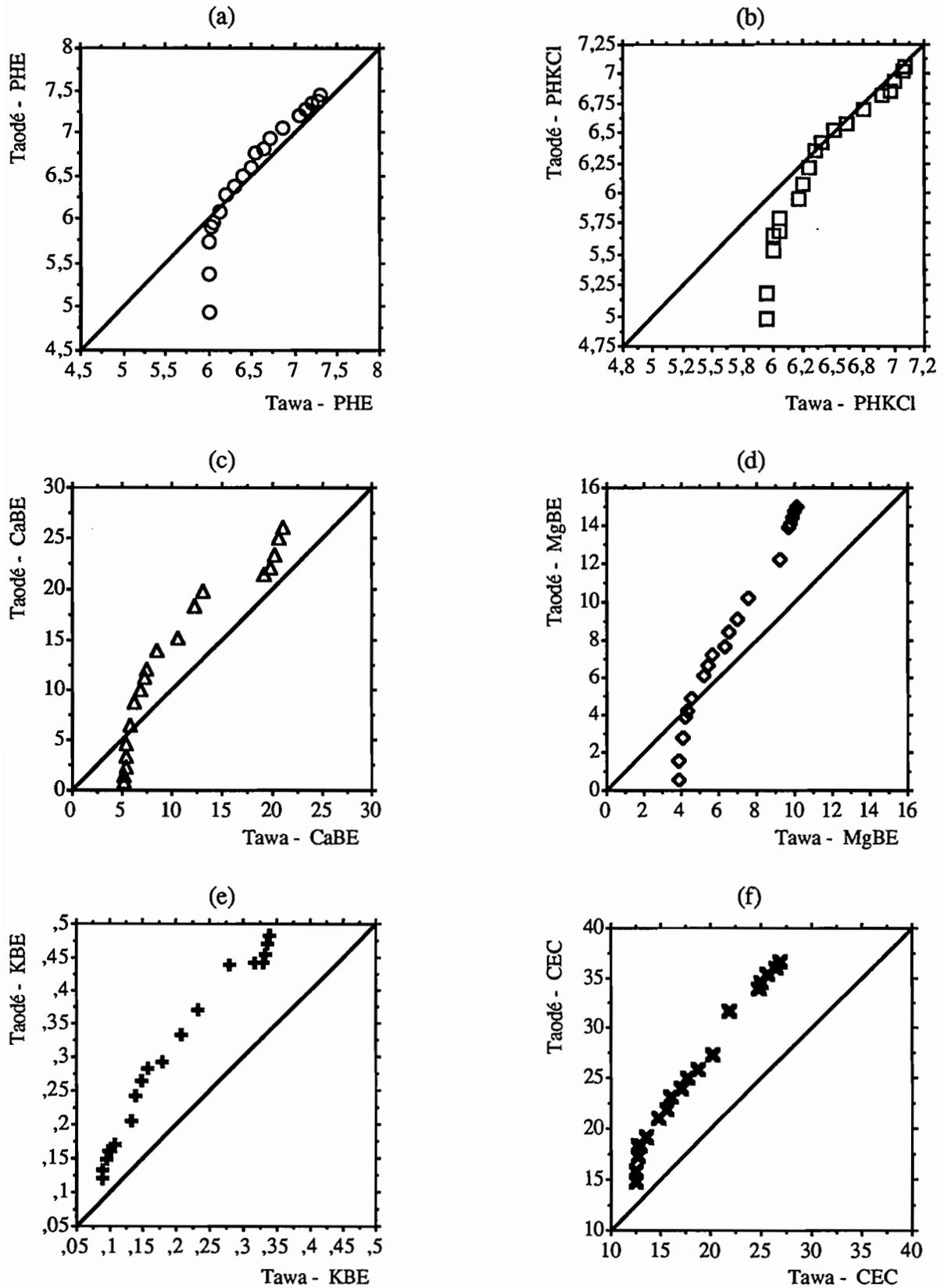


Figure 3- Comparaison des centiles entre les stations de Tawainèdre et de Taodé pour $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (a), pH_{KCl} (b), CaBE (c), MgBE (d), KBE (e), CEC (f), $\text{P}_2\text{O}_5\text{T}$ (g), $\text{P}_2\text{O}_5\text{AS}$ (h), SiO_2 (i), Fe_2O_3 (j), Al_2O_3 (k).

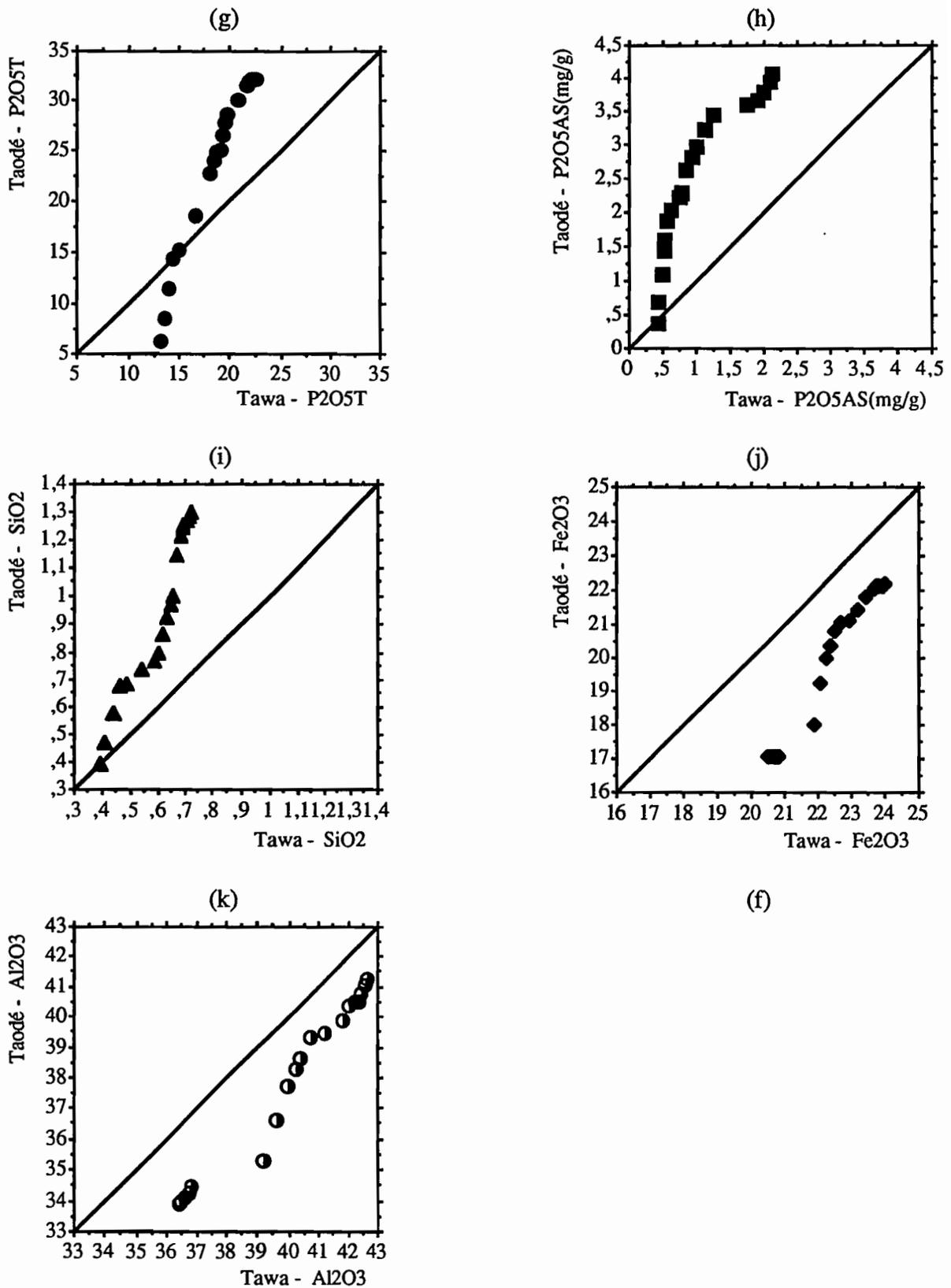


Figure 3- Comparaison des centiles entre les stations de Tawaïnède et de Taodé pour $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (a), pH_{KCl} (b), CaBE (c), MgBE (d), KBE (e), CEC (f), $\text{P}_2\text{O}_5\text{T}$ (g), $\text{P}_2\text{O}_5\text{AS}$ (h), SiO_2 (i), Fe_2O_3 (j), Al_2O_3 (k).

23- Conclusion

Cette étude fait apparaître une baisse importante de la CEC dans la station de Tawaïnèdre. Celle-ci est sans doute liée à la perte de matière organique, la CEC étant directement liée au taux de matière organique, en l'absence de minéraux argileux, pour les profils de sols étudiés (figure 4).

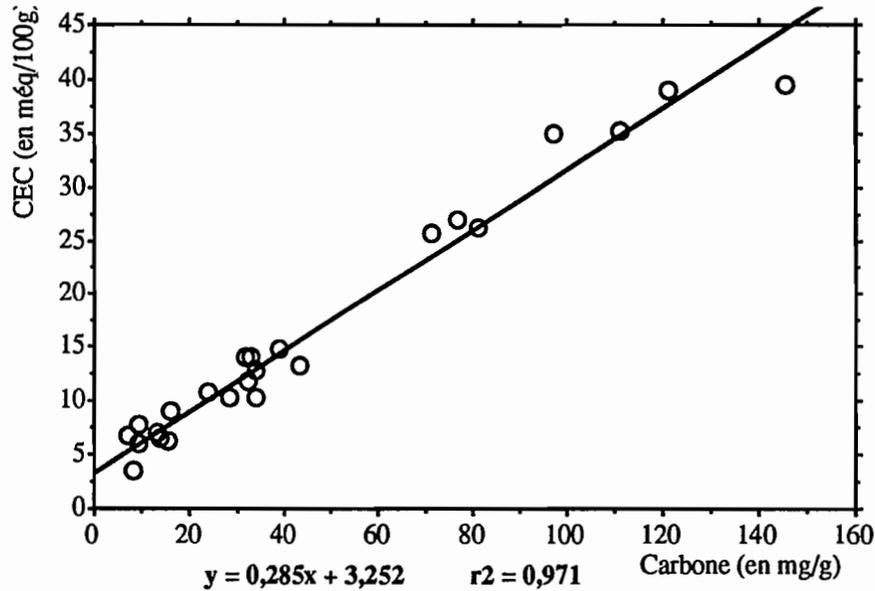


Figure 4- Relation entre la Capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur en carbone pour les 7 profils de sol analysés.

Les teneurs en bases échangeables diminuent parallèlement à la CEC. La carence en potassium, en particulier est renforcée. De même, l'assimilabilité du phosphore est fortement diminuée, l'essentiel du phosphore disponible pour les plantes étant apparemment lié à la matière organique.

Par contre, nous ne constatons pas d'acidification du sol et de désaturation du complexe d'échange, ces risques étant généralement mentionnés comme étant des conséquences de la mise en culture.

Nous n'avons cependant aucun renseignement sur la vitesse de cette évolution, ni vers quel niveau d'équilibre, dégradé, l'écosystème évolue.

3- Relations entre les différents paramètres

Les relations entre les différents paramètres analysés ont également été étudiées. Deux types d'analyse ont été réalisés :

- un calcul des **coefficient de corrélations** existant entre les différents couples de variables. Ce coefficient indique le degré de relation entre deux variables ; une valeur nulle (ou proche de zéro) indique une certaine indépendance des variables, une valeur positive (proche de 1) suggère que lorsque les valeurs d'une variable augmentent, les valeurs observées pour l'autre augmentent proportionnellement, inversement une valeur négative (proche de -1) indique une variation opposée de deux variables. Les résultats sont présentés dans une matrice de corrélation, chaque case de la matrice indiquant le degré de corrélation existant pour le couple de variables correspondant à l'intersection d'une ligne et d'une colonne. Pour certains couples, des **régressions linéaires** entre les variables ont été effectuées

- une analyse factorielle en composantes principales. Cette procédure complète la précédente et essaie d'organiser de façon plus concrète les résultats obtenus. La variabilité liée aux divers paramètres étudiés est représentée en fonction de n facteurs ou axes (2 ou 3 en général), chaque facteur correspondant à une source de variation qui doit être interprétée.

31- Etude des matrices des corrélations

Les matrices de corrélations pour l'ensemble des données et pour chacune des stations sont présentées en annexe 3. Ces matrices montrent bien un certain nombre de liaisons entre les diverses variables, une corrélation pouvant être considérée comme significative (au seuil 5 %) lorsque la valeur absolue du coefficient de corrélation r est supérieur à 0,24 pour l'ensemble des données (76 couples d'observations), 0,34 pour Tawaïnèdre (35 couples) et 0,32 pour Taodé (39 couples).

311- pH_{H_2O} et pH_{KCl}

La régression linéaire entre le pH_{H_2O} et pH_{KCl} (figure 5) a un coefficient de corrélation très élevé ($r^2 = 0,88$) qui indique une relation étroite entre ces deux variables.

Si l'on compare la droite de régression entre pH_{H_2O} et pH_{KCl} avec la bissectrice du repère normé, pour laquelle $pH_{H_2O} = pH_{KCl}$ donc $\Delta pH = 0$ (figure 5a), on observe que cette droite est au dessus de la bissectrice pour les pH faibles [$pH_{KCl} > pH_{H_2O} \Rightarrow \Delta pH < 0$] et au dessous de la bissectrice pour les pH élevés [$pH_{KCl} < pH_{H_2O} \Rightarrow \Delta pH > 0$], avec un point d'intersection situé à $pH = 5,51$. Le sol se comporte donc comme un colloïde électropositif à $pH < 5,51$, donc susceptible de fixer préférentiellement les anions, et comme un colloïde électronégatif à $pH > 5,51$, donc susceptible de fixer plutôt les cations. Pour chacune des deux stations (figure 5b), les valeurs pour lesquelles $\Delta pH = 0$ sont de 4,30 à Taodé et de 5,81 à Tawaïnèdre. Cette différence est imputable à la teneur plus importante en matière organique de la première station.

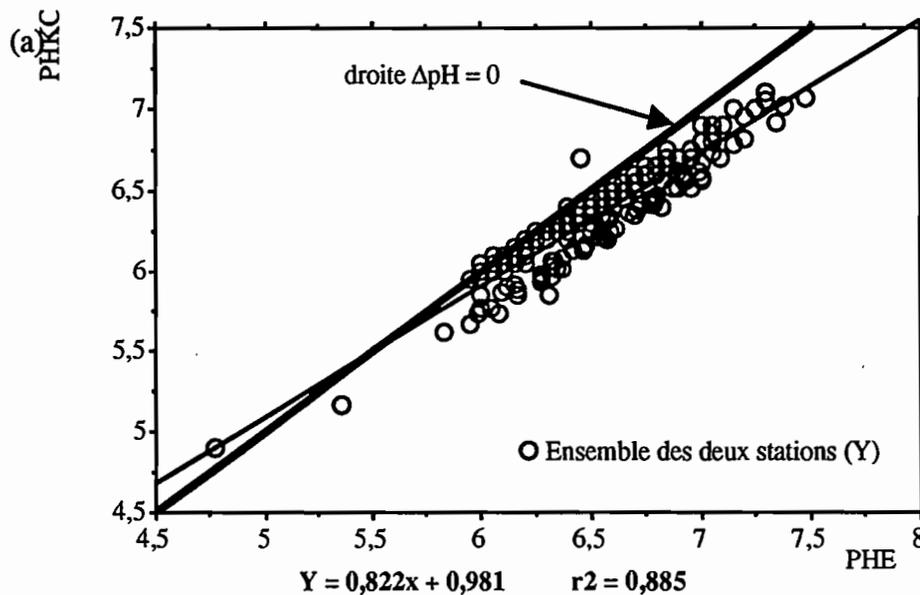


Figure 5 - Relation entre pH_{H_2O} et pH_{KCl} pour l'ensemble des données (a) et pour chacune des deux stations (b).

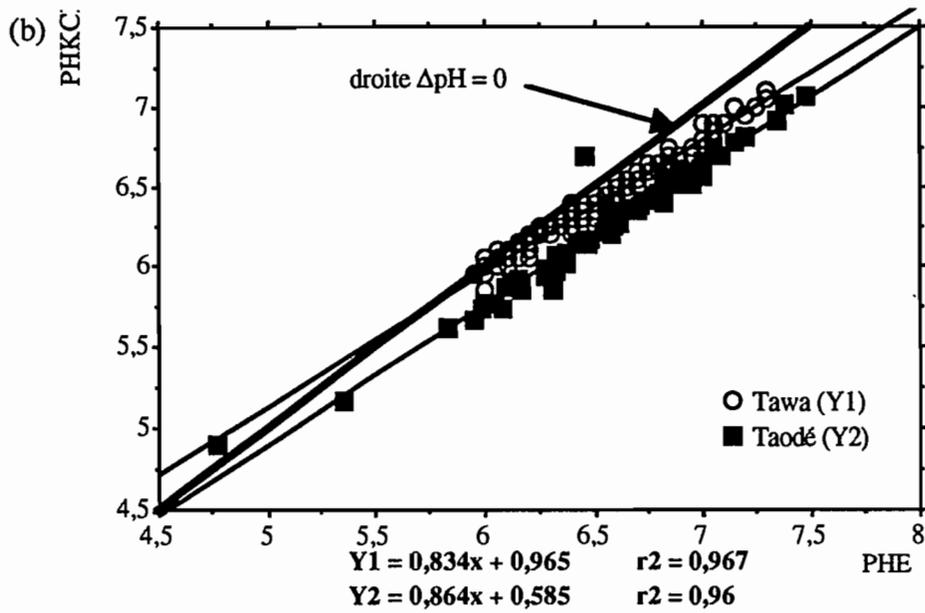


Figure 5 - Relation entre $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et pH_{KCl} pour l'ensemble des données (a) et pour chacune des deux stations (b).

