

Impact des caractéristiques physiques et hydrodynamiques des sols sur la mortalité de l'ananas (*Ananas comosus*) en culture intensive au Sud-Est de la Côte d'Ivoire

F.Y. Kouassi^(1*), P.T.K. Angui⁽¹⁾, J.T. Ama⁽¹⁾ et A. Yao-Kouamé⁽²⁾

- 1) Laboratoire Géosciences et Environnement, Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire
- 2) Département des Sciences du sol, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

*: Auteur correspondant: fyebouak@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Il est, de plus en plus, observé une importante variabilité de la mortalité de l'ananas dans une exploitation d'ananas de la Société SCB, en Côte d'Ivoire. L'impact des caractéristiques physiques et hydrodynamiques des sols sur la mortalité de l'ananas a été évalué, afin de déterminer les causes de cette variabilité.

Les teneurs en éléments grossiers et l'humidité à la capacité au champ des sols ont été déterminées au laboratoire, respectivement, à partir du « refus » d'un tamis de maille de 2 mm et dans les couches 0-10, 10-20 et 20-30 cm. La mesure de l'infiltration a été faite par anneau unique. La mortalité de l'ananas a été déterminée de 1999 à 2007. Les résultats ont révélé des taux de mortalité plus élevés dans les sols argilo-limoneux à argileux. Ils ont diminué avec les teneurs en éléments grossiers et la perméabilité des sols, et augmenté avec l'humidité du sol à la capacité au champ.

Cette étude a révélé des corrélations entre les caractères physiques et hydrodynamiques des sols et la mortalité de l'ananas.

Mots clés

Éléments grossiers, infiltration, capacité au champ, mortalité de l'ananas, Côte d'Ivoire.

SUMMARY**IMPACT OF PHYSICAL AND HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF SOILS ON PINEAPPLE (ANANAS COMOSUS) MORTALITY IN INTENSIVE CULTIVATION IN SOUTH-EAST CÔTE D'IVOIRE**

Significant variability in mortality of pineapple is increasingly being observed in a farm belonging to the SCB Company, in Côte d'Ivoire. The impact of the physical and hydrodynamic characteristics of soils on pineapple mortality was evaluated in order to determine the causes of this variability.

The contents of coarse elements and the soil moisture at field capacity were determined in laboratory, respectively, from the « refusal » of a 2 mm sieve and in 0-10, 10-20 and 20-30 cm layers. The measurement of infiltration was made by single ring method. The pineapple mortality was monitored over five years from 1999 to 2007. The results revealed higher mortality rates in the clay-silty to clayey soils. Mortality decreased with the contents of coarse elements and the permeability of the soils, and increased with the soil moisture at field capacity.

This study revealed correlations between the physical and hydrodynamic characters of soils and pineapple mortality.

Key-words

Coarse elements, infiltration, field capacity, pineapple mortality, soil, Côte d'Ivoire.

RESUMEN**IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y HIDRODINÁMICAS DE SUELOS SOBRE LA MORTALIDAD DE PIÑA (ANANAS COMOSUS) EN CULTIVO INTENSIVO EN EL SUR-ESTE DE COSTA DE MARFIL**

Se observa, cada vez más, una importante mortalidad de piña en una explotación de piñas de la sociedad SCB, en Costa de Marfil. Se evaluó el impacto de las características físicas e hidrodinámicas de suelos sobre la mortalidad de piña para determinar las causas de esta variabilidad.

Se determinaron en laboratorio contenidos en elementos gruesos y humedad a capacidad de campo de suelos respectivamente a partir de lo que queda sobre un tamiz de 2 mm de malla y en las capas 0-10, 10-20 y 20-30 cm. La medida de la infiltración se hizo con un solo cilindro. Se determinó la mortalidad de piña de 1999 a 2007. Los resultados revelaron tasas de mortalidad más elevadas en los suelos arcillo-limosos e arcillosos. Ellas disminuyeron con las tasas en elementos gruesos y con la permeabilidad de suelos, y aumentaron con la humedad del suelo a la capacidad de campo.

Este estudio reveló correlaciones entre características físicas e hidrodinámicas de suelos y la mortalidad de piña.

Palabras clave

Elementos gruesos – infiltración – capacidad de campo – mortalidad de piña – Costa de Marfil.

La culture de l'ananas [*Ananas comosus* (L.) MERR] est répandue dans toute la zone intertropicale depuis son introduction dans l'alimentation européenne et américaine (Cabot, 1990a). Toutefois, la gestion des sols adaptée à une production durable demeure une préoccupation majeure (Moreau et Godefroy, 1985; Pieri, 1985), en raison de la dégradation continue des ressources naturelles due à l'utilisation abusive et inadéquate des techniques agricoles (Saber et Mrabet, 2002).

En effet, Radford *et al.* (2000) ont constaté une augmentation considérable de rendement cultural, suite à une amélioration des propriétés physiques et hydrodynamiques des horizons superficiels des sols non labourés, comparativement au labour conventionnel au pulvérisateur à disques, après seulement trois ans d'expérimentation. Ainsi, le non labour aide à minimiser la compacité, et induit une structuration naturelle du sol (Mc Garry *et al.*, 2000).

La mécanisation, considérée comme une bonne alternative à la mise en valeur des terres, conduit malheureusement à leur appauvrissement en matière organique et entraîne la rapide dégradation de leur structure (Pachepsky and Rawls, 2003). Le recours fréquent au travail du sol semble nécessaire; mais, l'utilisation intensive et continue des mêmes outils agricoles, souvent inappropriés au travail des ferralsols tropicaux, dégrade leur état physique et détériore ainsi leur qualité (Tian, 2009).

