



Rémi Asensio,
Sonia Minatchi,
Raphaël Achard,
Paula Fernandes

L'activité enzymatique, un indicateur simple et fiable pour prévoir l'impact des pratiques culturales sur la qualité des sols

L'intensification des zones cultivées est largement reconnue comme l'une des altérations anthropiques les plus significatives sur l'environnement et la qualité des sols (Garcia-Ruiz et al 2009). Cette qualité se définit non seulement par sa capacité productive mais aussi par ses services écosystémiques (Trasar-Cepeda et al 2008). Le sol, unité vivante, intègre des propriétés biochimiques et biologiques qui sont liées principalement aux activités microbiennes du sol. Ces populations de micro-organismes interviennent notamment dans la décomposition des matières organiques présentes ou ajoutées dans le sol. Les micro-organismes (bactéries et champignons) sont la principale source d'enzymes dans le sol. Ces enzymes sont les médiateurs et les catalyseurs de processus biochimiques importants dans le fonctionnement du sol tels que la minéralisation et le cycle des nutriments, la décomposition et la formation de la matière organique et la décomposition de xénobiotiques tels que les pesticides. Les enzymes sont sensibles aux changements de la qualité du sol dus à des gestions et des utilisations différentes des sols (Tejada et al. 2009, Acosta-Martinez et al. 2007, Balota et al. 2004). L'étude des activités enzymatiques est une nouvelle approche permettant de caractériser l'effet des systèmes de cultures sur le fonctionnement du sol. Par conséquent, l'étude des activités enzymatiques des sols participe à la définition de systèmes de culture plus respectueux des fonctions des sols en participant in fine à (i) l'estimation du potentiel biologique d'une unité pédoclimatique, (ii) la comparaison de l'activité biologique de différents systèmes de cultures sur une même unité pédologique, (iii) l'appré-

ciation de l'impact des pratiques culturales sur la qualité du sol et (iv) l'anticipation des changements de la qualité du sol avant qu'ils ne puissent être détectés par d'autres analyses du sol. L'évaluation des activités des enzymes du sol est une méthode plus simple et moins coûteuse que les analyses biochimiques classiques évaluant le fonctionnement biologique des sols (Acosta-Martinez et al 2007). Les résultats obtenus dans de nombreuses zones géographiques montrent que les mesures d'activité enzymatique sont bien corrélées aux autres propriétés du sol (Klose et al 1999). De plus, cette méthode est sensible aux changements dans la gestion et l'utilisation du sol (Acosta-Martinez et al 2007). Des études précédentes avec des sols de régions diverses ont montré que les activités enzymatiques sont sensibles à des pratiques culturales telles que le labour (Melero et al 2009, Jin et al 2009). La majorité des recherches concernant les acti-

Figure 1 : Localisation géographique des sites étudiés au sein des différentes unités pédologiques de la Martinique.