312- pH, teneurs en bases et teneur en CaCO_3

Le pH n'est pas corrélé de façon linéaire avec la teneur en CaCO_3 , mais il semble exister une relation entre les deux variables (figure 6). La présence de CaCO_3 à des teneurs importantes se traduit par l'augmentation du $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, qui est alors proche ou supérieur à 7. Dans ces conditions, la solubilisation progressive du CaCO_3 joue un rôle tampon qui empêche la diminution du pH (BOURRIÉ, 1976 ; BONNEAU *et al.*, 1987).

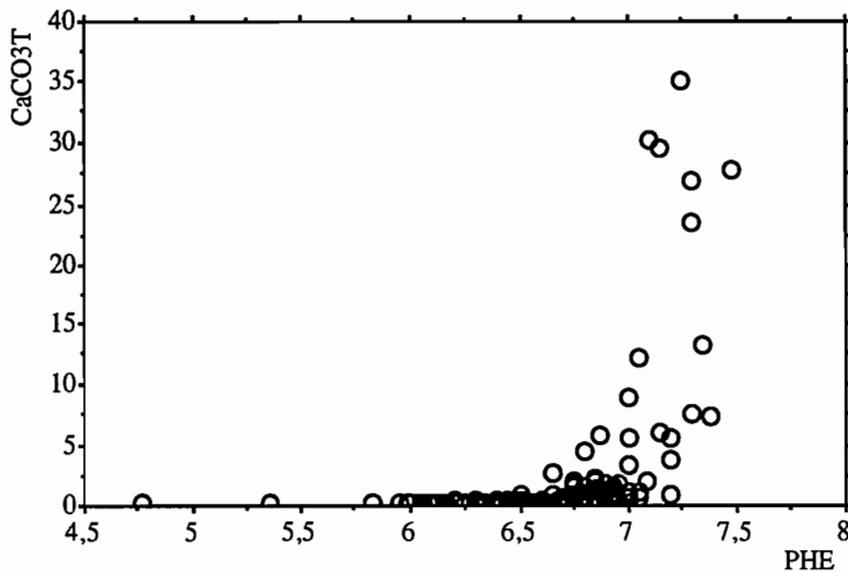


Figure 6 - Relation entre $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et teneur en CaCO_3T pour l'ensemble des données.

Une relation étroite existe, pour ce type de sol, entre le pH et le taux de saturation du complexe d'échange ($r^2 = 0,84$) (figure 7). La proportionnalité entre pH et taux de saturation est rarement aussi nette dans la plupart des sols. Cette relation s'explique par le fait que la matière organique est pratiquement le seul élément qui contribue de façon notable à la CEC. Or cette dernière présente une relation linéaire entre pH et BE/CEC (BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

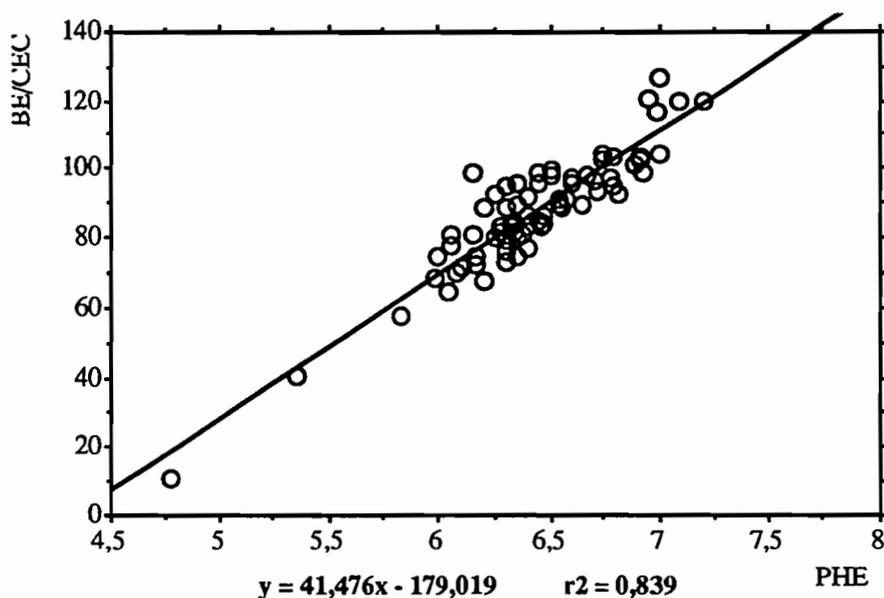


Figure 7 - Relation entre $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et le taux de saturation du complexe d'échange (BE/CEC) pour l'ensemble des données.

La relation entre le $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et la CEC est peu nette sur l'ensemble des données, bien que significative ($r^2 = 0,38$), du fait de l'existence de différences très importantes entre les deux stations pour ce paramètre. La prise en considération de l'effet station améliore nettement la relation (figure 8). La CEC est nettement plus importante, pour les faibles valeurs de pH, dans la station de Taodé. Cette différence a tendance à diminuer lorsque le pH augmente avec une intersection entre les deux droites de régression située à pH 7,7 pour une CEC de 33 méq/100g. Dans les sols riches en CaCO_3 , l'humification est ralentie par l'action du carbonate de calcium qui stabilise les composés humiques sous une forme peu évoluée et les protège contre la biodégradation (DUCHAUFOR, 1977). Ceci expliquerait sans doute l'importance de la CEC et le caractère généralement plus humifère des sols à pH élevé.

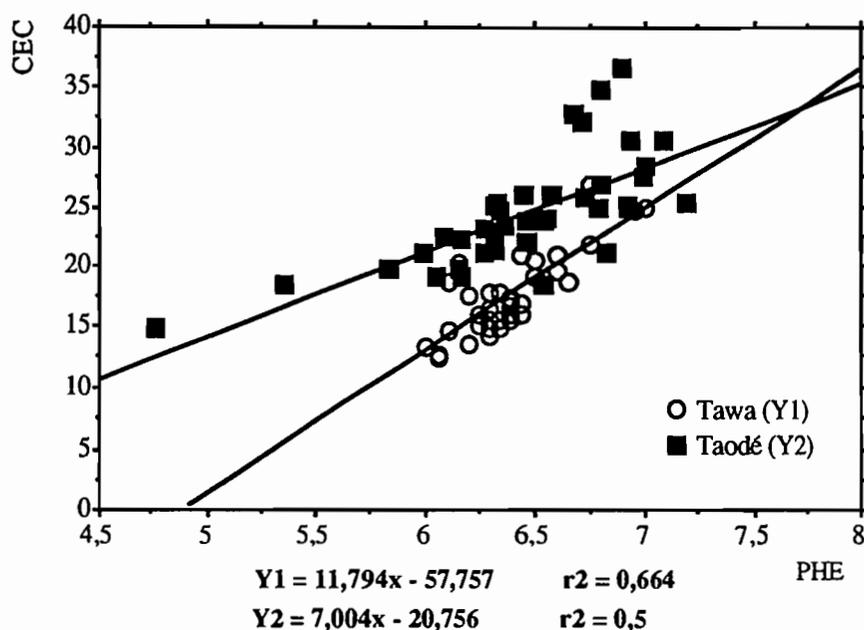


Figure 8 - Relation entre $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et la capacité d'échange cationique (CEC) pour chacune des deux stations.

313- Phosphore

Les résultats qui concerne le phosphore sont difficile à interpréter.

Les **corrélations** entre les diverses variables donnent des résultats apparemment contradictoires lorsque l'on observe les corrélations sur l'ensemble des résultats (annexe 3, tableau 3) ou sur chacune des stations (annexe 3, tableau 4 et 5). Des coefficients de corrélation élevés (positifs ou négatifs) apparaissent notamment avec le CaCO_3 , les oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium (Fe_2O_3 , Al_2O_3) et la silice (SiO_2). Ces relations peuvent être synthétisées de la façon suivante (tableau 6) :

| | P2O5T | | P2O5AS | |
|----------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Ensemble des 2 stations | Stations | Ensemble des 2 stations | Stations |
| CaCO_3 | - | - | 0 | 0 |
| Oxy-hydroxydes de Fe et Al | 0 | + | - | 0 |
| Silice | + | 0 / + | + | 0 / (+) |

Tableau 6 - Relations entre les teneurs en carbonate de calcium, en oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium et en silice avec les teneurs en phosphore total ou assimilable pour l'ensemble des données ou pour chacune des deux stations [+ indique une corrélation positive, - une corrélation négative, 0 l'absence de corrélation significative entre les deux variables].

Pour chacune des stations, des **régressions multiples** entre plusieurs variables "x", CaCO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 et une variable "y", $\text{P}_2\text{O}_5\text{T}$ ou $\text{P}_2\text{O}_5\text{AS}$, ont également été réalisées. Seul le CaCO_3 a un effet hautement significatif sur les teneurs en phosphore total dans les deux stations, Al_2O_3 ayant un effet uniquement à Taodé. En ce qui concerne le phosphore assimilable, aucun de ces paramètres n'a d'effet significatif.

Il est donc très difficile, à partir de nos résultats, d'interpréter les liaisons existant entre le phosphore et les autres éléments. Seul la teneur en carbonate de calcium semble avoir un effet important sur le phosphore total, cependant :

- nous n'avons pas de renseignements sur le rôle de la matière organique ;
- la variabilité des teneurs en oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium est très faible, ce qui ne permet sans doute pas de mettre en évidence leur effet sur la fixation du phosphore alors que leur rôle est largement décrit dans la littérature ;
- le rôle du carbonate de calcium sur le phosphore assimilable, qui est également connu, n'apparaît pas ici.

32- Analyse factorielle

Parmi les variables, nous avons choisi les variables les plus importantes d'un point de vue quantitatif et qualitatif (fertilité chimique du sol). Certaines variables n'ont pas été prises en compte car dépendantes d'autres paramètres (par exemple, la somme des bases échangeables est dépendante des valeurs individuelles de chaque type de bases).

La représentation graphique de l'analyse factorielle permet la projection des différentes variables sur n axes (2 axes dans notre cas) représentant le maximum de variabilité. La position des variables sur le graphe donne des indications sur leurs degrés de relation :

- lorsque les variables sont regroupées au sein d'un amas de points, elles ont des relations très forte entre elles, c'est à dire que leurs valeurs augmentent ou diminuent parallèlement ;
- lorsque deux groupes de variables sont situés sur les deux parties opposées d'un même axe, elles présentent des relations négatives entre elles, c'est à dire que lorsque les valeurs d'un groupe augmentent, celles de l'autre diminuent ;
- les variables attirées par deux axes orthogonaux différents sont indépendantes les unes des autres.

Dans notre cas (figure 9) :

- le **premier axe** attire positivement un groupe de six variables très proche l'une de l'autre (pH H₂O, CaBE, MgBE, CaCO₃T, CaO, MgO) et négativement les deux variables correspondant aux oxy-hydroxydes dominant (Fe₂O₃, Al₂O₃) et la variable profondeur ;
- le **deuxième axe** attire positivement les variables correspondant au phosphore.

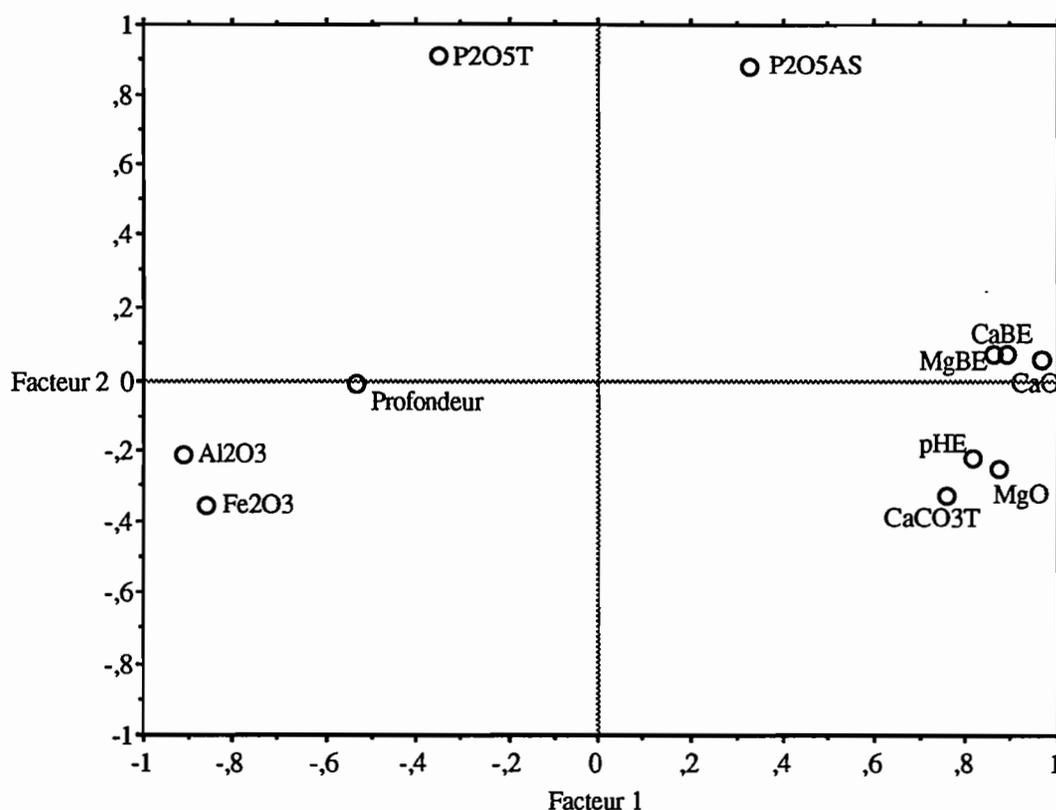


Figure 9 - Analyse factorielle en composantes principales sur 11 variables pour l'ensemble des deux stations.

On peut en déduire différents points :

- Les teneurs en oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium sont corrélées négativement avec les teneurs en bases totales et échangeables. Ceci correspond au niveau d'évolution et/ou d'altération du sol plus ou moins important. Ils sont également corrélés négativement avec le pH et la teneur en bases échangeables, ce qui caractérise le niveau d'acidification du sol. Donc à des teneurs élevées en oxy-hydroxydes correspondent des pH faibles, une diminution des teneurs en bases échangeables et totales et à l'inverse des teneurs plus faibles en oxy-hydroxydes correspondent des pH élevés, des teneurs en bases importantes et la présence de CaCO_3 ;

- Ces différents paramètres sont également corrélés à la profondeur du sol. Plus le sol est profond plus son caractère oxydique est marqué et plus il est acide et désaturé ;

- Les variables correspondant au phosphore sont attirées essentiellement par l'axe 2 et sont relativement indépendantes des autres paramètres. Toutefois, les deux variables sont décalées sur la gauche de l'axe 2 pour $\text{P}_2\text{O}_5\text{T}$ et sur la droite pour $\text{P}_2\text{O}_5\text{AS}$, indiquant une liaison avec les variables attirées par l'axe 1. La matrice des corrélations montre :

- pour le $\text{P}_2\text{O}_5\text{T}$, une relation négative avec la teneur en CaCO_3T et positive avec les oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium (relation non significative sur l'ensemble des données) ;

- pour le $\text{P}_2\text{O}_5\text{AS}$, une relation négative avec les oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium (non significative sur chacune des deux stations sauf pour l'aluminium à Tawainèdre) et aucune liaison avec CaCO_3T ;

- aucune liaison avec la profondeur.

4- Conclusions

Sur la base de ces études, les caractéristiques physico-chimiques (analyse totale, pH notamment) ainsi que les observations morphologiques préalables (BECQUER *et al.*, 1993) montrent que les sols des deux parcelles d'étude sont relativement homogène à l'intérieur et entre les stations. Seul les échantillons très riche en CaCO_3 peuvent être considérés comme un ensemble différent.

Toutefois, **des divergences importantes existent au niveau de la fertilité chimique.** Pour tous les éléments présentant une grande importance dans la nutrition minérale des plantes (Ca, Mg et K échangeables, Phosphore assimilable, Silice), la station de Taodé est nettement plus riche que celle de Tawaïnèdre. Ceci peut être lié à deux points :

- la station de Taodé est plus riche en **matière organique**. Toutefois, cette plus grande richesse semble affecter essentiellement l'horizon de surface, les différences étant semble-t-il beaucoup moins marquées dans l'horizon (B) [le faible nombre d'observations sur ce paramètre ne permet pas d'être plus affirmatif] ;

- le **couvert végétal** de la station de Taodé a été préservé depuis longtemps et a permis le maintien d'un couvert forestier plus ou moins secondarisé. L'anthropisation plus forte de la station de Tawaïnèdre avec le brûlage régulier de la végétation se traduit, à intervalle plus ou moins régulier par la libération des éléments minéraux contenus dans la biomasse sous forme de cendres. L'absence de végétation durant ces périodes ne permet pas de protéger ces éléments minéraux de la lixiviation lors des pluies.

Ces deux points, dont le rôle respectif est difficile à évaluer, expliquent sans doute en grande partie l'appauvrissement considérable de la station de Tawaïnèdre. Ce sont également deux des principaux facteurs qu'il sera nécessaire de tester dans les études futures.