En Côte d'Ivoire, l'évaluation des caractéristiques physiques et hydrodynamiques des sols, suite à l'intensive mécanisation agricole n'est toujours pas effectuée au niveau des exploitations d'ananas. Or, cette culture exige des sols profonds, meubles, homogènes, légers, limono-argileux à limono-sableux et ayant un bon drainage intérieur et extérieur (Fournier et Cao-Van, 2008).

Après plusieurs décennies d'exploitation fortement mécanisée des sols de la plantation SPADI, la variabilité de la fertilité de ces sols, principalement cultivés en ananas, s'observe de plus en plus, au regard de la mortalité des plants et des rendements enregistrés. Ainsi, ce travail vise à évaluer l'impact de certaines caractéristiques physiques et hydrodynamiques des sols sur la mortalité de l'ananas.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

L'étude a été conduite dans l'exploitation (SPADI) de la Société d'étude et de développement de la Culture Bananière (SCB), située dans la Sous-Préfecture de N'douci, Département de Tiassalé (figure 1), au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. L'exploitation est localisée dans le quadrilatère 5°56' et 5°58' N et 4°47' et 4°51' W. Les sols, développés sur schistes, sont des ferralsols moyennement à faiblement désaturés (Avenard *et al.*, 1971 ; Perraud, 1971) et des gleysols dans les bas-fonds (Anonyme, 2009).

Le climat est de type subéquatorial (Anonyme, 2003) à pluviométrie bimodale (avril à juillet et septembre à octobre) et caractérisé par deux saisons de pluies et deux saisons sèches, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1318 mm sur les 13 dernières années. La température moyenne annuelle est de 26,78 °C.

Profils types des sols

L'étude a porté sur cinq unités morpho-pédologiques (UMP) de la plantation, dont les profils types sont présentés dans la figure 2.

Matériel végétal

L'étude a été réalisée sur les cultivars African Queen (MD2) et Queen Victoria de l'ananas (*Ananas comosus*), originaire de l'Amérique du Sud, dont le cycle végétatif varie de 12 à 16 mois (Malézieux, 1990).

Ouverture des fosses pédologiques

Les fosses ont été ouvertes sur une dimension de 1,5 m de long, 1 m de large et 1,5 m de profondeur en cas d'absence d'obstacle au creusement (Batjes, 2000; Asio *et al.*, 2006).

Teneur en éléments grossiers des sols

Les teneurs en éléments grossiers ont été déterminées au laboratoire, à partir d'échantillons de sol prélevés dans les couches 0-10, 10-20, 20-30 et 30-40 cm et constitués en échantillons composites. Les échantillons, après séchage à l'air libre, ont été passés sur un tamis de maille de 2 mm. Les éléments grossiers ont été lavés à l'eau, séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures, et pesés (Boyer, 1982; Baize, 2000). Ainsi, les teneurs (p.c.) ont été déterminées par la formule suivante:

$$\text{Taux d'éléments grossiers} = \frac{\text{Masse du refus de tamis}}{\text{Masse totale de sol séché à l'air libre}} \times 100$$

Infiltration

La mesure de l'infiltration a été faite sur les sols, à l'aide d'un dispositif de 3 infiltromètres à anneau unique identiques de 30 cm de diamètre et 15 cm de hauteur (Anderson et Ingram, 1996; Herman, 2003; Soltner, 2003). L'évolution du niveau d'eau a été relevée au cours du temps d'infiltration à l'aide d'un chronomètre ordinaire, tout en maintenant une lame d'eau constante de 3 cm au-dessus du sol (Ruy, 1999; Velly, 2000; Vagen *et al.*, 2011).