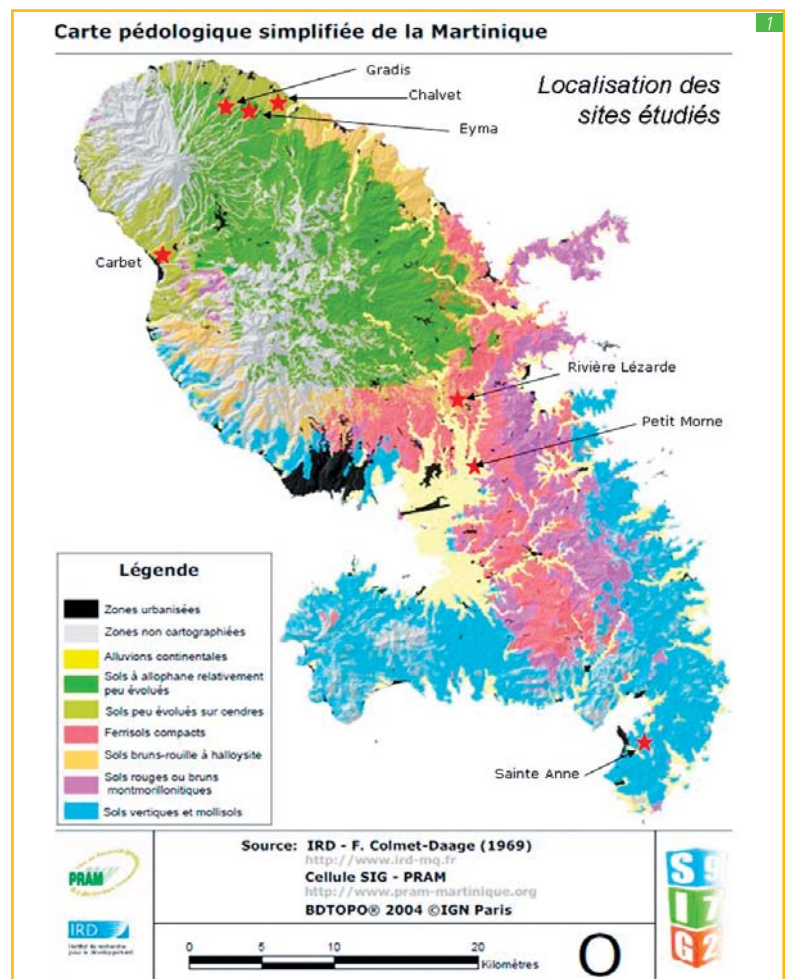


Tableau 1 :
Caractérisation
pédologique des sites
étudiés.

Nom du site	Type de sol
Carbet	Sol peu évolué sur cendre
Chalvet	Sol peu évolué sur cendre
Eyma	Sol à allophane peu évolué
Gradis	Sol à allophane peu évolué
Petit Morne	Sol alluvionnaire argileux
Rivière Lézarde	Sol brun rouille à halloysite
Sainte Anne	Sol vertique

vités enzymatiques se sont concentrées jusqu'à présent sur les régions tempérées. Il y a peu de données relatives au milieu tropical (Acosta-Martinez et al 2007). Cette étude vise à enrichir les connaissances sur le sujet en milieu tropical et à établir un référentiel pour cet indicateur de la qualité des sols.

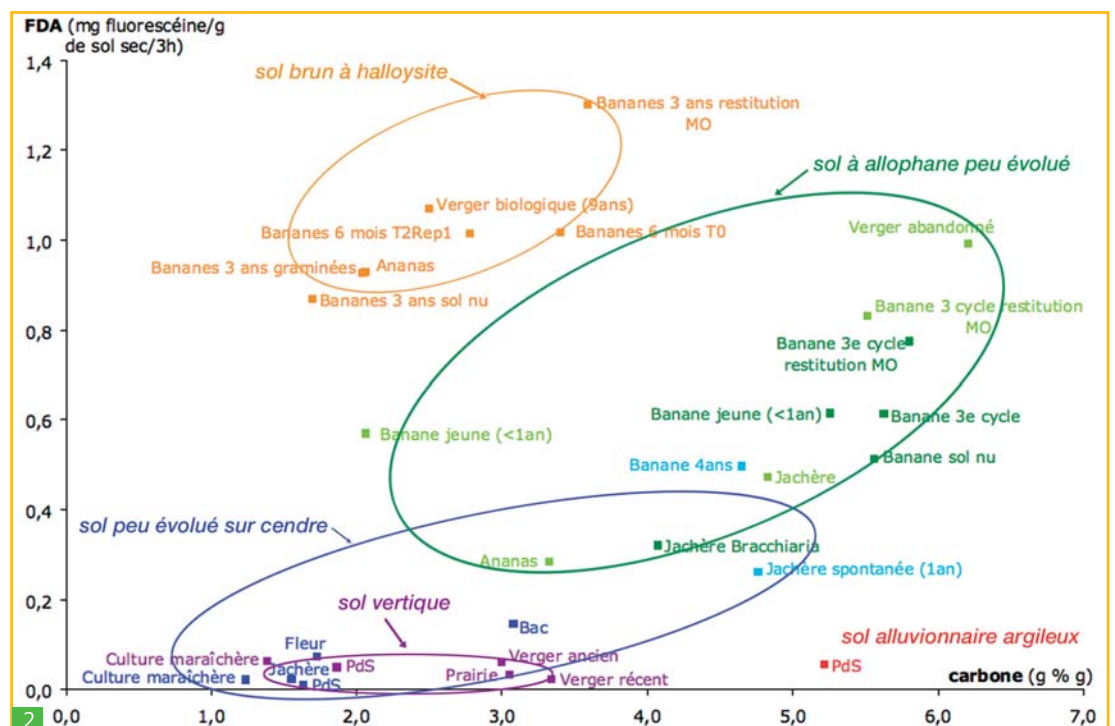
La Martinique présente une typologie diversifiée des sols associés à des microclimats spécifiques. Dans le cadre de cette étude, 7 sites ont été sélectionnés afin d'assurer une étude représentative des principaux types de sols cultivés de la Martinique (tableau 1 et figure 1). Pour chaque site, des échantillons de sols ont été prélevés dans différentes parcelles correspondant à des systèmes de cultures variés et représentatifs des cultures rencontrés en Martinique. Nous avons mesuré pour chaque échantillon leurs propriétés physico-chimiques (pH, Capacité d'Echanges Cationiques, carbone et azote total) et biologiques (mesure des activités enzymatiques β glucosidase (β -glucosidase), arylsulfa-

tase (Aryl), chitinase (Chit) et fluorescéine di acétate (FDA).