Un dernier point, qui ressort de l'analyse des matrices de corrélations et des analyses factorielles qui ont été réalisées, concerne la relation existant entre la plupart des paramètres étudiés et la profondeur du sol. Seul le phosphore total et assimilable n'est pas corrélé de façon significative avec la profondeur. La profondeur du sol interviendra donc à la fois sur les paramètres physiques, tels que la réserve en eau, les possibilités d'enracinement..., et sur les paramètres chimiques. Ce dernier point va être analysé dans la dernière partie de ce document.

IV- RELATION AVEC LA CARTOGRAPHIE DES PROFONDEURS

L'analyse précédente a montré la relation faible existant entre la profondeur du sol et les différents paramètres chimiques étudiés sur les sous-échantillons. Pour chaque station, nous avons effectué un tri des données en fonction des classes de profondeur qui ont été cartographiées (BECQUER *et al.*, 1993). Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

Une analyse statistique de ces données ne peut pas être envisagée du fait du nombre d'observations trop faible pour certaines classes de profondeur.

Il apparaît toutefois une certaine évolution des caractéristiques chimiques des sols en fonction de la profondeur. Une différence appréciable n'est observée qu'entre la première classe de profondeur (0-20 cm) et les trois autres, la seconde (20-40 cm) ayant un comportement intermédiaire, les deux dernières (40-60 cm et > 60 cm) ne pouvant pas être différenciées.

| Eléments | TAWAÏNEDRE | | | | TAODE | | | |
|--|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40 cm | Prof. 40-60 cm | Prof. > 60 cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40 cm | Prof. 40-60 cm | Prof. > 60 cm |
| pH H ₂ O | 7,03 | 6,57 | 6,45 | 6,33 | 6,97 | 6,64 | 6,23 | 6,14 |
| pH KCl | 6,90 | 6,44 | 6,33 | 6,24 | 6,61 | 6,32 | 5,94 | 5,94 |
| CaBE (en me/100g) | - | 9,32 | 10,44 | 7,64 | 17,30 | 14,34 | 9,61 | 9,26 |
| MgBE (en me/100g) | - | 6,47 | 6,78 | 5,88 | 10,81 | 8,54 | 7,26 | 5,69 |
| KBE (en me/100g) | - | 0,18 | 0,20 | 0,17 | 0,35 | 0,31 | 0,25 | 0,24 |
| NaBE (en me/100g) | - | 0,14 | 0,17 | 0,19 | 0,41 | 0,38 | 0,34 | 0,30 |
| BE (en me/100g) | - | 16,10 | 17,59 | 13,87 | 28,86 | 23,57 | 17,46 | 15,49 |
| CEC (en me/100g) | - | 17,75 | 18,32 | 16,38 | 27,29 | 25,75 | 21,91 | 21,83 |
| BE/CEC (en %) | - | 89,38 | 93,00 | 84,45 | 105,00 | 90,38 | 77,76 | 67,20 |
| P ₂ O ₅ T (en mg/g) | - | 18,77 | 18,62 | 19,56 | 17,51 | 24,95 | 26,85 | 29,40 |
| P ₂ O ₅ Ass. (en mg/g) | - | 0,82 | 1,01 | 0,90 | 2,16 | 2,67 | 2,77 | 2,45 |
| CaCO ₃ T (en %) | 23,22 | 1,77 | 0,31 | 0,30 | 4,46 | 0,71 | 0,25 | 0,35 |
| SiO ₂ (en %) | - | 0,60 | 0,62 | 0,63 | 0,77 | 0,88 | 0,99 | 1,15 |
| Fe ₂ O ₃ (en %) | - | 22,37 | 22,44 | 22,80 | 18,51 | 20,41 | 20,94 | 21,09 |
| Al ₂ O ₃ (en %) | - | 40,20 | 40,00 | 41,08 | 36,28 | 37,92 | 39,32 | 39,87 |
| MnO ₂ (en %) | - | 1,46 | 1,41 | 1,48 | 0,88 | 0,91 | 0,93 | 0,99 |
| TiO ₂ (en %) | - | 0,93 | 0,91 | 0,92 | 1,12 | 1,14 | 1,10 | 1,16 |
| CaO (en %) | - | 0,86 | 0,96 | 0,67 | 2,51 | 1,49 | 1,10 | 1,16 |
| MgO (en %) | - | 0,56 | 0,59 | 0,48 | 1,19 | 0,62 | 0,50 | 0,55 |
| K ₂ O (en %) | - | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Na ₂ O (en %) | - | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

Tableau 7- Caractéristiques chimiques moyennes des sols des stations de Tawaïnède et Taodé en fonction des classes de profondeur du sol [- = pas de données pour cette classe].

Nous avons déjà mentionné au paragraphe III 1 que la distribution fortement asymétrique de la teneur en CaCO_3 pouvait nous conduire à différencier des sols riches en ce produit (teneur supérieure à 0,5 %, par exemple) et des sols plus pauvres. Le graphe des teneurs en CaCO_3 en fonction de la profondeur (figure 10) fait d'ailleurs clairement apparaître que ces fortes teneurs sont toujours liées à des sols superficiels.

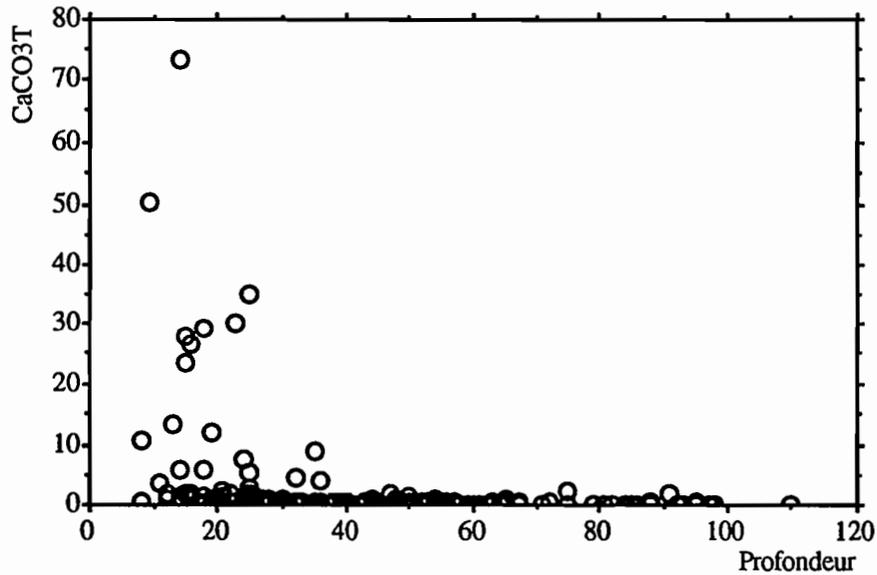


Figure 10 - Relation entre la teneur en CaCO_3T (de l'horizon 15-25 cm) et la profondeur du sol.

Si l'on garde comme valeur limite ce seuil de 0,5 % de CaCO_3 , on constate que les sols correspondants ont une profondeur toujours inférieure à 30 cm (à 2 ou 3 exceptions près). Cette profondeur de 30 cm explique d'ailleurs bien les valeurs intermédiaires observées pour la classe 20-40 cm.

CONCLUSION

De cette étude des caractéristiques chimiques des sols des Centres d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre et de Taodé, il ressort que :

- deux types de faciès de sols peuvent être différenciés :
 - des sols superficiels (d'une profondeur inférieure à 30 cm) caractérisés par des teneurs en CaCO_3 élevées pour ce type de sol (supérieures à 0,5 %) et des pH neutres ou légèrement alcalins ;
 - des sols plus profonds, non carbonatés, modérément acides (pH 6-6,5) ;
- les sols profonds sont les seuls susceptibles de présenter un intérêt agricole en offrant des possibilités d'enracinement correctes aux plantes et en permettant une mécanisation des pratiques culturales. Malgré une profondeur variant de 30 à 100 cm, ils sont très homogènes en ce qui concerne leurs caractéristiques chimiques au niveau de chaque station ;
- la comparaison des deux stations montre des différences très importantes en ce qui concerne la fertilité minérale. La station de Tawaïnèdre, qui a subi une forte anthropisation avec, notamment, de nombreux brûlages de la savane, est très appauvrie par rapport à la station de Taodé. En particulier, si on estime que l'état initial des deux stations était similaire, les pertes peuvent être évaluées respectivement à 28, 21 et 38 % pour le calcium, le magnésium et le potassium échangeable, à 28 % pour la CEC et à 65 % pour le phosphore assimilable. Il n'est pas possible de dire dans l'état actuel de nos connaissances si un état d'équilibre peut être atteint et à quel niveau de fertilité ;
- cette baisse de fertilité semble être en grande partie imputable à la diminution du stock de matière organique. En effet, dans ces sols oxydiques, elle constitue la source essentielle de minéraux facilement disponibles pour les plantes grâce à ses propriétés d'échange et à sa biodégradabilité.

Les résultats présentés dans cette étude ne contredisent pas les commentaires de LATHAM et MERCKY (1983) concernant les aptitudes culturales et forestières de ces sols. Ils complètent cependant les résultats précédents en précisant les conséquences de l'anthropisation du milieu sur les caractéristiques chimiques des sols, comme JAFFRE et VEILLON (1987) l'avaient fait en ce qui concerne la flore.

Cette étude nécessiterait des recherches complémentaires, d'une part sur les conséquences de cette diminution du stock organique sur les caractéristique physiques des sols, d'autre part sur les vitesses de diminution de la fertilité (physique, chimique, biologique) en fonction des diverses utilisations du milieu.

BIBLIOGRAPHIE

-----, 1991 - Mémento de l'Agronome, 4eme édition, Ministère de la Coopération et du Développement, 1635 p.

BAIZE D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. Paris, INRA, 172p.

BECQUER T., BOURDON E. et NIGOTTE W., 1993 - Contribution à l'étude des sols de Maré : les sols du Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawainèdre et de Taodé. 1- Caractérisation morphologique et cartographie des épaisseurs de sols. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 17 ; 37p., multigr.

BONNEAU M., DAMBRINE E., NYS C. et RANGER J., 1987 - L'acidification des sols. Bull. Ecol., 18 (3), 127-136.

BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979 - Pédologie. Tome 2 : Constituants et propriétés du sol. Paris, Masson, 459p.

BONZON B. et BECQUER T., 1993 - Carences et déséquilibres minéraux des sols ferrallitiques allitiques des Iles Loyauté : recherches expérimentales en serre. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., (à paraître).

BONZON B., PODWOJEWSKI P., BOURDON E., L'HUILLIER L. et DE MONPEZAT P., 1993 - Recherches préliminaires pour le développement de la culture du cocotier sur les petits archipels du Pacifique Sud. 1- Adaptation à l'espèce des tests de fertilité sur vases de végétation. 2- Identification des sols sous cocoteraies présentant des carences difficiles à éliminer. Problématique de la mise en valeur de tels sols. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 8 ; 275p., multigr.

BOURRIÉ G., 1976 - Relations entre le pH, l'alcalinité, le pouvoir tampon et les équilibres de CO₂ dans les eaux naturelles. AFES-Sciences du sol, 3, 141-159.

BROUWERS M., 1990 - Etude agropédologique à Maré, Nouvelle Calédonie, Province des Iles. CIRAD, IRAT/DRN, Lagephy n° 44, 16p.

CHAMAYOU H. et LEGROS J.P., 1989 - Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 593 p.

DUCHAUFOR P., 1977 - Pédologie. Tome 1 : Pédogenèse et classification. Paris, Masson, 477p.

DUGAIN F., 1954 - Note sur les sols de Maré (Archipel des Loyauté). Nouméa, ORSTOM-IFO, rapp. sci. dact., 14p.

JAFFRÉ T. et VEILLON J.M., 1987 - Etude des jachères et premiers aperçus sur la succession secondaire à Lifou (Iles Loyauté - Nouvelle-Calédonie). Nouméa : ORSTOM. Rapp. Sci. et Tech. : Sci. Vie : Botanique, 1 ; 28p., multigr.

JAMET R., 1986 - Les oxydisols de la Polynésie française. Caractérisation et fertilité. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXII, n° 3, 285-299.

LATHAM M., 1980 - Les oxydisols dans quelques milieux insulaires du Pacifique sud. Caractérisation, conditions de formation, fertilité, classification. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVIII (3-4), 305-316.

LATHAM M., 1982 - Les sols des atolls et des atolls surélevés du Sud Pacifique. Note présentée à la conférence technique régionale de la culture sur les atolls, organisée par la C.P.S. (Majuro, îles Marshall, 21-27 avril 1982. Nouméa, ORSTOM, 10p multigr.

LATHAM M. et MERCKY P., 1983 - Etude des sols des îles Loyauté (réédition). Carte pédologique et carte d'aptitude culturale et forestière à 1/200 000. Notice explicative n° 99, 45p., Paris, ORSTOM.

PARFITT R.L., 1980 - Chemical properties of variable charge soils. In : Theng B. K. G.(ed), Soils with variable charge. New Zealand Society of Soil Science, 167-194.

PÉTARD J., 1993 - Les méthodes d'analyses. Tome 1 : Analyse des sols. Nouméa : ORSTOM. Laboratoire commun d'analyses, Note Technique n° 5, (à paraître).

TERCINIER G., 1971 - Sols des karts de l'atoll surélevé de Lifou (îles Loyalty) Territoire de la Nouvelle Calédonie, et problème de la bauxitisation. C. R. Acad. Sc. Paris, T. 272, 2067-2070.

ANNEXES

ANNEXES 1

**Analyses physico-chimiques des profils de sols
des stations de Tawaïnèdre et de Taodé**

Profil MAR 1Localisation :

Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawainèdre

Carte I.G.N. 1/50 000 - Maré : S 21° 30' - E 168° 4'

Plan de la station : entre les observations DI et DII

| PROFONDEUR (cm) | 0-7 | 7-20 | 20-40 | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--|--|--|
| TEXTURE % | | | | | | |
| Argile | 28,12 | 33,01 | 37,61 | | | |
| Limon fin | 36,55 | 34,53 | 29,60 | | | |
| Limon grossier | 5,63 | 8,35 | 2,44 | | | |
| Sable fin | 12,87 | 13,43 | 20,44 | | | |
| Sable grossier | 0,99 | 2,20 | 6,20 | | | |
| Élément grossier | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |
| M.O totale | 13,95 | 7,45 | 5,82 | | | |
| Somme | 98,11 | 98,97 | 102,11 | | | |
| pF | | | | | | |
| pF 4.2 | 39,07 | 34,57 | 32,62 | | | |
| pF 3 | 50,57 | 46,30 | 44,85 | | | |
| pF 2.5 | 56,36 | 52,10 | 50,73 | | | |
| pH | | | | | | |
| pH (H ₂ O) | 6,78 | 6,69 | 6,29 | | | |
| pH (KCl) | 6,37 | 6,26 | 6,06 | | | |
| MATIERE ORGANIQUE (mg/g) | | | | | | |
| Carbone | 80,93 | 43,24 | 33,75 | | | |
| Azote | 6,98 | 4,01 | 3,09 | | | |
| C/N | 11,60 | 10,78 | 10,94 | | | |
| COMPLEXE D'ECHANGE (mécq/100g) | | | | | | |
| Calcium | 15,42 | 6,35 | 3,78 | | | |
| Magnésium | 11,61 | 5,36 | 3,53 | | | |
| Potassium | 0,50 | 0,12 | 0,08 | | | |
| Sodium | 0,29 | 0,12 | 0,16 | | | |
| Somme des bases | 27,82 | 11,95 | 7,54 | | | |
| Capacité d'échange | 26,21 | 13,35 | 10,34 | | | |
| Taux de saturation | 106,13 | 89,53 | 72,88 | | | |
| Aluminium | | | | | | |
| PHOSPHORE (mg/g) | | | | | | |
| Total | 15,52 | 16,73 | 16,45 | | | |
| Assimilable | 0,86 | 0,29 | 0,30 | | | |
| ELEMENTS TOTAUX % | | | | | | |
| Perte au feu | 33,79 | 28,79 | 27,77 | | | |
| Résidu insoluble | 0,86 | 1,00 | 1,12 | | | |
| SiO ₂ silicates | 0,65 | 0,65 | 0,55 | | | |
| Al ₂ O ₃ | 37,75 | 41,07 | 41,72 | | | |
| Fe ₂ O ₃ | 20,95 | 23,01 | 23,37 | | | |
| TiO ₂ | 1,08 | 1,05 | 0,98 | | | |
| MnO ₂ | 1,22 | 1,26 | 1,16 | | | |
| NiO | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,09 | 0,10 | 0,11 | | | |
| CoO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | |
| CaO | 1,29 | 0,62 | 0,46 | | | |
| MgO | 0,71 | 0,49 | 0,40 | | | |
| K ₂ O | 0,03 | 0,01 | 0,01 | | | |
| Na ₂ O | 0,02 | 0,01 | 0,01 | | | |
| Somme | 98,46 | 98,10 | 97,70 | | | |

Profil MAR 2

Localisation :

Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawainèdre

Carte I.G.N. 1/50 000 - Maré : S 21° 30' - E 168° 4'