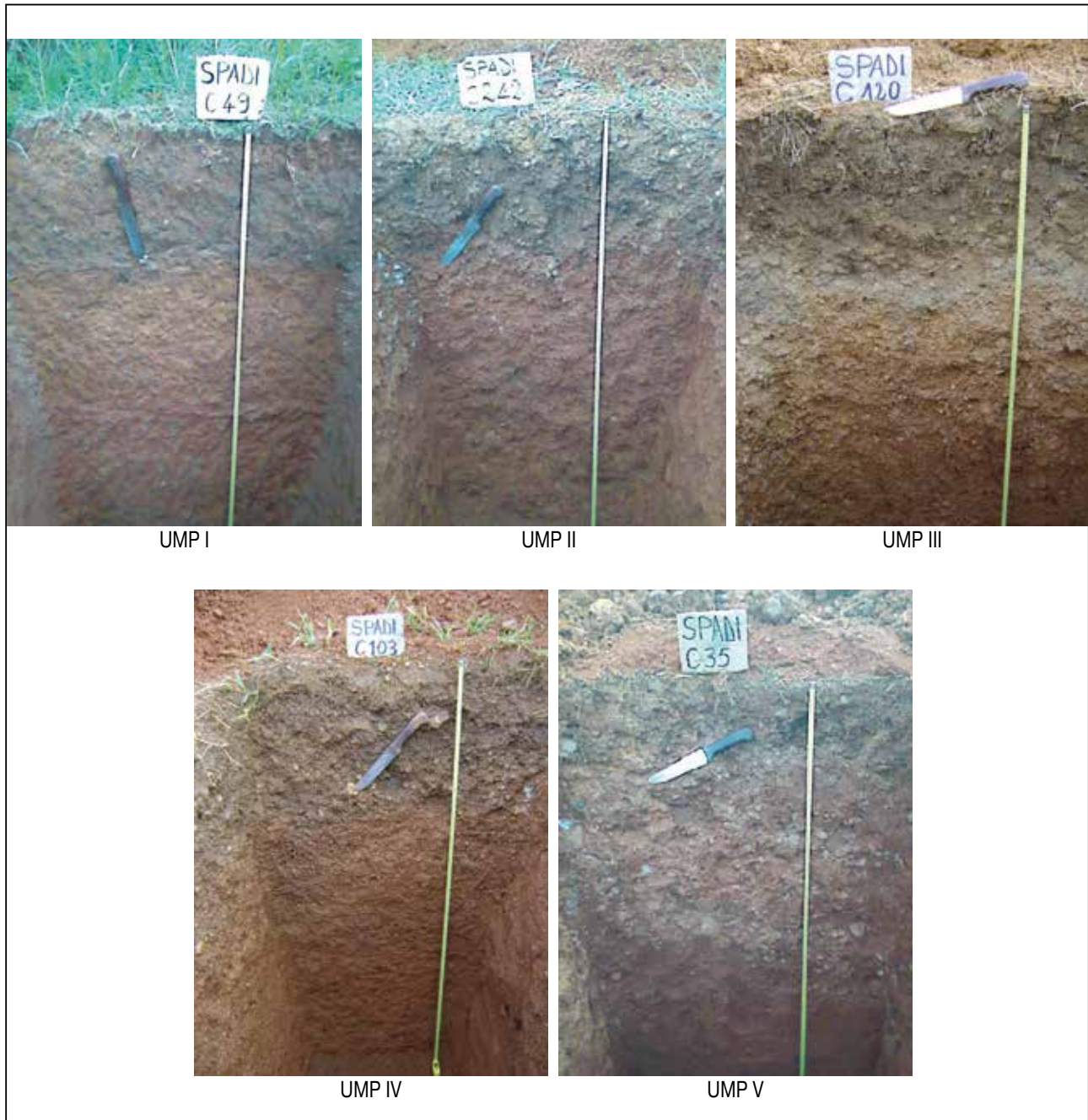
Humidité du sol à la capacité au champ

L'humidité du sol à la capacité au champ a été déterminée au laboratoire, à partir d'échantillons de sol, d'au moins 250 g, pré-

Figure 1 - Localisation du site de l'étude.

Figure 1 - Location of the study site.



Figure 2 - Profils types des unités morpho-pédologiques étudiées.**Figure 2 -** Typical profiles of morpho-pedologic units studied.

levés en plantation dans les couches 0-10, 10-20 et 20-30 cm, 48 heures après saturation du sol (Wambeke, 1995; Anderson et Ingram, 1996; Soltner, 2003), aux points d'infiltration. Les échantillons ont été pesés au moment du prélèvement (M_{ech}) avant d'être transférés au laboratoire. Puis, ils ont été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 48 heures, laps de temps suffisant pour

obtenir un poids constant, pour déterminer les masses de terre sèche (M_s) (Anderson et Ingram, 1996; Poszwa, 2007). La teneur en eau pondérale (p.c.) a ainsi été déterminée par la formule:

$$\text{Teneur en eau pondérale } (\omega_{cc}) = \left[\left(\frac{M_{ech}}{M_s} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (2)$$

Après avoir converti la masse de l'eau contenue dans le sol en volume (V_w), à partir de la masse volumique de l'eau, et déterminé le volume de l'échantillon de sol (V_{ech}), à partir de la division de la masse de terre sèche par la densité apparente, la teneur en eau volumique (p.c.) du sol a été obtenue par la formule:

$$\text{Teneur en eau volumique } (\theta_{cc}) = \frac{V_w}{V_{ech}} \times 100 \quad (3)$$

Mortalité des plants d'ananas

L'étude a porté sur les taux de mortalité des cinq dernières années de culture de 1999 à 2007, intercalées d'une année de jachère, sur les unités morpho-pédologiques I, II, III, IV et V. Ces taux ont été déterminés par le rapport de la différence entre le nombre de pieds plantés et le nombre de pieds vivants après le traitement d'induction florale, 33 à 40 semaines après plantation, sur le nombre de pieds plantés.

Analyses statistiques

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel STATISTICA 6.0. En cas de différence significative à l'analyse de variance (ANOVA), la formation des groupes de moyennes homogènes a été faite par le test de Newman-Keuls, au seuil de 5 p.c.

RESULTATS

Unités morpho-pédologiques

Cinq types d'unités morpho-pédologiques ont été identifiés, à savoir le Ferralsol gleyique (unité I), le Ferralsol endoplinthique (unité II), le Ferralsol plinthique ferrugineux (unité III), le Ferralsol ferrugineux (unité IV) et le Ferralsol plinthique (unité V) (figures 3 et 4).

Variation de la mortalité de l'ananas en fonction des sols

Les taux de mortalité de l'ananas ont varié selon le type de sol (figure 5). La valeur la plus élevée a été obtenue sur les sols de l'unité I, avec un taux de 10,52 p.c. et la plus faible sur l'unité V, avec 1,84 p.c. Les différences entre les taux de mortalité sont très hautement significatives ($p < 1\%$).

Éléments grossiers

La relation entre les teneurs en éléments grossiers des sols et les taux de mortalité de l'ananas est établie par des corrélations négatives, dont les coefficients (R^2) varient entre 0,48 et 0,65 sur les 40 premiers centimètres (figure 6).