S'il existe de nombreuses enzymes dans les sols, toutes représentatives d'un ou plusieurs des multiples processus biologiques qui se déroulent dans les sols, les dosages d'enzymes que nous avons sélectionnés et adaptés sur nos sols au sein du Laboratoire de Biologie des Sols du PRAM représentent les fonctions ci-dessous :

- La *β glucosidase* (Bglu) est impliquée dans l'étape finale de la dégradation de la cellulose pour fournir d'importantes sources d'énergies glucidiques aux micro-organismes du sol. La littérature indique que cette enzyme met en évidence les apports de matière organique dans le sol et les effets de la gestion du sol (brûlis, fertilisation, labour).
- L'*arylsulfatase* (Aryl) est utilisée pour étudier la minéralisation du soufre organique dans les sols mais cette enzyme semblerait aussi représenter un sous-groupe de champignons antagonistes des pathogènes telluriques et pourrait de fait être un indicateur de suppressivité. Il est également mentionné que l'activité de cette enzyme est sensible à la rotation culturale, au labour et à la gestion des résidus de cultures.
- La *chitinase* (Chit) concerne la dégradation de la chitine dans les sols, un sous-produit de la décomposition des arthropodes et des champignons en glucides et en azote non organiques. L'activité de cette enzyme correspond aussi à l'une des principales sources d'azote minéralisable.

Figure 2 : Croisement des résultats de l'activité de la FDA avec le carbone total - campagne exploratrice des sols en Martinique





- L'hydrolyse de la fluorescéine di acétate (FDA) est un bon estimateur de l'activité microbienne totale car elle est réalisée par de multiples enzymes produites par les champignons comme les bactéries. C'est un indicateur généraliste du fonctionnement biologique du sol. L'ajout de compost et de fertilisant non organique notamment stimulent l'activité de la FDA.

Afin de comparer les différentes activités nous avons utilisé le test statistique Kruskal-Wallis (confiance fixée à 5%).

Les activités enzymatiques permettent de distinguer les unités pédologiques et leurs usages

- **Comparaison des niveaux d'activité enzymatique en fonction des sites étudiés : cas de la FDA**

Les mesures de l'hydrolyse de la FDA permettent de distinguer significativement les 5 différentes unités pédologiques étudiées (Figure 2). Les différences supposées entre chaque type de sol ont été confirmées statistiquement ($P = 0,028$). Ce résultat confirme les informations décrites par la littérature qui montrent une variation dans l'expression des activités enzymatiques en fonction de la nature du sol (Acosta-Martinez et al 2007). Cette distinction révèle un potentiel d'activité biologique qui est différent selon le statut pédo-climatique des sites considérés. Nous avons obtenu des réponses identiques avec les autres

enzymes β glucosidase, chitinase et arylsulfatase. En effet, chacune de ces enzymes permet de définir un potentiel biologique distinct et associé à une zone pédo-climatique.

- **Comparaison des niveaux d'activité enzymatique en fonction des systèmes de cultures**

Afin de tester la sensibilité de la mesure des activités enzymatiques au type de systèmes de cultures, nous avons effectué des mesures sur deux sites homogènes au niveau pédologique mais présentant une large gamme de systèmes de culture. Le site de Rivière Lézarde est une station expérimentale du CIRAD. Installé sur un sol brun-rouille à halloysite, un ensemble de cultures expérimentales comportant différentes modalités de mise en place et de gestion nous a permis d'effectuer un large échantillonnage. Le site de Gradis correspond à une exploitation agricole dont la principale culture est la banane sur sol à allophane peu évolué. Nous avons sélectionné ce site car il intègre des systèmes de cultures diversifiés : banane, ananas, jachère et verger abandonné.