Plan de la station : entre les observations JXI et JXII

| PROFONDEUR (cm) | 0-10 | 10-32 | 32-75 | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|-------|--|--|--|
| TEXTURE % | | | | | | |
| Argile | 36,87 | 36,73 | 43,69 | | | |
| Limon fin | 36,48 | 29,59 | 34,33 | | | |
| Limon grossier | 3,46 | 4,99 | 11,15 | | | |
| Sable fin | 10,49 | 20,30 | 7,31 | | | |
| Sable grossier | 3,57 | 3,98 | 0,73 | | | |
| Elément grossier | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |
| M.O totale | 12,24 | 5,57 | 2,71 | | | |
| Somme | | | | | | |
| | 103,11 | 101,16 | 99,92 | | | |
| pF | | | | | | |
| pF 4.2 | 37,87 | 32,63 | 29,22 | | | |
| pF 3 | 49,81 | 44,03 | 38,88 | | | |
| pF 2.5 | 54,57 | 49,85 | 43,60 | | | |
| pH | | | | | | |
| pH (H ₂ O) | 6,69 | 6,53 | 6,06 | | | |
| pH (KCl) | 6,27 | 6,07 | 5,98 | | | |
| MATIERE ORGANIQUE (mg/g) | | | | | | |
| Carbone | 71,00 | 32,30 | 15,70 | | | |
| Azote | 6,42 | 2,78 | 1,33 | | | |
| C/N | 11,06 | 11,62 | 11,77 | | | |
| COMPLEXE D'ECHANGE (méq/100g) | | | | | | |
| Calcium | 14,92 | 5,00 | 1,40 | | | |
| Magnésium | 9,19 | 3,35 | 1,19 | | | |
| Potassium | 0,35 | 0,07 | 0,01 | | | |
| Sodium | 0,47 | 0,22 | 0,18 | | | |
| Somme des bases | | | | | | |
| | 24,92 | 8,64 | 2,78 | | | |
| Capacité d'échange | 25,80 | 11,70 | 6,36 | | | |
| Taux de saturation | 96,61 | 73,82 | 43,72 | | | |
| Aluminium | | | | | | |
| PHOSPHORE (mg/g) | | | | | | |
| Total | 17,16 | 17,61 | 15,73 | | | |
| Assimilable | 1,29 | 0,55 | 0,58 | | | |
| ELEMENTS TOTAUX % | | | | | | |
| Perte au feu | 33,71 | 28,58 | 26,91 | | | |
| Résidu insoluble | 1,10 | 1,04 | 1,42 | | | |
| SiO ₂ silicates | 0,79 | 0,76 | 0,72 | | | |
| Al ₂ O ₃ | 37,23 | 40,72 | 42,43 | | | |
| Fe ₂ O ₃ | 20,85 | 23,48 | 23,86 | | | |
| TiO ₂ | 0,89 | 1,03 | 0,78 | | | |
| MnO ₂ | 1,08 | 1,06 | 0,86 | | | |
| NiO | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,10 | 0,12 | 0,12 | | | |
| CoO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | |
| CaO | 1,21 | 0,49 | 0,23 | | | |
| MgO | 0,62 | 0,41 | 0,31 | | | |
| K ₂ O | 0,02 | 0,01 | 0,01 | | | |
| Na ₂ O | 0,02 | 0,02 | 0,01 | | | |
| Somme | | | | | | |
| | 97,66 | 97,73 | 97,71 | | | |

Profil MAR 3**Localisation :**

Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre

Carte I.G.N. 1/50 000 - Maré : S 21° 30' - E 168° 4'

Plan de la station : entre les observations LV et LVI

| PROFONDEUR (cm) | 0-15 | 15-35 | 35-60 | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--|--|--|
| TEXTURE % | | | | | | |
| Argile | 42,60 | 38,09 | 59,01 | | | |
| Limon fin | 35,63 | 25,63 | 34,62 | | | |
| Limon grossier | 3,69 | 7,47 | 3,91 | | | |
| Sable fin | 3,40 | 21,83 | 0,36 | | | |
| Sable grossier | 0,99 | 2,96 | 0,05 | | | |
| Elément grossier | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |
| M.O totale | 13,24 | 4,14 | 1,46 | | | |
| Somme | 99,55 | 100,12 | 99,41 | | | |
| pF | | | | | | |
| pF 4.2 | 37,95 | 31,20 | 27,42 | | | |
| pF 3 | 49,87 | 41,64 | 35,14 | | | |
| pF 2.5 | 55,45 | 47,69 | 41,33 | | | |
| pH | | | | | | |
| pH (H ₂ O) | 6,75 | 6,34 | 5,84 | | | |
| pH (KCl) | 6,32 | 6,17 | 6,01 | | | |
| MATIERE ORGANIQUE (mg/g) | | | | | | |
| Carbone | 76,80 | 24,02 | 8,44 | | | |
| Azote | 6,77 | 2,10 | 0,95 | | | |
| C/N | 11,35 | 11,44 | 8,86 | | | |
| COMPLEXE D'ECHANGE (méq/100g) | | | | | | |
| Calcium | 15,79 | 4,32 | 0,28 | | | |
| Magnésium | 10,08 | 3,33 | 0,30 | | | |
| Potassium | 0,28 | 0,08 | 0,01 | | | |
| Sodium | 0,26 | 0,18 | 0,08 | | | |
| Somme des bases | 26,41 | 7,92 | 0,67 | | | |
| Capacité d'échange | 26,93 | 10,71 | 3,48 | | | |
| Taux de saturation | 98,09 | 73,92 | 19,24 | | | |
| Aluminium | | | | | | |
| PHOSPHORE (mg/g) | | | | | | |
| Total | 20,02 | 17,22 | 15,02 | | | |
| Assimilable | 1,21 | 0,60 | 0,54 | | | |
| ELEMENTS TOTAUX % | | | | | | |
| Perte au feu | 32,89 | 26,09 | 24,81 | | | |
| Résidu insoluble | 1,91 | 0,76 | 0,64 | | | |
| SiO ₂ silicates | -0,32 | 1,06 | 1,46 | | | |
| Al ₂ O ₃ | 37,62 | 42,95 | 44,00 | | | |
| Fe ₂ O ₃ | 21,05 | 24,51 | 25,14 | | | |
| TiO ₂ | 1,06 | 1,03 | 0,85 | | | |
| MnO ₂ | 1,34 | 1,31 | 0,85 | | | |
| NiO | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,10 | 0,11 | 0,11 | | | |
| CoO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | |
| CaO | 1,22 | 0,35 | 0,17 | | | |
| MgO | 0,62 | 0,34 | 0,25 | | | |
| K ₂ O | 0,02 | 0,01 | 0,01 | | | |
| Na ₂ O | 0,02 | 0,02 | 0,01 | | | |
| Somme | 97,56 | 98,57 | 98,32 | | | |

Profil MAR 4

Localisation :

Centre d'Appui au Développement Agricole de Taodé
Carte I.G.N. 1/50 000 - Maré : S 21° 27' - E 167° 55'
Plan de la station : entre les observations TXIV et TXV

| PROFONDEUR (cm) | 0-10 | 10-25 | 25-60 | 60-80 | | |
|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|--|--|
| TEXTURE % | | | | | | |
| Argile | | | | | | |
| Limon fin | | | | | | |
| Limon grossier | | | | | | |
| Sable fin | | | | | | |
| Sable grossier | | | | | | |
| Elément grossier | | | | | | |
| M.O totale | 16,77 | 5,51 | 2,77 | 2,39 | | |
| Somme | | | | | | |
| pF | | | | | | |
| pF 4.2 | 44,10 | 34,10 | 31,18 | 28,42 | | |
| pF 3 | 54,11 | 46,58 | 41,35 | 32,79 | | |
| pF 2.5 | 60,56 | 49,52 | 44,31 | 35,15 | | |
| pH | | | | | | |
| pH (H2O) | 6,93 | 6,22 | 5,87 | 5,83 | | |
| pH (KCl) | 6,57 | 5,95 | 5,82 | 5,96 | | |
| MATIERE ORGANIQUE (mg/g) | | | | | | |
| Carbone | 97,28 | 31,93 | 16,06 | 13,88 | | |
| Azote | 7,38 | 2,92 | 1,62 | 1,31 | | |
| C/N | 13,18 | 10,94 | 9,92 | 10,56 | | |
| COMPLEXE D'ECHANGE (méq/100g) | | | | | | |
| Calcium | 21,07 | 4,50 | 1,71 | 1,57 | | |
| Magnésium | 15,38 | 3,66 | 1,09 | 1,34 | | |
| Potassium | 0,48 | 0,09 | 0,01 | 0,03 | | |
| Sodium | 0,33 | 0,22 | 0,11 | 0,11 | | |
| Somme des bases | | | | | | |
| | 37,26 | 8,47 | 2,92 | 3,05 | | |
| Capacité d'échange | | | | | | |
| | 34,99 | 13,95 | 8,98 | 6,51 | | |
| Taux de saturation | | | | | | |
| | 106,49 | 60,72 | 32,49 | 46,92 | | |
| Aluminium | | | | | | |
| PHOSPHORE (mg/g) | | | | | | |
| Total | 24,87 | 30,36 | 29,29 | 25,41 | | |
| Assimilable | 3,01 | 1,92 | 1,70 | 0,87 | | |
| ELEMENTS TOTAUX % | | | | | | |
| Perte au feu | | | | | | |
| | 36,77 | 27,67 | 26,20 | 26,01 | | |
| Résidu insoluble | | | | | | |
| | 0,88 | 1,13 | 0,98 | 0,92 | | |
| SiO 2 silicates | | | | | | |
| | 0,97 | 1,14 | 1,18 | 1,23 | | |
| Al2O3 | 33,62 | 39,83 | 41,01 | 41,83 | | |
| Fe2O3 | 19,37 | 22,76 | 23,68 | 24,04 | | |
| TiO2 | 1,01 | 1,03 | 1,17 | 1,30 | | |
| MnO2 | 0,83 | 0,91 | 0,89 | 0,50 | | |
| NiO | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | |
| Cr2O3 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | | |
| CoO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | |
| CaO | 2,07 | 0,91 | 0,69 | 0,67 | | |
| MgO | 0,67 | 0,38 | 0,29 | 0,33 | | |
| K2O | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | |
| Na2O | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | | |
| Somme | | | | | | |
| | 98,85 | 98,97 | 99,20 | 99,55 | | |

Profil MAR 5**Localisation :**

Centre d'Appui au Développement Agricole de Taodé
 Carte I.G.N. 1/50 000 - Maré : S 21° 27' - E 167° 55'
 Plan de la station : entre les observations SXV et SXVI

| PROFONDEUR (cm) | 0-12 | 12-25 | 25-40 | 40-50 | 50-55 | |
|--------------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--|
| TEXTURE % | | | | | | |
| Argile | | | | | | |
| Limon fin | | | | | | |
| Limon grossier | | | | | | |
| Sable fin | | | | | | |
| Sable grossier | | | | | | |
| Elément grossier | | | | | | |
| M.O totale | 20,85 | 5,67 | 1,62 | 1,27 | 2,34 | |
| Somme | | | | | | |
| pF | | | | | | |
| pF 4.2 | 45,67 | 33,09 | 28,81 | 27,71 | 27,11 | |
| pF 3 | 56,45 | 43,88 | 36,61 | 34,08 | 32,27 | |
| pF 2.5 | 64,18 | 47,65 | 39,58 | 37,06 | 36,14 | |
| pH | | | | | | |
| pH (H ₂ O) | 6,28 | 6,21 | 5,78 | 5,37 | 5,63 | |
| pH (KCl) | 5,91 | 5,92 | 5,80 | 5,64 | 5,79 | |
| MATIERE ORGANIQUE (mg/g) | | | | | | |
| Carbone | 120,97 | 32,92 | 9,42 | 7,38 | 13,56 | |
| Azote | 8,17 | 2,94 | 1,17 | 0,87 | 1,32 | |
| C/N | 14,80 | 11,21 | 8,07 | 8,46 | 10,29 | |
| COMPLEXE D'ECHANGE (még/100g) | | | | | | |
| Calcium | 19,86 | 3,47 | 0,70 | 0,17 | 0,76 | |
| Magnésium | 12,39 | 4,19 | 1,25 | 0,65 | 1,21 | |
| Potassium | 0,49 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | |
| Sodium | 0,34 | 0,17 | 0,11 | 0,07 | 0,13 | |
| Somme des bases | | | | | | |
| | 33,09 | 7,89 | 2,08 | 0,90 | 2,16 | |
| Capacité d'échange | 38,88 | 13,97 | 7,71 | 6,77 | 6,94 | |
| Taux de saturation | 85,11 | 56,43 | 26,93 | 13,32 | 31,15 | |
| Aluminium | | | | | | |
| PHOSPHORE (mg/g) | | | | | | |
| Total | 24,17 | 30,51 | 29,03 | 29,01 | 26,61 | |
| Assimilable | 2,83 | 1,99 | 2,05 | 1,91 | 1,07 | |
| ELEMENTS TOTAUX % | | | | | | |
| Perte au feu | 39,08 | 27,34 | 25,41 | 25,25 | 26,23 | |
| Résidu insoluble | 0,63 | 0,87 | 0,94 | 0,92 | 1,13 | |
| SiO ₂ silicates | 0,99 | 1,12 | 1,31 | 1,27 | 1,22 | |
| Al ₂ O ₃ | 32,09 | 39,89 | 42,47 | 42,67 | 42,52 | |
| Fe ₂ O ₃ | 18,56 | 23,43 | 23,97 | 24,14 | 24,13 | |
| TiO ₂ | 1,13 | 1,22 | 1,23 | 1,30 | 1,02 | |
| MnO ₂ | 0,83 | 0,97 | 0,73 | 0,56 | 0,41 | |
| NiO | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | |
| CoO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| CaO | 1,81 | 0,80 | 0,64 | 0,61 | 0,63 | |
| MgO | 0,53 | 0,37 | 0,28 | 0,27 | 0,28 | |
| K ₂ O | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | |
| Na ₂ O | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | |
| Somme | | | | | | |
| | 98,21 | 99,22 | 100,06 | 100,06 | 100,41 | |

Profil MAR 6

Localisation : Centre d'Appui au Développement Agricole de Taodé
Carte I.G.N. 1/50 000 - Maré : S 21° 27' - E 167° 55'
Plan de la station : à coté de OVIII

| PROFONDEUR (cm) | 0-10 | 10-20 | 20-45 | 45-75 | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|--|--|
| TEXTURE % | | | | | | |
| Argile | | | | | | |
| Limon fin | | | | | | |
| Limon grossier | | | | | | |
| Sable fin | | | | | | |
| Sable grossier | | | | | | |
| Elément grossier | | | | | | |
| M.O totale | 19,16 | 5,85 | 1,62 | 1,46 | | |
| Somme | | | | | | |
| pF | | | | | | |
| pF 4.2 | 45,04 | 33,82 | 29,05 | 28,80 | | |
| pF 3 | 52,89 | 40,72 | 34,95 | 34,01 | | |
| pF 2.5 | 58,59 | 44,83 | 38,37 | 37,06 | | |
| pH | | | | | | |
| pH (H ₂ O) | 7,18 | 6,20 | 6,80 | 5,92 | | |
| pH (KCl) | 6,83 | 5,95 | 5,87 | 6,16 | | |
| MATIERE ORGANIQUE (mg/g) | | | | | | |
| Carbone | 111,11 | 33,95 | 9,37 | 8,48 | | |
| Azote | 8,69 | 3,16 | 1,08 | 0,84 | | |
| C/N | 12,78 | 10,74 | 8,65 | 10,10 | | |
| COMPLEXE D'ECHANGE (méq/100g) | | | | | | |
| Calcium | 23,53 | 4,59 | 1,15 | 0,71 | | |
| Magnésium | 15,55 | 3,52 | 0,99 | 0,48 | | |
| Potassium | 0,60 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | | |
| Sodium | 0,35 | 0,28 | 0,14 | 0,13 | | |
| Somme des bases | | | | | | |
| | 40,03 | 8,47 | 2,31 | 1,36 | | |
| Capacité d'échange | 35,22 | 12,81 | 6,03 | 3,46 | | |
| Taux de saturation | 113,67 | 66,14 | 38,30 | 39,38 | | |
| Aluminium | | | | | | |
| PHOSPHORE (mg/g) | | | | | | |
| Total | 16,73 | 22,10 | 21,88 | 18,75 | | |
| Assimilable | 2,26 | 1,18 | 1,46 | 0,88 | | |
| ELEMENTS TOTAUX % | | | | | | |
| Perte au feu | 39,76 | 29,45 | 26,53 | 26,39 | | |
| Résidu insoluble | 0,65 | 1,10 | 1,04 | 1,25 | | |
| SiO ₂ silicates | 0,78 | 0,96 | 1,07 | 1,00 | | |
| Al ₂ O ₃ | 31,86 | 39,63 | 41,15 | 41,34 | | |
| Fe ₂ O ₃ | 18,63 | 22,86 | 23,88 | 24,33 | | |
| TiO ₂ | 1,10 | 0,99 | 1,05 | 1,00 | | |
| MnO ₂ | 0,78 | 0,86 | 0,81 | 0,58 | | |
| NiO | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | | |
| CoO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | |
| CaO | 2,51 | 0,59 | 0,35 | 0,29 | | |
| MgO | 0,94 | 0,36 | 0,29 | 0,27 | | |
| K ₂ O | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | | |
| Na ₂ O | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | | |
| Somme | | | | | | |
| | 98,82 | 99,16 | 98,51 | 98,48 | | |

Profil MAR 7

Localisation :