Conductivité hydraulique à saturation

La relation entre la perméabilité des sols et le taux de mortalité de l'ananas est exprimée à travers une forte corrélation négative, dont le coefficient (R^2) est de 0,84 (figure 7).

Humidité du sol à la capacité au champ

Le lien entre l'humidité du sol à la capacité au champ et les taux de mortalité présente des spécificités par rapport à la profondeur (Figure 8). Les corrélations sont positives dans les couches 0-10 et 20-30 cm, avec des coefficients (R^2) respectifs de 0,64 et 0,85. Cependant, elle est négative dans la couche 10-20 cm, avec un coefficient de 0,20.

DISCUSSION

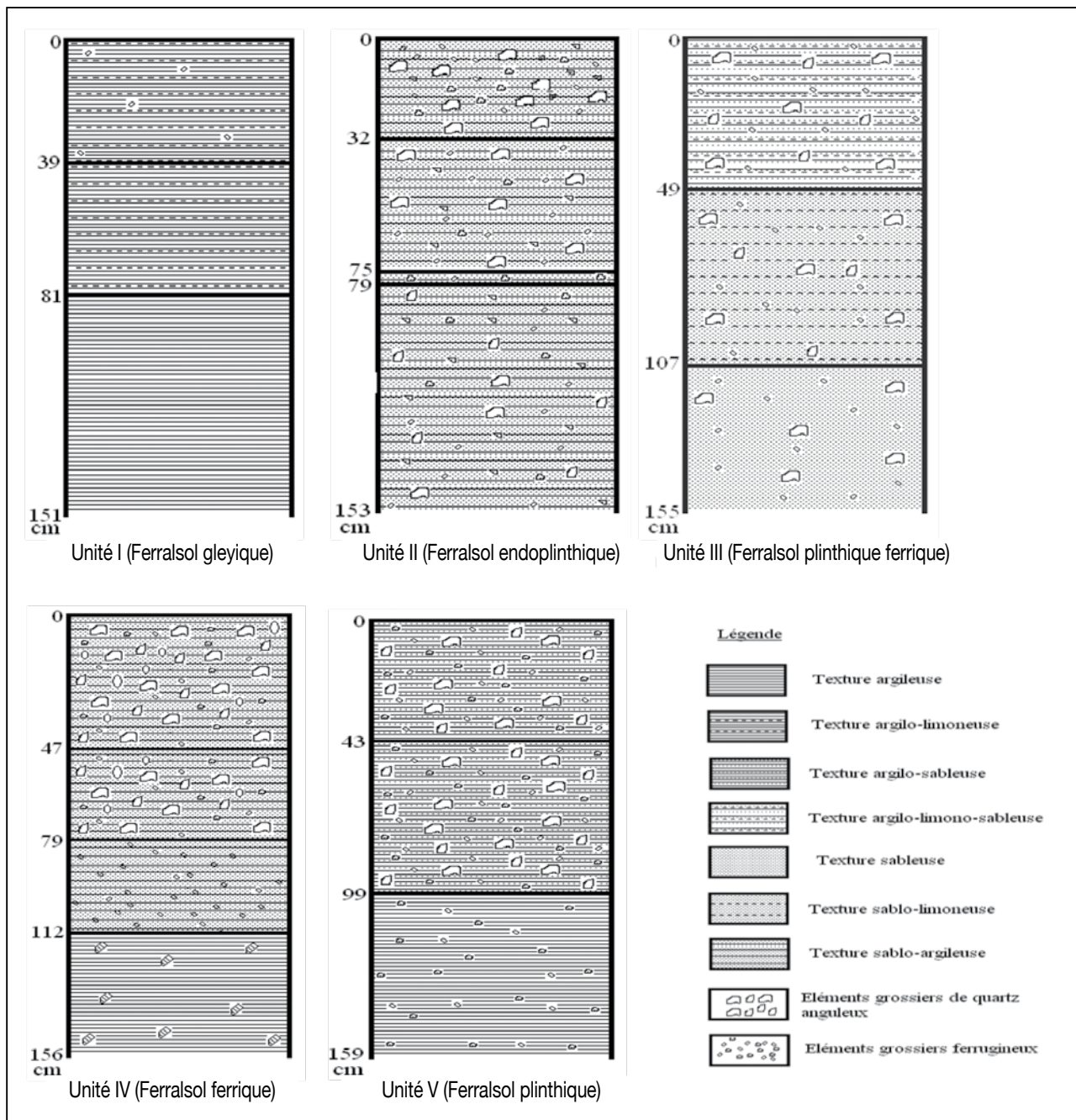
La variation des taux de mortalité des plantes d'ananas présente un taux plus élevé dans les sols de l'unité I (bas de versant) que dans les autres sols. Or, les caractérisations morphologique et physique de ces sols ont montré qu'ils sont argileux et pauvres en éléments grossiers. C'est dire que la culture d'ananas est inadaptée à ce type de sol; ce qui est conforme aux observations de Fournier et Cao-Van (2008) selon lesquelles les sols à teneur élevée en argile, qui entravent le drainage, sont à éviter.

Les relations entre les teneurs en éléments grossiers et les taux de mortalité ont présenté des corrélations négatives par couche de 10 cm le long des 40 premiers centimètres. Ces taux diminuent donc avec la teneur en éléments grossiers de la zone d'enracinement de l'ananas qui dépasse rarement 35 centimètres de profondeur (Fournier et Cao-Van, 2008). Cela montre que plus les sols comportent des éléments grossiers, mieux ils conviennent à la culture de l'ananas.