Centre d'Appui au Développement Agricole de Taodé
Carte I.G.N. 1/50 000 - Maré : S 21° 27' - E 167° 55'
Plan de la station : entre les observations PXIV et PXV

| PROFONDEUR (cm) | 0-12 | 12-25 | 25-35 | | | |
|-------------------------------|--------|-------|-------|--|--|--|
| TEXTURE % | | | | | | |
| Argile | | | | | | |
| Limon fin | | | | | | |
| Limon grossier | | | | | | |
| Sable fin | | | | | | |
| Sable grossier | | | | | | |
| Elément grossier | | | | | | |
| M.O totale | 25,13 | 6,69 | 4,89 | | | |
| Somme | | | | | | |
| pF | | | | | | |
| pF 4.2 | 52,62 | 36,40 | 31,07 | | | |
| pF 3 | 59,70 | 46,89 | 40,85 | | | |
| pF 2.5 | 65,56 | 51,98 | 45,74 | | | |
| pH | | | | | | |
| pH (H2O) | 6,73 | 6,46 | 5,91 | | | |
| pH (KCl) | 6,36 | 6,12 | 5,83 | | | |
| MATIERE ORGANIQUE (mg/g) | | | | | | |
| Carbone | 145,78 | 38,78 | 28,37 | | | |
| Azote | 10,52 | 3,50 | 2,66 | | | |
| C/N | 13,85 | 11,08 | 10,68 | | | |
| COMPLEXE D'ECHANGE (méq/100g) | | | | | | |
| Calcium | 26,35 | 5,17 | 2,81 | | | |
| Magnésium | 11,93 | 5,17 | 2,71 | | | |
| Potassium | 0,66 | 0,10 | 0,14 | | | |
| Sodium | 0,43 | 0,27 | 0,24 | | | |
| Somme des bases | | | | | | |
| | 39,37 | 10,71 | 5,91 | | | |
| Capacité d'échange | | | | | | |
| | 39,55 | 14,82 | 10,35 | | | |
| Taux de saturation | | | | | | |
| | 99,55 | 72,29 | 57,10 | | | |
| Aluminium | | | | | | |
| PHOSPHORE (mg/g) | | | | | | |
| Total | 18,73 | 28,45 | 25,64 | | | |
| Assimilable | 1,14 | 2,13 | 2,08 | | | |
| ELEMENTS TOTAUX % | | | | | | |
| Perte au feu | | | | | | |
| | 43,83 | 29,72 | 29,23 | | | |
| Résidu insoluble | | | | | | |
| | 0,54 | 0,74 | 1,09 | | | |
| SiO 2 silicates | | | | | | |
| | 0,67 | 0,86 | 0,97 | | | |
| Al2O3 | | | | | | |
| | 29,02 | 38,29 | 39,73 | | | |
| Fe2O3 | | | | | | |
| | 17,14 | 22,78 | 23,20 | | | |
| TiO2 | | | | | | |
| | 1,11 | 1,33 | 1,02 | | | |
| MnO2 | | | | | | |
| | 0,82 | 0,93 | 0,75 | | | |
| NiO | | | | | | |
| | 0,01 | 0,02 | 0,02 | | | |
| Cr2O3 | | | | | | |
| | 0,07 | 0,09 | 0,10 | | | |
| CoO | | | | | | |
| | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | |
| CaO | | | | | | |
| | 2,37 | 0,79 | 0,61 | | | |
| MgO | | | | | | |
| | 0,57 | 0,41 | 0,35 | | | |
| K2O | | | | | | |
| | 0,03 | 0,02 | 0,02 | | | |
| Na2O | | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | | |
| Somme | | | | | | |
| | 98,10 | 98,86 | 99,68 | | | |

ANNEXES 2

**Résultats des analyses chimiques, effectuées sur l'horizon 15-25 cm,
pour les échantillonnages systématiques**

Tableau 1 : station de Tawainèdre
Tableau 2 : station de Taodé

Tableau 1- Résultats des analyses chimiques effectuées à Tawaïnèdre, sur l'horizon 15-25 cm, pour les différents points de prélèvement.

| Référence | Refus (%) | PHE | PHKCl | CaBE (meq/100 g) | MgBE (meq/100 g) | KBE (meq/100 g) | NaBE (meq/100 g) | BE (meq/100 g) | CEC (meq/100 g) | BE/CEC (%) |
|-----------|-----------|------|-------|------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|------------|
| A 1 | 0 | 6,6 | 6,45 | | | | | | | |
| A 2 | 0 | 6,3 | 6,2 | | | | | | | |
| A 3 | 0 | 6,4 | 6,35 | | | | | | | |
| A 4 | 25,62 | 7,3 | 7,1 | | | | | | | |
| A 6 | 0 | | | | | | | | | |
| A 7 | 0 | 6,4 | 6,3 | | | | | | | |
| A 8 | 9,12 | 7,3 | 7,1 | | | | | | | |
| A 9 | 0 | 6 | 5,95 | | | | | | | |
| A 10 | 0 | 6 | 5,95 | | | | | | | |
| A 11 | 0 | 6,3 | 6,25 | | | | | | | |
| A 12 | 0 | 6,5 | 6,4 | | | | | | | |
| B 1 | 0 | 6,3 | 6,25 | | | | | | | |
| B 2 | 0 | 6,2 | 6,1 | | | | | | | |
| B 3 | 0 | 6,4 | 6,4 | | | | | | | |
| B 4 | 6,89 | 7,05 | 6,9 | | | | | | | |
| B 5 | 3,56 | 7,3 | 7,05 | | | | | | | |
| B 7 | 0 | 6,8 | 6,65 | | | | | | | |
| B 8 | 0 | 6,15 | 6,15 | | | | | | | |
| B 9 | 3,53 | 6,4 | 6,3 | | | | | | | |
| B 10 | 0 | 6,45 | 6,35 | | | | | | | |
| B 11 | 0 | 6,05 | 6,05 | | | | | | | |
| B 12 | 0 | 6,2 | 6,1 | | | | | | | |
| C 1 | 0 | 6,5 | 6,45 | | | | | | | |
| C 2 | 13,95 | 7 | 6,9 | | | | | | | |
| C 3 | 0 | 6,3 | 6,2 | | | | | | | |
| C 4 | 34,92 | | | | | | | | | |
| C 5 | 46,9 | | | | | | | | | |
| C 6 | 5,85 | 7,25 | 7 | | | | | | | |
| C 7 | 0 | 6,35 | 6,25 | | | | | | | |
| C 8 | 0 | 7,15 | 7 | | | | | | | |
| C 9 | 0 | 6,5 | 6,25 | | | | | | | |
| C 10 | 0 | 6,55 | 6,35 | | | | | | | |
| C 11 | 0 | 6,55 | 6,4 | | | | | | | |
| C 12 | 0 | 5,95 | 5,95 | | | | | | | |
| D 1 | 40,61 | | | | | | | | | |
| D 3 | 0 | 6,75 | 6,65 | | | | | | | |
| D 4 | 0 | 6,3 | 6,2 | | | | | | | |
| D 5 | 0 | 6,65 | 6,5 | | | | | | | |
| D 6 | 0 | 6,2 | 6,2 | | | | | | | |
| D 7 | 0 | 6,1 | 6 | | | | | | | |
| D 8 | 0 | 6,85 | 6,65 | | | | | | | |
| D 9 | 0 | 6,5 | 6,4 | | | | | | | |
| D 10 | 0 | 6,8 | 6,6 | | | | | | | |
| D 11 | 0 | 6,45 | 6,3 | | | | | | | |
| D 12 | 0 | 6,6 | 6,45 | | | | | | | |
| E 1 | 0 | 6,45 | 6,35 | | | | | | | |
| E 2 | 0 | 6,4 | 6,35 | | | | | | | |
| E 3 | 0 | 6,8 | 6,65 | | | | | | | |
| E 4 | 0 | 6,7 | 6,5 | | | | | | | |
| E 5 | 0 | 6,7 | 6,55 | | | | | | | |
| E 6 | 0 | 6,5 | 6,35 | | | | | | | |
| E 7 | 0 | 6,55 | 6,4 | | | | | | | |
| E 8 | 0 | 6,35 | 6,3 | | | | | | | |
| E 9 | 0 | 6,2 | 6,05 | | | | | | | |
| E 10 | 0 | 6,55 | 6,45 | | | | | | | |
| E 11 | 0 | 6,2 | 6,1 | | | | | | | |
| E 12 | 0 | 6,7 | 6,55 | | | | | | | |
| F 1 | 6,4 | 7,05 | 6,85 | | | | | | | |
| F 2 | 6,59 | 7,2 | 6,95 | | | | | | | |
| F 3 | 0 | 6,5 | 6,35 | | | | | | | |
| F 4 | 0 | 6,2 | 6,2 | | | | | | | |
| F 5 | 0 | 6,55 | 6,35 | | | | | | | |
| F 6 | 0 | 6,45 | 6,4 | | | | | | | |
| F 7 | 0 | 6,65 | 6,45 | | | | | | | |
| F 8 | 0 | 6,15 | 6,05 | | | | | | | |
| F 9 | 0 | 6 | 6 | | | | | | | |
| F 10 | 0 | 6,25 | 6,2 | | | | | | | |
| F 11 | 0 | 6,5 | 6,3 | | | | | | | |
| F 12 | 0 | 6,2 | 6,1 | | | | | | | |
| G 3 | 0 | 6,65 | 6,45 | | | | | | | |
| G 4 | 0 | 6,05 | 6,05 | | | | | | | |
| G 5 | 12,69 | 7,1 | 6,9 | | | | | | | |
| G 6 | 0 | 6,2 | 6,05 | | | | | | | |
| G 7 | 0 | 6,55 | 6,35 | | | | | | | |
| G 8 | 0 | 6 | 5,85 | | | | | | | |
| G 9 | 0 | 6,2 | 6,1 | | | | | | | |
| G 10 | 0 | 6,3 | 6,2 | | | | | | | |
| G 11 | 0 | 6,1 | 6,1 | | | | | | | |

| Référence | Refus (%) | PHE | PHKCl | CaBE (meq/100 g) | MgBE (meq/100 g) | KBE (meq/100 g) | NaBE (meq/100 g) | BE (meq/100 g) | CEC (meq/100 g) | BE/CEC (%) |
|-----------|-----------|------|-------|------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|------------|
| G 12 | 0 | 6,2 | 6,1 | | | | | | | |
| H 3 | 0 | 6,65 | 6,55 | | | | | | | |
| H 5 | 0 | 6,2 | 6,1 | 6,31 | 5,24 | 0,16 | 0,14 | 11,84 | 17,52 | 67,60 |
| H 6 | 0 | 6,4 | 6,3 | 6,98 | 6,54 | 0,13 | 0,10 | 13,74 | 16,57 | 82,91 |
| H 7 | 0 | 6,65 | 6,45 | 9,90 | 6,55 | 0,15 | 0,04 | 16,64 | 18,67 | 89,10 |
| H 8 | 0 | 6,1 | 6,05 | 7,33 | 5,57 | 0,22 | 0,23 | 13,35 | 18,74 | 71,22 |
| H 9 | 0 | 6,3 | 6,25 | 8,06 | 5,31 | 0,14 | 0,07 | 13,58 | 17,74 | 76,51 |
| H 10 | 0 | 6,2 | 6,05 | | | | | | | |
| H 11 | 4,77 | 6,6 | 6,4 | | | | | | | |
| H 12 | 0 | 6,6 | 6,4 | | | | | | | |
| I 1 | 0 | 6,85 | 6,7 | | | | | | | |
| I 2 | 0 | 6,85 | 6,7 | | | | | | | |
| I 3 | 0 | 6,25 | 6,25 | | | | | | | |
| I 4 | 0 | 6,4 | 6,3 | 7,17 | 6,57 | 0,15 | 0,05 | 13,94 | 16,07 | 86,71 |
| I 5 | 11,21 | 6,35 | 6,3 | 5,94 | 5,85 | 0,09 | 0,11 | 12,00 | 14,91 | 80,45 |
| I 6 | 0 | 6,3 | 6,2 | 5,56 | 4,72 | 0,10 | 0,09 | 10,47 | 14,31 | 73,17 |
| I 7 | 0 | 6,3 | 6,25 | 7,44 | 5,43 | 0,14 | 0,07 | 13,08 | 16,47 | 79,43 |
| I 8 | 0 | 6,45 | 6,35 | 8,38 | 4,91 | 0,20 | 0,18 | 13,67 | 16,10 | 84,92 |
| I 9 | 0 | 6,4 | 6,3 | 6,24 | 5,50 | 0,11 | 0,10 | 11,95 | 15,58 | 76,71 |
| I 10 | 0 | 6,7 | 6,6 | | | | | | | |
| I 11 | 0 | 6,65 | 6,5 | | | | | | | |
| I 12 | 4,28 | 6,85 | 6,65 | | | | | | | |
| J 1 | 0 | 6,7 | 6,55 | | | | | | | |
| J 2 | 0 | 6,85 | 6,75 | | | | | | | |
| J 4 | 0 | 6,75 | 6,6 | 17,27 | 9,76 | 0,29 | 0,17 | 27,49 | 26,79 | 102,61 |
| J 5 | 0 | 6,6 | 6,45 | 10,63 | 7,96 | 0,23 | 0,14 | 18,96 | 19,49 | 97,30 |
| J 6 | 0 | 6,5 | 6,4 | 12,93 | 6,40 | 0,34 | 0,25 | 19,92 | 20,36 | 97,86 |
| J 7 | 0 | 6,95 | 6,75 | 19,77 | 9,51 | 0,33 | 0,21 | 29,82 | 24,74 | 120,55 |
| J 8 | 0 | 6,6 | 6,55 | 12,24 | 7,31 | 0,24 | 0,20 | 19,99 | 20,96 | 95,37 |
| J 9 | 0 | 6,45 | 6,4 | 10,99 | 5,39 | 0,20 | 0,18 | 16,77 | 16,98 | 98,71 |
| J 10 | 0 | 6,55 | 6,45 | | | | | | | |
| J 11 | 5,07 | 6,75 | 6,6 | | | | | | | |
| J 12 | 0 | 6,2 | 6,2 | | | | | | | |
| K 2 | 0 | 6,7 | 6,55 | | | | | | | |
| K 3 | 0 | 6,95 | 6,7 | | | | | | | |
| K 4 | 0 | 6,35 | 6,3 | 7,49 | 6,01 | 0,15 | 0,16 | 13,81 | 15,49 | 89,14 |
| K 5 | 0 | 6 | 6,05 | 5,73 | 3,86 | 0,14 | 0,16 | 9,89 | 13,25 | 74,63 |
| K 6 | 0 | 6,25 | 6,2 | 6,59 | 5,30 | 0,11 | 0,16 | 12,16 | 15,20 | 79,97 |
| K 7 | 0 | 6,1 | 6,05 | 5,80 | 4,38 | 0,12 | 0,19 | 10,49 | 14,64 | 71,65 |
| K 8 | 0 | 6,45 | 6,4 | 12,31 | 7,35 | 0,25 | 0,22 | 20,13 | 20,96 | 96,05 |
| K 9 | 0 | 7 | 6,8 | 20,95 | 10,12 | 0,28 | 0,23 | 31,58 | 24,86 | 127,04 |
| K 10 | 0 | 6,55 | 6,4 | | | | | | | |
| K 11 | 0 | 6,7 | 6,55 | | | | | | | |
| K 12 | 0 | 6,6 | 6,5 | | | | | | | |
| L 1 | 0 | 6,7 | 6,5 | | | | | | | |
| L 2 | 3,04 | 7,05 | 6,8 | | | | | | | |
| L 3 | 0 | 6,5 | 6,35 | | | | | | | |
| L 4 | 0 | 6,05 | 6,05 | 5,19 | 4,26 | 0,14 | 0,17 | 9,75 | 12,50 | 77,98 |
| L 5 | 0 | 6,2 | 6,15 | 6,14 | 5,46 | 0,17 | 0,23 | 11,99 | 13,55 | 88,51 |
| L 6 | 0 | 6,4 | 6,3 | 9,37 | 6,29 | 0,17 | 0,13 | 15,96 | 17,32 | 92,12 |
| L 7 | 0 | 6,25 | 6,25 | 7,59 | 6,98 | 0,14 | 0,17 | 14,87 | 16,04 | 92,69 |
| L 8 | 0 | 6,3 | 6,25 | 6,97 | 6,62 | 0,16 | 0,15 | 13,90 | 15,64 | 88,84 |
| L 9 | 0 | 6,4 | 6,25 | 8,15 | 7,22 | 0,15 | 0,32 | 15,84 | 17,21 | 92,05 |
| L 10 | 0 | 6,4 | 6,2 | | | | | | | |
| L 11 | 0 | 6,4 | 6,35 | | | | | | | |
| L 12 | 0 | 6,4 | 6,35 | | | | | | | |
| M 1 | 0 | 6,7 | 6,55 | | | | | | | |
| M 2 | 12,84 | 6,8 | 6,65 | | | | | | | |
| M 3 | 0 | 6,35 | 6,3 | | | | | | | |
| M 4 | 0 | 6,3 | 6,25 | 7,31 | 6,28 | 0,19 | 0,22 | 14,01 | 14,80 | 94,62 |
| M 5 | 0 | 6,05 | 6,1 | 5,49 | 4,54 | 0,11 | 0,16 | 10,31 | 12,77 | 80,76 |
| M 6 | 0 | 6,15 | 6,15 | 13,12 | 6,44 | 0,21 | 0,24 | 20,01 | 20,20 | 99,07 |
| M 7 | 0 | 6,75 | 6,6 | 13,10 | 9,18 | 0,25 | 0,18 | 22,71 | 21,81 | 104,14 |
| M 8 | 0 | 6,5 | 6,35 | 10,92 | 7,70 | 0,17 | 0,17 | 18,96 | 19,02 | 99,67 |
| M 9 | 0 | 6,35 | 6,25 | 8,54 | 8,02 | 0,21 | 0,21 | 16,98 | 17,69 | 96,00 |
| M 10 | 0 | 6,7 | 6,55 | | | | | | | |
| M 12 | 0 | 6,6 | 6,5 | | | | | | | |
| N 1 | 0 | 6,65 | 6,55 | | | | | | | |
| N 3 | 0 | 6,3 | 6,25 | | | | | | | |
| N 4 | 0 | 6,5 | 6,4 | | | | | | | |
| N 5 | 0 | 6,35 | 6,25 | | | | | | | |
| N 6 | 0 | 6,55 | 6,35 | | | | | | | |
| N 7 | 0 | 6,05 | 6 | | | | | | | |
| N 8 | 0 | 6,6 | 6,5 | | | | | | | |
| N 9 | 0 | 6,9 | 6,7 | | | | | | | |
| N 10 | 0 | 6,5 | 6,3 | | | | | | | |
| N 11 | 0 | 6,75 | 6,65 | | | | | | | |
| N 12 | 0 | 6,6 | 6,45 | | | | | | | |

| Référence | Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | P2O5T (mg/g) | P2O5AS(mg/g) | CaCO3T (%) | PAF (%) | RES (%) | SiO2 (%) | Fe2O3 (%) | Al2O3 (%) | MnO2 (%) |
|-----------|--------------------------------------|-----------------|--------------|---------------|------------|------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| A 1 | | | | 0,38 | | | | | | |
| A 2 | | | | 0,16 | | | | | | |
| A 3 | | | | 0,19 | | | | | | |
| A 4 | | | | 26,87 | | | | | | |
| A 6 | | | | | | | | | | |
| A 7 | | | | 0,21 | | | | | | |
| A 8 | | | | 7,57 | | | | | | |
| A 9 | | | | 0,16 | | | | | | |
| A 10 | | | | 0,19 | | | | | | |
| A 11 | | | | 0,19 | | | | | | |
| A 12 | | | | 0,21 | | | | | | |
| B 1 | | | | 0,34 | | | | | | |
| B 2 | | | | 0,16 | | | | | | |
| B 3 | | | | 0,34 | | | | | | |
| B 4 | | | | 12,18 | | | | | | |
| B 5 | | | | 23,65 | | | | | | |
| B 7 | | | | 0,35 | | | | | | |
| B 8 | | | | 0,24 | | | | | | |
| B 9 | | | | 0,27 | | | | | | |
| B 10 | | | | 0,21 | | | | | | |
| B 11 | | | | 0,21 | | | | | | |
| B 12 | | | | 0,29 | | | | | | |
| C 1 | | | | 0,88 | | | | | | |
| C 2 | | | | 3,44 | | | | | | |
| C 3 | | | | 0,26 | | | | | | |
| C 4 | | | | 10,48 | | | | | | |
| C 5 | | | | 50,44 | | | | | | |
| C 6 | | | | 35,15 | | | | | | |
| C 7 | | | | 0,27 | | | | | | |
| C 8 | | | | 29,54 | | | | | | |
| C 9 | | | | 0,54 | | | | | | |
| C 10 | | | | 0,24 | | | | | | |
| C 11 | | | | 0,26 | | | | | | |
| C 12 | | | | 0,16 | | | | | | |
| D 1 | | | | 73,44 | | | | | | |
| D 3 | | | | 1,78 | | | | | | |
| D 4 | | | | 0,54 | | | | | | |
| D 5 | | | | 0,22 | | | | | | |
| D 6 | | | | 0,21 | | | | | | |
| D 7 | | | | 0,19 | | | | | | |
| D 8 | | | | 0,35 | | | | | | |
| D 9 | | | | 0,21 | | | | | | |
| D 10 | | | | 1,6 | | | | | | |
| D 11 | | | | 0,32 | | | | | | |
| D 12 | | | | 0,24 | | | | | | |
| E 1 | | | | 0,25 | | | | | | |
| E 2 | | | | 0,19 | | | | | | |
| E 3 | | | | 0,41 | | | | | | |
| E 4 | | | | 0,56 | | | | | | |
| E 5 | | | | 0,34 | | | | | | |
| E 6 | | | | 0,27 | | | | | | |
| E 7 | | | | 0,27 | | | | | | |
| E 8 | | | | 0,27 | | | | | | |
| E 9 | | | | 0,21 | | | | | | |
| E 10 | | | | 0,27 | | | | | | |
| E 11 | | | | 0,21 | | | | | | |
| E 12 | | | | 0,27 | | | | | | |
| F 1 | | | | 1,1 | | | | | | |
| F 2 | | | | 3,87 | | | | | | |
| F 3 | | | | 0,19 | | | | | | |
| F 4 | | | | 0,43 | | | | | | |
| F 5 | | | | 0,21 | | | | | | |
| F 6 | | | | 0,27 | | | | | | |
| F 7 | | | | 2,69 | | | | | | |
| F 8 | | | | 0,16 | | | | | | |
| F 9 | | | | 0,19 | | | | | | |
| F 10 | | | | 0,21 | | | | | | |
| F 11 | | | | 0,24 | | | | | | |
| F 12 | | | | 0,24 | | | | | | |
| G 3 | | | | 1 | | | | | | |
| G 4 | | | | 0,21 | | | | | | |
| G 5 | | | | 30,24 | | | | | | |
| G 6 | | | | 0,21 | | | | | | |
| G 7 | | | | 0,25 | | | | | | |
| G 8 | | | | 0,21 | | | | | | |
| G 9 | | | | 0,15 | | | | | | |
| G 10 | | | | 0,21 | | | | | | |
| G 11 | | | | 0,27 | | | | | | |

| Référence | Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | P2O5T (mg/g) | P2O5AS(mg/g) (mg/g) | CaCO3T (%) | PAF (%) | RES (%) | SiO2 (%) | Fe2O3 (%) | Al2O3 (%) | MnO2 (%) |
|-----------|--------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------|------------|------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| G 12 | | | | 0,16 | | | | | | |
| H 3 | | | | 0,21 | | | | | | |
| H 5 | 220,00 | 21,15 | 1,27 | 0,27 | 28,74 | 1,23 | 0,59 | 23,24 | 40,68 | 1,50 |
| H 6 | 199,00 | 19,57 | 1,01 | 0,19 | 29,08 | 1,18 | 0,68 | 22,49 | 40,24 | 1,41 |
| H 7 | 243,00 | 21,87 | 2,13 | 0,21 | 29,15 | 1,06 | 0,65 | 22,06 | 39,49 | 1,50 |
| H 8 | 226,00 | 22,49 | 1,89 | 0,19 | 29,45 | 1,01 | 0,64 | 22,78 | 39,57 | 1,41 |
| H 9 | 193,00 | 19,42 | 0,80 | 0,21 | 30,21 | 1,24 | 0,39 | 22,26 | 39,59 | 1,31 |
| H 10 | | | | 0,21 | | | | | | |
| H 11 | | | | 0,21 | | | | | | |
| H 12 | | | | 0,21 | | | | | | |
| I 1 | | | | 2,33 | | | | | | |
| I 2 | | | | 1,92 | | | | | | |
| I 3 | | | | 0,29 | | | | | | |
| I 4 | 283,00 | 18,20 | 0,54 | 0,21 | 29,43 | 1,25 | 0,51 | 22,15 | 39,91 | 1,48 |
| I 5 | 205,00 | 18,71 | 0,74 | 0,24 | 28,73 | 1,18 | 0,59 | 23,46 | 41,94 | 1,47 |
| I 6 | 220,00 | 19,54 | 0,74 | 0,21 | 28,51 | 1,19 | 0,54 | 23,02 | 42,09 | 1,48 |
| I 7 | 328,00 | 20,54 | 0,95 | 0,34 | 29,49 | 1,10 | 0,60 | 22,22 | 39,67 | 1,36 |
| I 8 | 292,00 | 18,18 | 0,99 | 0,24 | 30,11 | 1,08 | 0,61 | 22,69 | 40,33 | 1,35 |
| I 9 | 260,00 | 19,20 | 0,86 | 0,2 | 29,76 | 1,21 | 0,66 | 22,93 | 40,09 | 1,33 |
| I 10 | | | | 0,34 | | | | | | |
| I 11 | | | | 0,19 | | | | | | |
| I 12 | | | | 0,74 | | | | | | |
| J 1 | | | | 0,21 | | | | | | |
| J 2 | | | | 1,41 | | | | | | |
| J 4 | 488,00 | 16,55 | 1,13 | 1,5 | 33,07 | 1,12 | 0,47 | 20,52 | 36,78 | 1,67 |
| J 5 | 487,00 | 19,70 | 0,78 | 0,21 | 30,08 | 1,04 | 0,69 | 22,27 | 40,16 | 1,51 |
| J 6 | 650,00 | 19,12 | 1,07 | 0,24 | 30,08 | 1,24 | 0,63 | 22,57 | 39,96 | 1,51 |
| J 7 | 613,00 | 13,16 | 1,14 | 1,68 | 33,21 | 0,89 | 0,62 | 20,80 | 36,42 | 1,31 |
| J 8 | 441,00 | 16,76 | 0,54 | 0,27 | 31,29 | 1,18 | 0,61 | 21,89 | 39,48 | 1,36 |
| J 9 | 461,00 | 17,99 | 0,67 | 0,26 | 30,99 | 0,82 | 0,63 | 21,92 | 39,17 | 1,35 |
| J 10 | | | | 0,27 | | | | | | |
| J 11 | | | | 0,82 | | | | | | |
| J 12 | | | | 0,16 | | | | | | |
| K 2 | | | | 0,32 | | | | | | |
| K 3 | | | | 0,35 | | | | | | |
| K 4 | 404,00 | 18,94 | 0,56 | 0,21 | 29,18 | 0,93 | 0,65 | 22,71 | 40,77 | 1,55 |
| K 5 | 287,00 | 19,76 | 0,76 | 0,16 | 28,22 | 0,91 | 0,72 | 23,72 | 41,20 | 1,46 |
| K 6 | 291,00 | 20,13 | 1,13 | 0,26 | 28,27 | 1,04 | 0,67 | 23,45 | 41,16 | 1,43 |
| K 7 | 265,00 | 19,46 | 0,78 | 0,16 | 28,99 | 1,39 | 0,60 | 22,48 | 41,73 | 1,36 |
| K 8 | 443,00 | 19,31 | 1,01 | 0,34 | 31,04 | 1,19 | 0,54 | 21,96 | 39,99 | 1,44 |
| K 9 | 583,00 | 14,60 | 0,83 | 0,72 | 34,15 | 1,19 | 0,61 | 20,80 | 36,91 | 1,29 |
| K 10 | | | | 0,27 | | | | | | |
| K 11 | | | | 0,29 | | | | | | |
| K 12 | | | | 0,43 | | | | | | |
| L 1 | | | | 0,21 | | | | | | |
| L 2 | | | | 1,03 | | | | | | |
| L 3 | | | | 0,26 | | | | | | |
| L 4 | 215,00 | 19,29 | 0,64 | 0,19 | 27,49 | 1,39 | 0,67 | 23,97 | 41,85 | 1,59 |
| L 5 | 262,00 | 18,19 | 0,56 | 0,21 | 28,43 | 1,22 | 0,67 | 23,48 | 42,65 | 1,44 |
| L 6 | 317,00 | 18,33 | 0,62 | 0,21 | 29,79 | 1,08 | 0,64 | 22,45 | 41,84 | 1,49 |
| L 7 | 254,00 | 19,73 | 0,90 | 0,24 | 29,31 | 1,16 | 0,68 | 22,85 | 42,05 | 1,44 |
| L 8 | 299,00 | 19,51 | 0,77 | 0,21 | 29,57 | 1,37 | 0,64 | 22,60 | 41,37 | 1,38 |
| L 9 | 286,00 | 18,48 | 0,91 | 0,26 | 30,20 | 1,23 | 0,65 | 23,10 | 41,19 | 1,32 |
| L 10 | | | | 0,27 | | | | | | |
| L 11 | | | | 0,24 | | | | | | |
| L 12 | | | | 0,16 | | | | | | |
| M 1 | | | | 0,27 | | | | | | |
| M 2 | | | | 4,5 | | | | | | |
| M 3 | | | | 0,22 | | | | | | |
| M 4 | 312,00 | 18,61 | 0,57 | 0,19 | 28,93 | 1,15 | 0,69 | 23,13 | 41,03 | 1,54 |
| M 5 | 228,00 | 18,37 | 0,43 | 0,16 | 28,44 | 1,24 | 0,59 | 23,19 | 42,31 | 1,55 |
| M 6 | 325,00 | 20,90 | 1,06 | 0,21 | 30,79 | 1,19 | 0,57 | 22,35 | 40,39 | 1,64 |
| M 7 | 361,00 | 18,63 | 1,25 | 0,35 | 31,03 | 1,19 | 0,64 | 22,05 | 40,35 | 1,43 |
| M 8 | 330,00 | 19,97 | 1,09 | 0,32 | 31,05 | 1,18 | 0,57 | 22,15 | 40,50 | 1,48 |
| M 9 | 328,00 | 18,54 | 0,78 | 0,16 | 30,89 | 0,99 | 0,64 | 22,38 | 40,39 | 1,42 |
| M 10 | | | | 0,32 | | | | | | |
| M 12 | | | | 0,22 | | | | | | |
| N 1 | | | | 0,21 | | | | | | |
| N 3 | | | | 0,32 | | | | | | |
| N 4 | | | | 0,21 | | | | | | |
| N 5 | | | | 0,21 | | | | | | |
| N 6 | | | | 0,32 | | | | | | |
| N 7 | | | | 0,16 | | | | | | |
| N 8 | | | | 0,22 | | | | | | |
| N 9 | | | | 1,03 | | | | | | |
| N 10 | | | | 0,32 | | | | | | |
| N 11 | | | | 2,04 | | | | | | |
| N 12 | | | | 0,28 | | | | | | |

Tableau 2- Résultats des analyses chimiques effectuées à Taodé sur l'horizon 15-25 cm pour les différents points de prélèvement.