Par ailleurs, les taux de mortalité de l'ananas sont négativement et fortement corrélés à la conductivité hydraulique à saturation. Cela signifie que la mortalité de l'ananas diminue lorsque le sol est perméable. Ce résultat montre la sensibilité de cette culture à l'humidité du sol. En effet, Malézieux *et al.* (1991) ont observé sur le système racinaire de l'ananas une diminution importante des ramifications et de la proportion de « pointes blanches » dans la période comprise entre 4 mois après plantation et le traitement d'induction florale (TIF). Selon ces auteurs, cette dégradation est liée à une diminution de l'aération des horizons prospectés. De plus, des pourritures de cœur d'ananas ont été observées. Cela concorde avec les travaux de Bamba (2000) selon lesquels l'humidité du sol entraîne le développement rapide de *Phytophthora parasitica* qui provoquent la pourriture des racines et du cœur de la plante, conduisant ainsi à son affaissement brutal après plantation. C'est pour cette raison que les sols de bas de versant (unité I), peu perméables, donc mal aérés, ont enregistré les taux de mortalité les plus élevés.

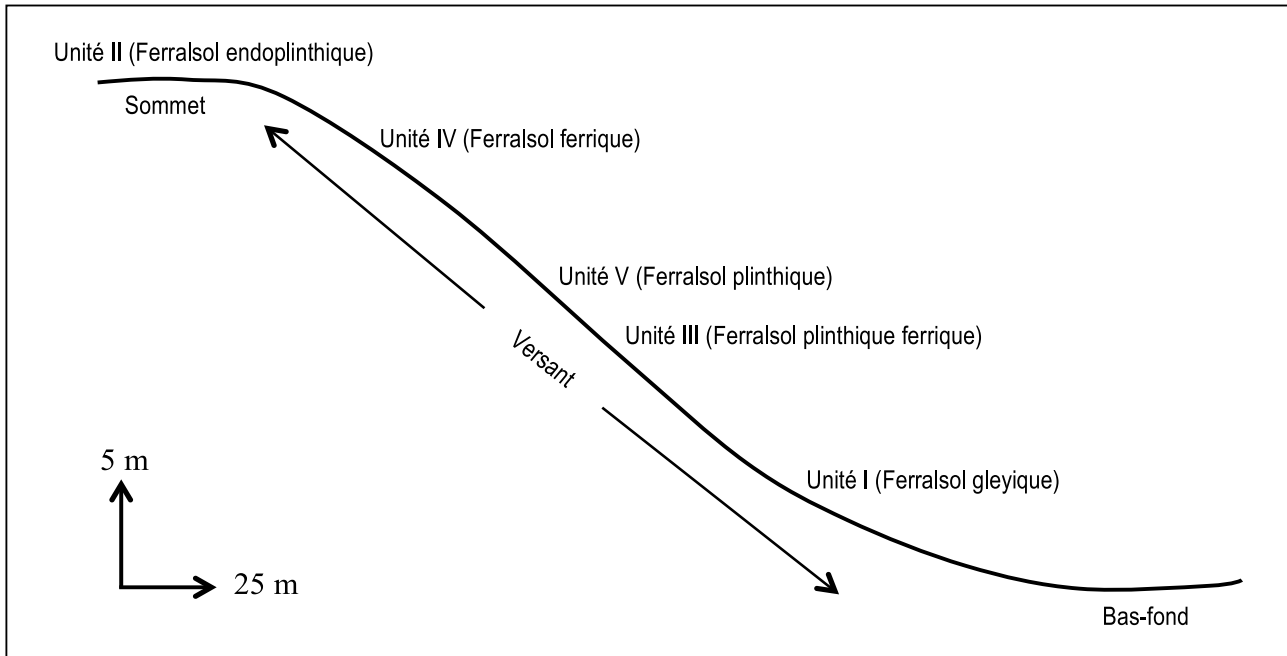
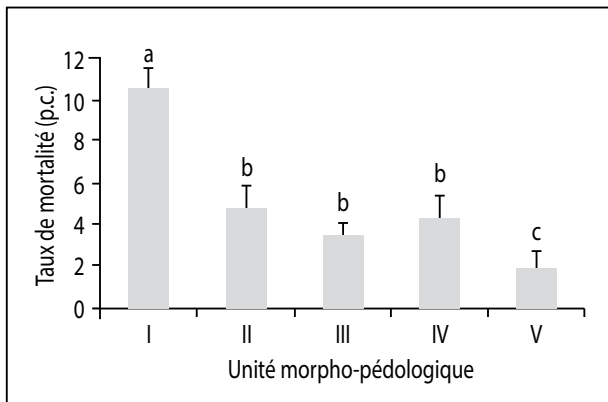
Figure 3 - Profils types des unités I, II, III, IV et V.

Figure 3 - Typical profiles of units I, II, III, IV and V.