| Référence | Refus (%) | PHE | PHKCl | CaBE (meq/100 g) | MgBE (meq/100 g) | KBE (meq/100 g) | NaBE (meq/100 g) | BE (meq/100 g) | CEC (meq/100 g) | BE/CEC (%) |
|-----------|-----------|------|-------|------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|------------|
| P 5 | 4,80 | 6,09 | 5,86 | | | | | | | |
| P 6 | 7,61 | 6,48 | 6,17 | | | | | | | |
| P 7 | 0,00 | 6,54 | 6,22 | 8,71 | 7,13 | 0,20 | 0,39 | 16,43 | 18,45 | 89,06 |
| P 8 | 0,00 | 6,15 | 5,92 | 8,80 | 6,67 | 0,16 | 0,38 | 16,01 | 19,86 | 80,65 |
| P 9 | 0,00 | 6,55 | 6,25 | 12,73 | 7,88 | 0,25 | 0,39 | 21,25 | 23,90 | 88,90 |
| P 10 | 0,00 | 6,27 | 5,99 | 9,29 | 7,37 | 0,26 | 0,28 | 17,21 | 21,10 | 81,54 |
| P 11 | 4,93 | 6,92 | 6,56 | 14,40 | 10,33 | 0,29 | 0,34 | 25,36 | 24,79 | 102,29 |
| P 12 | 0,00 | 6,32 | 6,03 | 11,15 | 7,49 | 0,16 | 0,40 | 19,20 | 22,85 | 84,03 |
| P 13 | 0,00 | 6,27 | 5,95 | 11,91 | 6,61 | 0,28 | 0,42 | 19,23 | 23,07 | 83,33 |
| P 14 | 0,00 | 6,93 | 6,56 | 18,63 | 10,65 | 0,44 | 0,62 | 30,35 | 30,72 | 98,78 |
| P 15 | 0,00 | 6,71 | 6,38 | 20,47 | 9,74 | 0,43 | 0,54 | 31,18 | 32,33 | 96,45 |
| P 16 | 5,65 | 6,92 | 6,57 | | | | | | | |
| Q 4 | 0,00 | 7,20 | 6,81 | | | | | | | |
| Q 5 | 0,00 | 6,70 | 6,35 | | | | | | | |
| Q 6 | 4,42 | 6,82 | 6,56 | | | | | | | |
| Q 7 | 0,00 | 6,90 | 6,52 | 22,10 | 14,18 | 0,44 | 0,46 | 37,17 | 36,64 | 101,45 |
| Q 8 | 5,56 | 7,09 | 6,70 | 20,51 | 15,01 | 0,42 | 0,55 | 36,50 | 30,57 | 119,39 |
| Q 9 | 6,09 | 7,20 | 6,81 | 18,67 | 11,08 | 0,33 | 0,37 | 30,45 | 25,35 | 120,12 |
| Q 10 | 0,00 | 6,32 | 6,06 | 11,01 | 6,10 | 0,31 | 0,41 | 17,84 | 21,36 | 83,52 |
| Q 12 | 0,00 | 6,35 | 6,01 | 10,30 | 7,50 | 0,29 | 0,40 | 18,49 | 24,73 | 74,75 |
| Q 13 | 0,00 | 6,68 | 6,36 | 18,84 | 12,49 | 0,37 | 0,45 | 32,15 | 32,82 | 97,95 |
| Q 14 | 0,00 | 6,33 | 6,07 | 11,22 | 8,83 | 0,37 | 0,30 | 20,73 | 25,38 | 81,69 |
| Q 15 | 0,00 | 6,73 | 6,41 | 14,98 | 8,64 | 0,36 | 0,22 | 24,20 | 25,83 | 93,69 |
| R 4 | 0,00 | 6,37 | 6,09 | | | | | | | |
| R 5 | 3,57 | 6,77 | 6,45 | | | | | | | |
| R 6 | 10,69 | 7,05 | 6,74 | | | | | | | |
| R 7 | 0,00 | 6,80 | 6,45 | 26,02 | 8,95 | 0,48 | 0,43 | 35,88 | 34,79 | 103,13 |
| R 8 | 0,00 | 6,78 | 6,44 | 15,18 | 8,50 | 0,29 | 0,25 | 24,22 | 24,87 | 97,37 |
| R 9 | 0,00 | 6,58 | 6,32 | 13,81 | 9,22 | 0,29 | 0,35 | 23,67 | 26,09 | 90,73 |
| R 10 | 0,00 | 6,04 | 5,77 | 6,14 | 5,69 | 0,26 | 0,31 | 12,39 | 19,14 | 64,77 |
| R 11 | 0,00 | 6,47 | 6,14 | 12,08 | 7,16 | 0,35 | 0,42 | 20,02 | 23,79 | 84,16 |
| R 12 | 0,00 | 6,82 | 6,40 | 12,90 | 6,01 | 0,25 | 0,35 | 19,51 | 21,06 | 92,64 |
| R 14 | 0,00 | 6,80 | 6,47 | 17,12 | 7,70 | 0,21 | 0,37 | 25,40 | 26,86 | 94,57 |
| R 15 | 0,00 | 6,92 | 6,60 | 17,10 | 8,18 | 0,28 | 0,30 | 25,86 | 25,05 | 103,22 |
| R 16 | 0,00 | 6,27 | 5,94 | | | | | | | |
| T 1 | 0,00 | 6,92 | 6,58 | | | | | | | |
| T 2 | 0,00 | 6,67 | 6,36 | | | | | | | |
| T 3 | 0,00 | 6,78 | 6,42 | | | | | | | |
| T 4 | 0,00 | 6,68 | 6,36 | | | | | | | |
| T 5 | 0,00 | 6,42 | 6,14 | | | | | | | |
| T 6 | 11,50 | 7,15 | 6,78 | | | | | | | |
| T 7 | 3,06 | 6,99 | 6,62 | 17,93 | 13,49 | 0,33 | 0,33 | 32,07 | 27,49 | 116,66 |
| T 8 | 0,00 | 7,00 | 6,57 | 18,99 | 9,86 | 0,44 | 0,42 | 29,70 | 28,51 | 104,18 |
| T 9 | 0,00 | 5,83 | 5,62 | 6,32 | 4,62 | 0,17 | 0,29 | 11,41 | 19,85 | 57,47 |
| T 10 | 0,00 | 6,37 | 6,09 | 11,77 | 6,38 | 0,27 | 0,31 | 18,74 | 23,26 | 80,56 |
| T 11 | 0,00 | 5,98 | 5,73 | 8,60 | 5,30 | 0,24 | 0,33 | 14,47 | 21,06 | 68,69 |
| T 12 | 0,00 | 6,17 | 5,89 | 8,68 | 4,66 | 0,19 | 0,18 | 13,72 | 19,07 | 71,96 |
| T 13 | 0,00 | 4,77 | 4,90 | 0,80 | 0,61 | 0,12 | 0,11 | 1,64 | 14,86 | 11,06 |
| T 14 | 0,00 | 5,35 | 5,16 | 3,18 | 3,80 | 0,18 | 0,33 | 7,49 | 18,39 | 40,75 |
| U 1 | 13,20 | 7,00 | 6,67 | | | | | | | |
| U 2 | 0,00 | 5,95 | 5,67 | | | | | | | |
| U 3 | 0,00 | 6,59 | 6,25 | | | | | | | |
| U 4 | 0,00 | 6,79 | 6,45 | | | | | | | |
| U 5 | 6,59 | 7,34 | 6,92 | | | | | | | |
| U 6 | 18,10 | 7,00 | 6,66 | | | | | | | |
| U 7 | 0,00 | 6,31 | 5,85 | | | | | | | |
| U 8 | 0,00 | 6,62 | 6,27 | | | | | | | |
| U 9 | 0,00 | 6,90 | 6,62 | | | | | | | |
| V 1 | 9,09 | 7,38 | 7,02 | | | | | | | |
| V 2 | 8,24 | 7,48 | 7,07 | | | | | | | |
| V 4 | 5,88 | 6,95 | 6,52 | | | | | | | |
| V 5 | 0,00 | 6,00 | 5,77 | | | | | | | |
| V 6 | 0,00 | 6,56 | 6,22 | | | | | | | |
| V 7 | 0,00 | 6,27 | 5,97 | | | | | | | |
| V 8 | 0,00 | 7,00 | 6,59 | | | | | | | |
| V 9 | 0,00 | 6,12 | 5,90 | | | | | | | |
| V 10 | 0,00 | 6,77 | 6,42 | | | | | | | |
| V 11 | 0,00 | 6,87 | 6,51 | | | | | | | |
| V 12 | 6,61 | 6,59 | 6,34 | | | | | | | |
| X 1 | 0,00 | 6,58 | 6,20 | | | | | | | |
| X 2 | 0,00 | 6,46 | 6,70 | 11,22 | 9,58 | 0,42 | 0,40 | 21,61 | 25,95 | 83,29 |
| X 3 | 0,00 | 6,16 | 5,85 | 9,82 | 6,13 | 0,24 | 0,45 | 16,63 | 22,17 | 75,03 |
| X 4 | 0,00 | 6,47 | 6,15 | 6,76 | 11,69 | 0,17 | 0,30 | 18,92 | 21,93 | 86,27 |
| X 5 | 0,00 | 6,08 | 5,74 | 7,35 | 7,62 | 0,31 | 0,45 | 15,74 | 22,46 | 70,08 |
| Y 1 | 12,00 | 6,37 | 6,02 | | | | | | | |
| Y 2 | 0,00 | 6,54 | 6,22 | 13,91 | 7,21 | 0,21 | 0,25 | 21,58 | 23,82 | 90,70 |
| Y 3 | 0,00 | 6,32 | 5,97 | 14,17 | 6,37 | 0,28 | 0,29 | 21,11 | 25,09 | 84,13 |

| Référence | Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | P2O5T (mg/g) | P2O5AS(mg/g) (mg/g) | CaCO3T (%) | PAF (%) | RES (%) | SiO2 (%) | Fe2O3 (%) | Al2O3 (%) | MnO2 (%) |
|-----------|--------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------|------------|------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| P 5 | | | | 0,18 | | | | | | |
| P 6 | | | | 0,22 | | | | | | |
| P 7 | 239,00 | 24,88 | 1,86 | 0,14 | 30,38 | 1,11 | 0,85 | 21,96 | 39,75 | 0,92 |
| P 8 | 299,00 | 27,68 | 3,25 | 0,09 | 29,72 | 1,15 | 0,97 | 21,80 | 39,60 | 0,92 |
| P 9 | 326,00 | 24,29 | 1,76 | 0,09 | 32,45 | 1,04 | 0,80 | 20,76 | 38,27 | 0,91 |
| P 10 | 270,00 | 26,47 | 2,12 | 0,18 | 32,11 | 1,00 | 0,80 | 20,84 | 38,43 | 0,95 |
| P 11 | 400,00 | 22,25 | 2,30 | 0,61 | 32,54 | 0,84 | 0,75 | 20,33 | 37,50 | 0,87 |
| P 12 | 291,00 | 24,60 | 2,28 | 0,09 | 31,92 | 0,98 | 0,77 | 20,79 | 38,43 | 0,84 |
| P 13 | 243,00 | 26,47 | 2,96 | 0,14 | 32,06 | 0,65 | 0,86 | 20,06 | 39,32 | 0,83 |
| P 14 | 480,00 | 17,57 | 2,00 | 1,53 | 35,14 | 0,55 | 0,76 | 18,23 | 35,89 | 0,91 |
| P 15 | 425,00 | 23,35 | 2,65 | 0,23 | 36,08 | 0,65 | 0,75 | 18,50 | 36,28 | 0,93 |
| P 16 | | | | 1,30 | | | | | | |
| Q 4 | | | | 0,90 | | | | | | |
| Q 5 | | | | 0,26 | | | | | | |
| Q 6 | | | | 1,14 | | | | | | |
| Q 7 | 495,00 | 14,13 | 1,86 | 1,68 | 37,50 | 0,95 | 0,73 | 17,14 | 33,88 | 0,81 |
| Q 8 | 437,00 | 16,48 | 2,18 | 1,90 | 36,68 | 0,78 | 0,78 | 17,05 | 34,25 | 0,91 |
| Q 9 | 394,00 | 6,28 | 2,22 | 5,64 | 34,18 | 0,75 | 0,67 | 17,05 | 34,66 | 0,88 |
| Q 10 | 300,00 | 24,34 | 1,99 | 0,18 | 31,35 | 1,19 | 0,74 | 20,29 | 39,93 | 0,94 |
| Q 12 | 240,00 | 27,55 | 2,88 | 0,18 | 31,44 | 1,04 | 0,70 | 19,56 | 39,44 | 0,84 |
| Q 13 | 488,00 | 23,95 | 2,82 | 0,31 | 36,33 | 1,14 | 0,39 | 17,80 | 35,65 | 0,87 |
| Q 14 | 259,00 | 27,07 | 2,28 | 0,27 | 33,07 | 0,77 | 1,26 | 21,05 | 38,26 | 0,84 |
| Q 15 | 323,00 | 28,17 | 3,14 | 0,31 | 32,47 | 0,65 | 0,90 | 21,28 | 37,78 | 1,01 |
| R 4 | | | | 0,18 | | | | | | |
| R 5 | | | | 0,22 | | | | | | |
| R 6 | | | | 0,75 | | | | | | |
| R 7 | 554,00 | 20,03 | 2,28 | 0,18 | 37,55 | 0,84 | 0,79 | 19,83 | 35,02 | 0,87 |
| R 8 | 351,00 | 24,77 | 2,67 | 0,22 | 32,82 | 1,11 | 0,81 | 21,06 | 37,99 | 1,00 |
| R 9 | 336,00 | 25,86 | 3,35 | 0,31 | 32,69 | 1,01 | 0,93 | 21,12 | 37,90 | 0,86 |
| R 10 | 192,00 | 23,87 | 1,43 | 0,22 | 31,00 | 1,07 | 0,94 | 22,17 | 39,47 | 0,84 |
| R 11 | 244,00 | 26,11 | 2,97 | 0,26 | 31,22 | 0,92 | 0,98 | 21,51 | 39,20 | 0,86 |
| R 12 | 256,00 | 24,94 | 2,45 | 0,14 | 30,56 | 1,09 | 0,96 | 21,83 | 39,26 | 0,92 |
| R 14 | 330,00 | 24,72 | 4,07 | 0,58 | 33,34 | 0,69 | 0,91 | 19,99 | 35,91 | 0,96 |
| R 15 | 384,00 | 21,58 | 2,43 | 0,83 | 32,75 | 0,81 | 0,95 | 19,17 | 37,46 | 0,88 |
| R 16 | | | | 0,26 | | | | | | |
| T 1 | | | | 0,74 | | | | | | |
| T 2 | | | | 0,22 | | | | | | |
| T 3 | | | | 0,53 | | | | | | |
| T 4 | | | | 0,35 | | | | | | |
| T 5 | | | | 0,18 | | | | | | |
| T 6 | | | | 5,93 | | | | | | |
| T 7 | 372,00 | 23,28 | 2,89 | 0,58 | 33,27 | 0,83 | 0,88 | 19,14 | 37,30 | 1,00 |
| T 8 | 492,00 | 22,55 | 3,33 | 1,14 | 33,00 | 0,87 | 0,97 | 19,35 | 37,72 | 0,94 |
| T 9 | 180,00 | 30,05 | 2,94 | 0,14 | 29,65 | 0,83 | 1,05 | 21,04 | 40,51 | 1,07 |
| T 10 | 294,00 | 24,76 | 1,97 | 0,18 | 31,50 | 1,04 | 1,01 | 20,20 | 39,25 | 0,97 |
| T 11 | 226,00 | 27,79 | 2,07 | 0,22 | 31,05 | 0,83 | 0,98 | 20,67 | 39,48 | 1,16 |
| T 12 | 175,00 | 27,83 | 2,27 | 0,26 | 29,65 | 1,12 | 1,12 | 21,20 | 40,28 | 0,96 |
| T 13 | 141,00 | 32,08 | 3,08 | 0,18 | 28,67 | 0,82 | 1,22 | 21,65 | 41,24 | 1,01 |
| T 14 | 233,00 | 31,94 | 3,47 | 0,14 | 28,67 | 0,92 | 1,17 | 20,96 | 40,25 | 0,98 |
| U 1 | | | | 8,89 | | | | | | |
| U 2 | | | | 0,18 | | | | | | |
| U 3 | | | | 0,31 | | | | | | |
| U 4 | | | | 0,57 | | | | | | |
| U 5 | | | | 13,41 | | | | | | |
| U 6 | | | | 5,50 | | | | | | |
| U 7 | | | | 0,26 | | | | | | |
| U 8 | | | | 0,27 | | | | | | |
| U 9 | | | | 1,00 | | | | | | |
| V 1 | | | | 7,27 | | | | | | |
| V 2 | | | | 27,80 | | | | | | |
| V 4 | | | | 1,83 | | | | | | |
| V 5 | | | | 0,18 | | | | | | |
| V 6 | | | | 0,26 | | | | | | |
| V 7 | | | | 0,22 | | | | | | |
| V 8 | | | | 0,31 | | | | | | |
| V 9 | | | | 0,31 | | | | | | |
| V 10 | | | | 0,27 | | | | | | |
| V 11 | | | | 5,87 | | | | | | |
| V 12 | | | | 0,31 | | | | | | |
| X 1 | | | | 0,18 | | | | | | |
| X 2 | 277,00 | 29,85 | 3,32 | 0,18 | 31,98 | 1,03 | 1,15 | 20,80 | 38,60 | 0,93 |
| X 3 | 267,00 | 28,21 | 2,61 | 0,14 | 30,81 | 0,91 | 1,22 | 21,29 | 40,46 | 0,85 |
| X 4 | 283,00 | 31,08 | 3,65 | 0,18 | 29,83 | 1,06 | 1,23 | 22,11 | 40,50 | 1,01 |
| X 5 | 262,00 | 30,04 | 3,51 | 0,14 | 30,54 | 0,87 | 1,21 | 21,70 | 40,01 | 0,93 |
| Y 1 | | | | 0,31 | | | | | | |
| Y 2 | 256,00 | 28,64 | 2,78 | 0,18 | 30,60 | 0,78 | 1,30 | 21,02 | 39,45 | 0,95 |
| Y 3 | 232,00 | 29,21 | 0,38 | 0,09 | 30,86 | 0,91 | 1,14 | 21,15 | 39,32 | 0,93 |