En outre, les taux de mortalité de l'ananas sont liés à l'humidité du sol à la capacité au champ par des corrélations positives dans les couches 0-10 et 20-30 cm et négatives dans la couche 10-20 cm. Ceci montre que la mortalité de l'ananas augmente avec l'humidité du sol à la capacité au champ dans les deux premières couches sus-citées, et plus spécifiquement

dans la couche 20-30 cm. Il ressort de ces résultats que la sensibilité de l'ananas à l'humidité serait plus prononcée dans cette couche qui abrite la majorité de ses racines (Fournier et Cao-Van, 2008). Toutefois, la tendance à une préférence de l'ananas à l'humidité dans la couche 10-20 cm, exprimée à travers une baisse de la mortalité, conforte les résultats de l'IRFA (1987) se-

Figure 4 - Position topographique des unités morpho-pédologiques.**Figure 4** - Topographic position of morpho-pedologic units.**Figure 5** - Variation du taux de mortalité de l'ananas en fonction des unités morpho-pédologiques. Deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas selon le test de Newman-Keuls à $P = 0,05$.**Figure 5** - Variation of pineapple mortality rate according to morpho-pedologic units. Two averages with the same letter do not differ according to the Newman-Keuls test at $P = 0.05$.

lon lesquels, en Côte d'Ivoire, durant la phase d'enracinement des rejets, de 1 à 2 mois, une humidité suffisante du sol doit être maintenue. Par conséquent, la réalisation des apports d'eau par irrigation au cours des différentes phases de cycle de l'ananas reste délicate, car ses besoins en eau varient ainsi que sa sensibilité au déficit hydrique. C'est pourquoi, l'IRFA (1987) a préconisé la modulation de l'irrigation.

Toutefois, l'importance de ces résultats n'occulterait pas le fait que cette étude n'est qu'une ébauche d'autres à mener sur les relations entre les caractéristiques physiques et hydrodynamiques des sols et le développement des plantes d'ananas, dans les exploitations agricoles intensives en Côte d'Ivoire. Un nombre d'unités morpho-pédologiques supérieur à 5, avec différentes textures et teneurs en éléments grossiers du sol, conduirait à mieux apprécier l'impact de ces paramètres sur la mortalité de l'ananas. Des études similaires, dans d'autres exploitations, ici comme ailleurs, portant sur un nombre plus élevé de conductivités hydrauliques à saturation et de taux d'humidité à la capacité au champ, pourraient permettre de vérifier les résultats relatifs à la sensibilité de la culture d'ananas à l'humidité du sol.

CONCLUSION

L'étude a montré des corrélations entre les caractères physiques et hydrodynamiques des sols et la mortalité de l'ananas. Les taux de mortalité de l'ananas les plus élevés ont été observés dans les sols argilo-limoneux à argileux. Ces taux dimi-

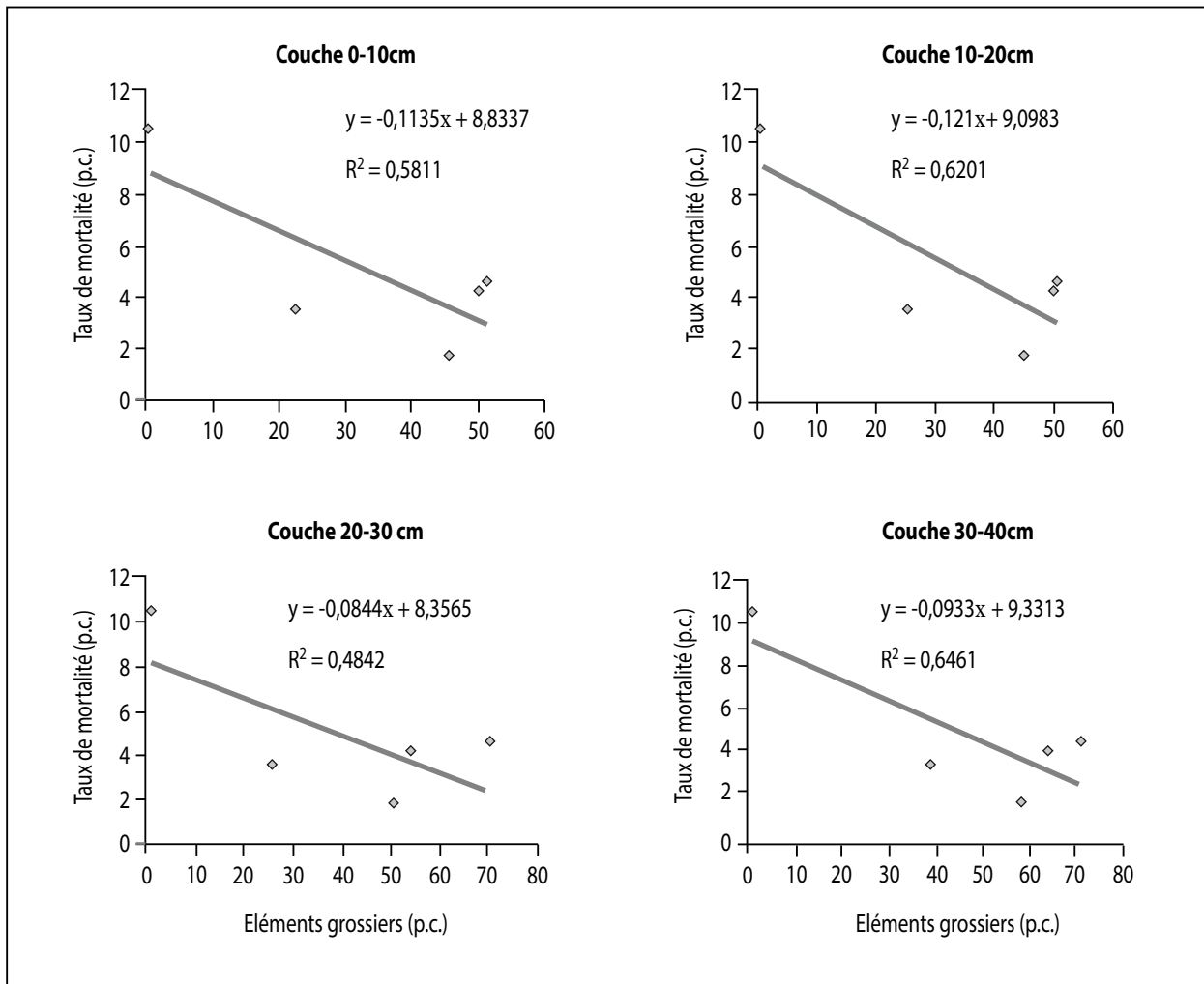
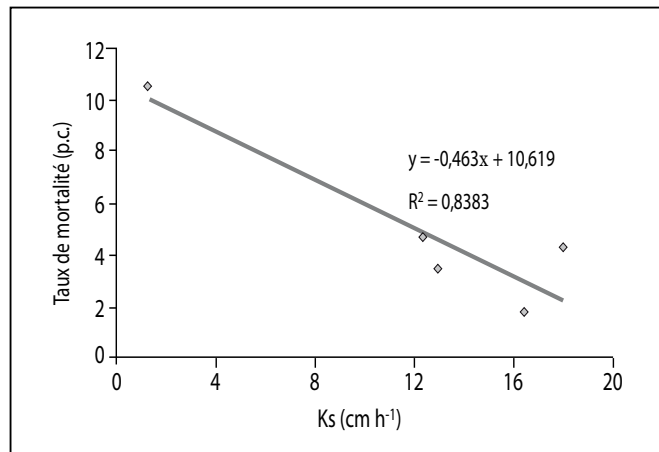
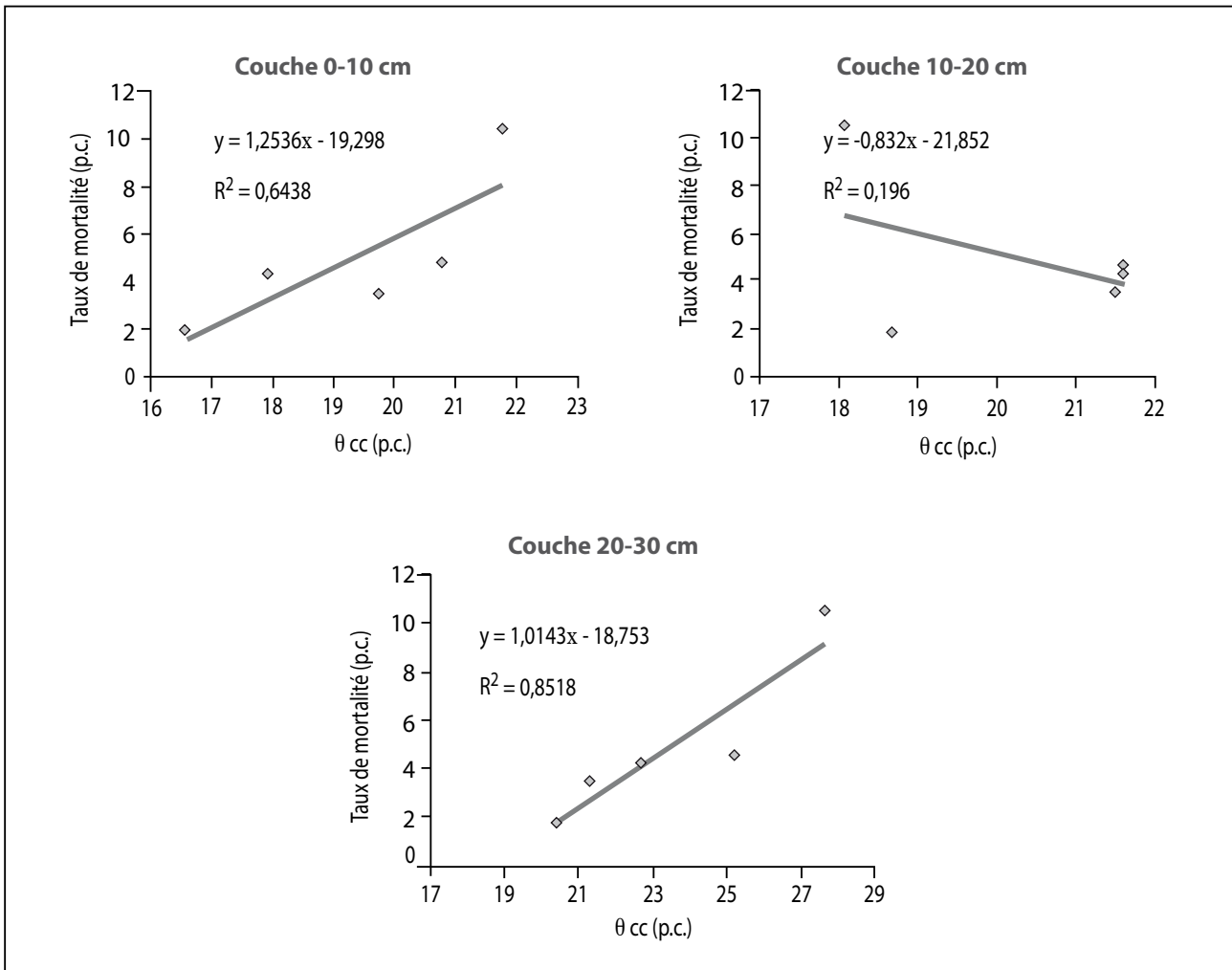
Figure 6 - Relation entre les teneurs en éléments grossiers et les taux de mortalité de l'ananas.**Figure 6** - Relationship between coarse elements contents and pineapple mortality rates.**Figure 7** - Relation entre la conductivité hydraulique du sol à saturation et les taux de mortalité.**Figure 7** - Relationship between soil saturation hydraulic conductivity and mortality rates.