| Référence | TiO2 (%) | NiO (%) | Cr2O3 (%) | CoO (%) | CaO (%) | MgO (%) | K2O (%) | Na2O (%) | ATA (%) |
|-----------|----------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| P 5 | | | | | | | | | |
| P 6 | | | | | | | | | |
| P 7 | 1,08 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 0,86 | 0,54 | 0,02 | 0,02 | 100,11 |
| P 8 | 0,97 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 0,83 | 0,45 | 0,02 | 0,02 | 99,35 |
| P 9 | 1,04 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,22 | 0,55 | 0,02 | 0,03 | 99,66 |
| P 10 | 1,09 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 1,01 | 0,51 | 0,02 | 0,02 | 99,56 |
| P 11 | 1,27 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 1,57 | 0,76 | 0,02 | 0,02 | 98,83 |
| P 12 | 1,11 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 1,09 | 0,52 | 0,02 | 0,02 | 99,09 |
| P 13 | 1,37 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,09 | 0,49 | 0,02 | 0,03 | 99,55 |
| P 14 | 1,30 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 2,44 | 1,10 | 0,02 | 0,03 | 98,26 |
| P 15 | 1,24 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 1,72 | 0,59 | 0,03 | 0,03 | 99,24 |
| P 16 | | | | | | | | | |
| Q 4 | | | | | | | | | |
| Q 5 | | | | | | | | | |
| Q 6 | | | | | | | | | |
| Q 7 | 0,85 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 2,81 | 1,32 | 0,03 | 0,02 | 97,59 |
| Q 8 | 1,11 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 2,92 | 1,29 | 0,02 | 0,02 | 97,60 |
| Q 9 | 1,17 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 4,50 | 2,31 | 0,02 | 0,02 | 96,96 |
| Q 10 | 1,07 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,04 | 0,54 | 0,02 | 0,02 | 99,70 |
| Q 12 | 1,23 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,12 | 0,51 | 0,02 | 0,02 | 98,81 |
| Q 13 | 1,17 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 1,99 | 0,79 | 0,03 | 0,02 | 98,70 |
| Q 14 | 0,90 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,26 | 0,57 | 0,02 | 0,02 | 100,86 |
| Q 15 | 1,33 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,58 | 0,64 | 0,02 | 0,02 | 100,63 |
| R 4 | | | | | | | | | |
| R 5 | | | | | | | | | |
| R 6 | | | | | | | | | |
| R 7 | 1,13 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 1,95 | 0,56 | 0,03 | 0,02 | 100,72 |
| R 8 | 1,01 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,40 | 0,59 | 0,02 | 0,02 | 100,44 |
| R 9 | 1,13 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,47 | 0,61 | 0,02 | 0,02 | 100,49 |
| R 10 | 1,07 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 0,80 | 0,45 | 0,02 | 0,02 | 100,38 |
| R 11 | 1,18 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 1,19 | 0,50 | 0,02 | 0,02 | 100,36 |
| R 12 | 1,01 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,18 | 0,50 | 0,02 | 0,02 | 99,99 |
| R 14 | 1,28 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 2,26 | 0,82 | 0,02 | 0,02 | 98,81 |
| R 15 | 1,26 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 2,23 | 0,94 | 0,02 | 0,02 | 98,79 |
| R 16 | | | | | | | | | |
| T 1 | | | | | | | | | |
| T 2 | | | | | | | | | |
| T 3 | | | | | | | | | |
| T 4 | | | | | | | | | |
| T 5 | | | | | | | | | |
| T 6 | | | | | | | | | |
| T 7 | 1,23 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 2,03 | 0,92 | 0,02 | 0,02 | 99,09 |
| T 8 | 1,11 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 2,08 | 0,60 | 0,02 | 0,02 | 99,07 |
| T 9 | 1,25 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 0,89 | 0,41 | 0,02 | 0,02 | 99,85 |
| T 10 | 1,01 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,27 | 0,54 | 0,02 | 0,02 | 99,43 |
| T 11 | 1,26 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,10 | 0,48 | 0,02 | 0,02 | 99,95 |
| T 12 | 0,96 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 1,08 | 0,40 | 0,02 | 0,02 | 99,75 |
| T 13 | 1,26 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 0,59 | 0,27 | 0,02 | 0,01 | 100,12 |
| T 14 | 1,16 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 0,75 | 0,35 | 0,02 | 0,02 | 98,58 |
| U 1 | | | | | | | | | |
| U 2 | | | | | | | | | |
| U 3 | | | | | | | | | |
| U 4 | | | | | | | | | |
| U 5 | | | | | | | | | |
| U 6 | | | | | | | | | |
| U 7 | | | | | | | | | |
| U 8 | | | | | | | | | |
| U 9 | | | | | | | | | |
| V 1 | | | | | | | | | |
| V 2 | | | | | | | | | |
| V 4 | | | | | | | | | |
| V 5 | | | | | | | | | |
| V 6 | | | | | | | | | |
| V 7 | | | | | | | | | |
| V 8 | | | | | | | | | |
| V 9 | | | | | | | | | |
| V 10 | | | | | | | | | |
| V 11 | | | | | | | | | |
| V 12 | | | | | | | | | |
| X 1 | | | | | | | | | |
| X 2 | 0,95 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 1,38 | 0,57 | 0,02 | 0,02 | 100,57 |
| X 3 | 1,10 | 0,02 | 0,13 | 0,01 | 1,13 | 1,05 | 0,04 | 0,02 | 101,85 |
| X 4 | 1,00 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 0,99 | 0,59 | 0,02 | 0,02 | 101,61 |
| X 5 | 1,16 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 0,92 | 0,47 | 0,02 | 0,02 | 101,00 |
| Y 1 | | | | | | | | | |
| Y 2 | 1,21 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 1,59 | 0,59 | 0,02 | 0,02 | 100,53 |
| Y 3 | 1,12 | 0,02 | 0,12 | 0,01 | 1,47 | 0,48 | 0,02 | 0,02 | 100,48 |

ANNEXES 3**Matrices des corrélations entre les principales variables****Tableau 3 : ensemble des deux stations****Tableau 4 : station de Tawaïnèdre****Tableau 5 : station de Taodé**

Tableau 3- Matrice de corrélation entre les principales variables pour l'ensemble des deux stations
(seules sont prises en compte les prélèvements ne présentant pas de données manquantes).

| | Refus | PHE | PHKCl | CaBE | MgBE | KBE | NaBE | BE | CEC | P2O5T | P2O5AS | CaCO3T | SiO2 | Fe2O3 | Al2O3 | MnO2 | TiO2 | Cr2O3 | CaO | MgO | K2O | Na2O | Prof. | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Refus | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PHE | 0,25 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PHKCl | 0,23 | 0,93 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CaBE | 0,12 | 0,81 | 0,67 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MgBE | 0,27 | 0,79 | 0,67 | 0,79 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KBE | 0,04 | 0,57 | 0,40 | 0,82 | 0,71 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NaBE | 0,06 | 0,31 | 0,06 | 0,56 | 0,55 | 0,74 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BE | 0,17 | 0,84 | 0,70 | 0,98 | 0,90 | 0,83 | 0,60 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CEC | 0,06 | 0,61 | 0,40 | 0,89 | 0,80 | 0,89 | 0,74 | 0,91 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| P2O5T | -0,27 | -0,48 | -0,65 | -0,27 | -0,23 | 0,02 | 0,27 | -0,26 | 0,08 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| P2O5AS | -0,01 | 0,05 | -0,19 | 0,27 | 0,31 | 0,45 | 0,62 | 0,31 | 0,56 | 0,67 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| CaCO3T | 0,43 | 0,49 | 0,44 | 0,47 | 0,48 | 0,36 | 0,24 | 0,50 | 0,36 | -0,55 | 0,07 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| SiO2 | -0,10 | -0,25 | -0,45 | -0,04 | -0,02 | 0,23 | 0,41 | -0,03 | 0,23 | 0,77 | 0,68 | -0,12 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Fe2O3 | -0,20 | -0,51 | -0,29 | -0,77 | -0,72 | -0,77 | -0,73 | -0,80 | -0,88 | -0,01 | -0,55 | -0,57 | -0,20 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Al2O3 | -0,17 | -0,67 | -0,50 | -0,88 | -0,77 | -0,79 | -0,61 | -0,89 | -0,90 | 0,16 | -0,44 | -0,57 | -0,06 | 0,88 | 1,00 | | | | | | | | | |
| MnO2 | -0,05 | -0,17 | 0,13 | -0,40 | -0,38 | -0,59 | -0,78 | -0,43 | -0,66 | -0,52 | -0,78 | -0,16 | -0,66 | 0,70 | 0,57 | 1,00 | | | | | | | | |
| TiO2 | 0,09 | 0,02 | -0,21 | 0,24 | 0,14 | 0,36 | 0,53 | 0,23 | 0,41 | 0,46 | 0,64 | 0,11 | 0,46 | -0,52 | -0,37 | -0,64 | 1,00 | | | | | | | |
| Cr2O3 | -0,27 | -0,34 | -0,46 | -0,23 | -0,17 | 0,01 | 0,28 | -0,21 | 0,01 | 0,65 | 0,44 | -0,26 | 0,70 | 0,01 | 0,18 | -0,47 | 0,25 | 1,00 | | | | | | |
| CaO | 0,32 | 0,70 | 0,53 | 0,83 | 0,75 | 0,71 | 0,56 | 0,85 | 0,79 | -0,28 | 0,39 | 0,82 | 0,10 | -0,87 | -0,88 | -0,50 | 0,36 | -0,12 | 1,00 | | | | | |
| MgO | 0,40 | 0,64 | 0,55 | 0,63 | 0,67 | 0,48 | 0,38 | 0,68 | 0,54 | -0,50 | 0,13 | 0,91 | -0,09 | -0,67 | -0,68 | -0,25 | 0,15 | -0,19 | 0,89 | 1,00 | | | | |
| K2O | -0,16 | 0,16 | 0,00 | 0,45 | 0,31 | 0,52 | 0,50 | 0,43 | 0,57 | 0,22 | 0,40 | 0,09 | 0,25 | -0,48 | -0,49 | -0,45 | 0,33 | 0,11 | 0,36 | 0,28 | 1,00 | | | |
| Na2O | -0,12 | 0,32 | 0,15 | 0,48 | 0,38 | 0,58 | 0,65 | 0,48 | 0,55 | 0,18 | 0,39 | 0,13 | 0,27 | -0,48 | -0,43 | -0,46 | 0,38 | 0,12 | 0,39 | 0,24 | 0,38 | 1,00 | | |
| Profondeur | -0,22 | -0,48 | -0,38 | -0,43 | -0,46 | -0,35 | -0,25 | -0,46 | -0,39 | 0,18 | -0,16 | -0,29 | 0,11 | 0,39 | 0,46 | 0,29 | -0,13 | 0,24 | -0,41 | -0,36 | -0,20 | -0,17 | 1,00 | |

Tableau 4- Matrice de corrélation entre les principales variables pour la station de Tawaïnèdre (seules sont prises en compte les prélèvements ne présentant pas de données manquantes).

| | Refus | PHE | PHKCl | CaBE | MgBE | KBE | NaBE | BE | CEC | P2O5T | P2O5AS | CaCO3T | SiO2 | Fe2O3 | Al2O3 | MnO2 | TiO2 | Cr2O3 | CaO | MgO | K2O | Na2O | Prof. | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Refus | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PHE | -0,03 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PHKCl | -0,01 | 0,98 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CaBE | -0,15 | 0,84 | 0,87 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MgBE | -0,06 | 0,85 | 0,84 | 0,84 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KBE | -0,25 | 0,66 | 0,68 | 0,85 | 0,70 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NaBE | -0,16 | 0,05 | 0,07 | 0,34 | 0,27 | 0,52 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BE | -0,13 | 0,87 | 0,89 | 0,99 | 0,91 | 0,84 | 0,35 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CEC | -0,14 | 0,82 | 0,81 | 0,93 | 0,86 | 0,83 | 0,26 | 0,94 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| P2O5T | -0,02 | -0,64 | -0,69 | -0,64 | -0,55 | -0,50 | -0,28 | -0,63 | -0,45 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| P2O5AS | -0,09 | 0,22 | 0,13 | 0,22 | 0,19 | 0,22 | -0,05 | 0,22 | 0,39 | 0,41 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| CaCO3T | -0,04 | 0,65 | 0,66 | 0,75 | 0,64 | 0,60 | 0,15 | 0,74 | 0,72 | -0,68 | 0,18 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| SiO2 | -0,07 | -0,14 | -0,14 | -0,22 | -0,12 | -0,08 | 0,26 | -0,19 | -0,33 | 0,12 | 0,02 | -0,27 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Fe2O3 | 0,21 | -0,82 | -0,82 | -0,87 | -0,79 | -0,68 | -0,04 | -0,87 | -0,88 | 0,55 | -0,22 | -0,71 | 0,42 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Al2O3 | 0,19 | -0,76 | -0,76 | -0,83 | -0,67 | -0,70 | -0,06 | -0,81 | -0,85 | 0,51 | -0,35 | -0,76 | 0,31 | 0,86 | 1,00 | | | | | | | | | |
| MnO2 | 0,05 | -0,25 | -0,24 | -0,08 | -0,06 | 0,00 | -0,05 | -0,08 | -0,05 | 0,28 | 0,00 | -0,01 | -0,04 | 0,17 | 0,21 | 1,00 | | | | | | | | |
| TiO2 | -0,01 | -0,17 | -0,16 | -0,20 | -0,21 | -0,15 | -0,14 | -0,21 | -0,24 | 0,08 | -0,06 | -0,07 | 0,19 | 0,17 | 0,08 | 0,03 | 1,00 | | | | | | | |
| Cr2O3 | -0,29 | -0,29 | -0,30 | -0,31 | -0,17 | -0,27 | 0,16 | -0,28 | -0,31 | 0,19 | -0,13 | -0,44 | 0,14 | 0,28 | 0,41 | -0,06 | -0,25 | 1,00 | | | | | | |
| CaO | -0,10 | 0,84 | 0,85 | 0,94 | 0,82 | 0,78 | 0,24 | 0,94 | 0,91 | -0,69 | 0,25 | 0,91 | -0,26 | -0,86 | -0,86 | -0,05 | -0,16 | -0,39 | 1,00 | | | | | |
| MgO | -0,05 | 0,80 | 0,80 | 0,86 | 0,83 | 0,70 | 0,24 | 0,88 | 0,83 | -0,72 | 0,17 | 0,93 | -0,23 | -0,80 | -0,75 | -0,02 | -0,08 | -0,36 | 0,96 | 1,00 | | | | |
| K2O | -0,27 | 0,25 | 0,27 | 0,38 | 0,20 | 0,47 | 0,10 | 0,35 | 0,39 | 0,04 | 0,32 | 0,22 | -0,11 | -0,28 | -0,45 | 0,11 | 0,20 | -0,37 | 0,32 | 0,21 | 1,00 | | | |
| Na2O | -0,22 | 0,33 | 0,35 | 0,46 | 0,35 | 0,60 | 0,49 | 0,45 | 0,44 | -0,16 | 0,23 | 0,24 | 0,27 | -0,27 | -0,27 | 0,07 | -0,02 | -0,05 | 0,40 | 0,34 | 0,30 | 1,00 | | |
| Profondeur | -0,10 | -0,31 | -0,37 | -0,25 | -0,19 | -0,19 | 0,13 | -0,24 | -0,22 | 0,16 | 0,04 | -0,21 | 0,20 | 0,25 | 0,26 | 0,00 | -0,10 | 0,36 | -0,25 | -0,24 | -0,32 | -0,01 | 1,00 | |

Tableau 5- Matrice de corrélation entre les principales variables pour la station de Taodé
(seules sont prises en compte les prélèvements ne présentant pas de données manquantes).

| | Refus | PHE | PHKCl | CaBE | MgBE | KBE | NaBE | BE | CEC | P2O5T | P2O5AS | CaCO3T | SiO2 | Fe2O3 | Al2O3 | MnO2 | TiO2 | Cr2O3 | CaO | MgO | K2O | Na2O | Prof. | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--|
| Refus | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PHE | 0,43 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PHKCl | 0,42 | 0,97 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CaBE | 0,32 | 0,85 | 0,83 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MgBE | 0,49 | 0,80 | 0,80 | 0,74 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KBE | 0,20 | 0,62 | 0,65 | 0,77 | 0,66 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NaBE | 0,15 | 0,46 | 0,43 | 0,51 | 0,54 | 0,60 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BE | 0,40 | 0,89 | 0,87 | 0,97 | 0,88 | 0,79 | 0,57 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CEC | 0,18 | 0,71 | 0,70 | 0,92 | 0,79 | 0,84 | 0,60 | 0,93 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| P2O5T | -0,61 | -0,71 | -0,67 | -0,72 | -0,62 | -0,54 | -0,47 | -0,73 | -0,59 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| P2O5AS | -0,12 | -0,11 | -0,06 | -0,15 | 0,00 | -0,13 | -0,04 | -0,10 | -0,06 | 0,34 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| CaCO3T | 0,70 | 0,46 | 0,46 | 0,42 | 0,45 | 0,31 | 0,23 | 0,46 | 0,30 | -0,83 | -0,12 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| SiO2 | -0,30 | -0,52 | -0,48 | -0,56 | -0,48 | -0,40 | -0,46 | -0,57 | -0,51 | 0,64 | 0,22 | -0,33 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Fe2O3 | -0,50 | -0,57 | -0,56 | -0,74 | -0,68 | -0,62 | -0,55 | -0,77 | -0,75 | 0,78 | 0,13 | -0,66 | 0,63 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Al2O3 | -0,46 | -0,74 | -0,74 | -0,89 | -0,78 | -0,71 | -0,52 | -0,91 | -0,87 | 0,82 | 0,12 | -0,59 | 0,65 | 0,84 | 1,00 | | | | | | | | | |
| MnO2 | -0,09 | -0,31 | -0,29 | -0,32 | -0,30 | -0,33 | -0,43 | -0,34 | -0,35 | 0,40 | 0,19 | -0,17 | 0,31 | 0,25 | 0,34 | 1,00 | | | | | | | | |
| TiO2 | 0,15 | -0,03 | -0,07 | 0,06 | -0,13 | -0,04 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,23 | 0,05 | -0,17 | -0,15 | -0,04 | 0,20 | 1,00 | | | | | | | |
| Cr2O3 | -0,40 | -0,52 | -0,48 | -0,61 | -0,53 | -0,43 | -0,35 | -0,62 | -0,55 | 0,64 | 0,12 | -0,40 | 0,74 | 0,69 | 0,71 | 0,11 | -0,10 | 1,00 | | | | | | |
| CaO | 0,63 | 0,72 | 0,72 | 0,77 | 0,69 | 0,56 | 0,37 | 0,79 | 0,67 | -0,88 | -0,11 | 0,88 | -0,45 | -0,84 | -0,85 | -0,23 | 0,10 | -0,53 | 1,00 | | | | | |
| MgO | 0,69 | 0,60 | 0,60 | 0,55 | 0,62 | 0,38 | 0,37 | 0,61 | 0,46 | -0,85 | -0,13 | 0,92 | -0,38 | -0,73 | -0,69 | -0,28 | 0,03 | -0,36 | 0,91 | 1,00 | | | | |
| K2O | -0,12 | 0,08 | 0,06 | 0,34 | 0,19 | 0,30 | 0,37 | 0,31 | 0,44 | -0,15 | -0,06 | -0,03 | -0,15 | -0,27 | -0,26 | -0,31 | -0,10 | 0,02 | 0,14 | 0,23 | 1,00 | | | |
| Na2O | -0,07 | 0,36 | 0,32 | 0,33 | 0,26 | 0,33 | 0,58 | 0,33 | 0,34 | -0,23 | -0,15 | 0,02 | -0,32 | -0,27 | -0,25 | -0,21 | 0,18 | -0,27 | 0,13 | 0,09 | 0,09 | 1,00 | | |
| Profondeur | -0,32 | -0,56 | -0,50 | -0,46 | -0,53 | -0,34 | -0,25 | -0,52 | -0,39 | 0,53 | 0,05 | -0,32 | 0,50 | 0,38 | 0,51 | 0,52 | 0,12 | 0,45 | -0,42 | -0,37 | 0,06 | -0,14 | 1,00 | |