Figure 8 - Relation entre l'humidité du sol à la capacité au champ et les taux de mortalité.**Figure 8** - Relationship between soil moisture at field capacity and mortality rates.

nuent avec les teneurs en éléments grossiers et la perméabilité des sols, et augmentent avec l'humidité du sol à la capacité au champ. Ainsi, ces résultats pourraient aider au choix des sols favorables à une production durable de l'ananas.

BIBLIOGRAPHIE

- Anderson J.M. et Ingram J.S.I., 1996 - Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods. Second edition. CAB International, 221 p.
- Anonyme, 2003 - Rapport annuel. Direction Départementale de l'Agriculture de Tiassalé. 24 p.
- Anonyme, 2009 - Présentation du Département de Tiassalé. Préfecture de Tiassalé. 6 p.
- Asio V.B., Cabunos C.C.Jr., Chen Z.-S., 2006 - Morphology, physiochemical characteristics, and fertility of soils from quaternary limestone in Leyte, Philippines. Soil Science 171: 648-661.
- Avenard J.M., 1971 - Aspects de la géomorphologie. In Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM, n° 50, Paris, 7-72 pp.
- Baize D., 2000 - Guide des analyses en Pédologie. 2e Edition, INRA, Paris, France. 266 p.
- Bamba S., 2000 - Maîtrise de l'irrigation dans le cadre d'une plantation industrielle d'ananas: Cas de la SPADI-SCB Tiassalé. Mémoire d'Ingénieur des Techniques Agricoles, Option Production Végétale. ESA - INP-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. 74 p.
- Batjes N.H., 2000 - SOTER Summary file for Central and Eastern Europe (SOVEUR Project, Version 1.0). FAO, ISRIC, 12 p.
- Boyer J., 1982 - Sols ferrallitiques, Facteurs de fertilité et utilisation des sols, Tome X, Eds. ORSTOM, Paris, France. 384 p.
- Cabot L.C., 1990a - Prospection sur l'ananas au Vénézuéla. Fruits 45: 251-264.
- Fournier P. et Cao-Van P., 2008 - La culture de l'ananas Victoria à la Réunion pour l'exportation. Recueil de bonnes pratiques. CIRAD, Réunion. 12 p.
- Herman S., Mertens J., Timmerman A., Feyen J., 2003 - Comparison of tension infiltrometer, single-ring infiltrometer and soil core Ksat estimates on a sandy loam hill slope. Geophysical Research Abstracts 5: 26-62.

- IRFA, 1987 - Nutrition minérale et hydrique. *Fruits* 42: 658-688.
- Malézieux E., 1990 - Répartition et évolution du déficit hydrique dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Application à la culture de l'ananas. *Fruits* 45: 457-468.
- Malézieux E., Coté F.X., Delvaux B., Hugon R., Sarah J.L., Lacoëuille J.J., 1991 - Les relations entre la plante et le milieu chez l'ananas: quelques approches suivies. *Fruits* 46: 323-336.
- Mc Garry D., Bridge B.J., Radford B.J., 2000 - Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of alluvial soil in the semiarid subtropics. *Soil and Tillage Research* 53: 105-115.
- Moreau R. et Godefroy J., 1985 - Problèmes des zones tropicales et équatoriales forestières. *C.R. Acad. Agr. de France* 71: 1169-1179.
- Pachepsky Y. and Rawls W.J., 2003 - Soil structure and pedotransfer function. *European Journal of Soil Science* 54: 443-451.
- Perraud A., 1971 - Les sols. *In* Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM, n° 50, Paris, 265-391.
- Pieri C., 1985 -- Les perspectives d'intensification de la productivité des terres dans les zones de savanes intertropicales. *C.R. Acad. Agr. de France* 71: 1169-1179.
- Poszwa A., 2007 - Propriétés physiques et états hydriques des sols. LIMOS-UHP Nancy, 14 p.
- Radford B.J., Bridge B.J., Davis R.J., Mc Garry D., Pillai U.P., Rickman J.F., Walsh P.A., Yule D.F., 2000 - Changes in the properties of a vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. *Soil and Tillage Research* 54: 155-170.
- Ruy S., 1999 - Conductivité hydraulique proche de la saturation par la méthode de l'infiltromètre à disque sous succion. Fiche de protocole. INRA Avignon, Unité de Science du Sol, France. 5 p.
- Saber N. et Mrabet R., 2002 - Influence du travail du sol et des rotations de cultures sur la qualité d'un sol argileux gonflant en milieu semi-aride marocain. *Etude et Gestion des sols* 9: 43-52.
- Soltner D., 2003 - Les bases de la production végétale. Le sol et son évolution. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23^e Edition, Tome I, 472 p.
- Tian J.F., 2009 - Comparaison de différentes techniques de travail du sol en agriculture biologique: effet de la structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse de Doctorat en Agronomie, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), Paris, France. 171 p.
- Vagen Tor-G., 2011 - The Land Degradation Surveillance Framework. Field Guide. World Agroforestry Centre (ICRAF) and International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). 14 p.
- Velly N., 2000 - Etude des méthodes d'interprétation des essais d'infiltration in situ dans les sols non saturés. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France. 217 p.
- Wambeke V.A., 1995 - Sols des tropiques: Propriétés et Appréciations. CTA et Huy Trop ASBL, 335 p.