La figure 3 présente la variation de l'expression de la β glucosidase sur la station de Rivière Lézarde selon chaque système de culture. Nous avons étudié sept types de systèmes de culture : un verger biologique comprenant une plante de couverture (*Arachis pitoï* cv. amarillo) installé depuis neuf ans ; une jeune parcelle d'ananas (moins d'un an) ; une bananeraie de trois ans

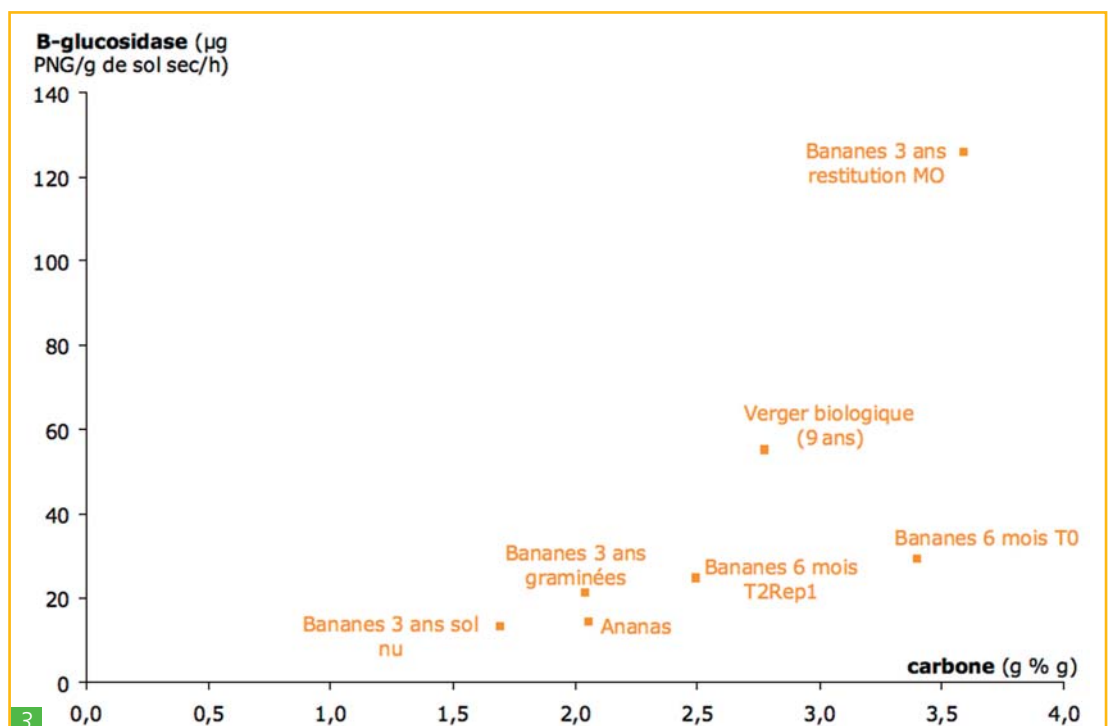


Figure 3 : Croisement des résultats de l'activité de la β glucosidase avec le carbone total - cas Rivière Lézarde

comportant trois différentes modalités d'entretien de la couverture du sol (sol nu, couvert végétal à base de graminées et paillage avec les résidus de culture) ; une jeune bananeraie de six mois présentant deux modalités de fertilisation (fertilisation, impasse).

Les différences observées entre les sept systèmes de cultures sont significatives ($P = 0,003$). Le système de culture «Bananes 3 ans restitution MO» correspond au plus haut niveau d'activité de la β glucosidase observé à Rivière Lézarde. Ce haut niveau résulte de la relative ancienneté de la dernière perturbation du sol et aussi d'apports réguliers en matière organique via les importants volumes des résidus de culture. Pour le «verger biologique 9 ans», malgré une certaine ancienneté de la dernière perturbation du sol, les apports en matière organique de la plante de couverture sont relativement faibles, ce qui conduit une activité β glucosidase inférieure à «Bananes 3 ans restitution MO». Lorsque nous considérons le couple « Bananes 3 ans sol nu » et «Bananes 3 ans graminées», il s'agit des systèmes de culture avec lesquels l'activité de la

l'activité biologique du sol. Le couple «Bananes 6 mois T0» et «Bananes 6 mois T2rep1» présente aussi une activité β glucosidase relativement faible car le travail du sol de ces parcelles est récent. Pour autant, le niveau en carbone est plus élevé que pour les systèmes «Bananes 3 ans sol nu», «Bananes 3 ans graminées» et «Ananas» car les parcelles «Bananes 6 mois T0» et «Bananes 6 mois T2 rep1» ont été installées sur un précédent jachère.

La **figure 4** présente la variation de l'expression de l'Arylsulfatase sur la station Gradis selon chaque système de culture. Une bananeraie au 3^e cycle avec restitution des résidus de culture, une très jeune bananeraie avec apport de fumier, une culture d'ananas, une jachère à faible productivité et un verger abandonné (dont le fonctionnement est proche d'une pseudo-forêt) sont les systèmes de cultures étudiés sur ce site. Les différences observées entre chaque système de culture sont significatives ($P \leq 0,0001$). Le plus haut niveau d'activité observé correspond à «verger abandonné». Cette parcelle, devenue

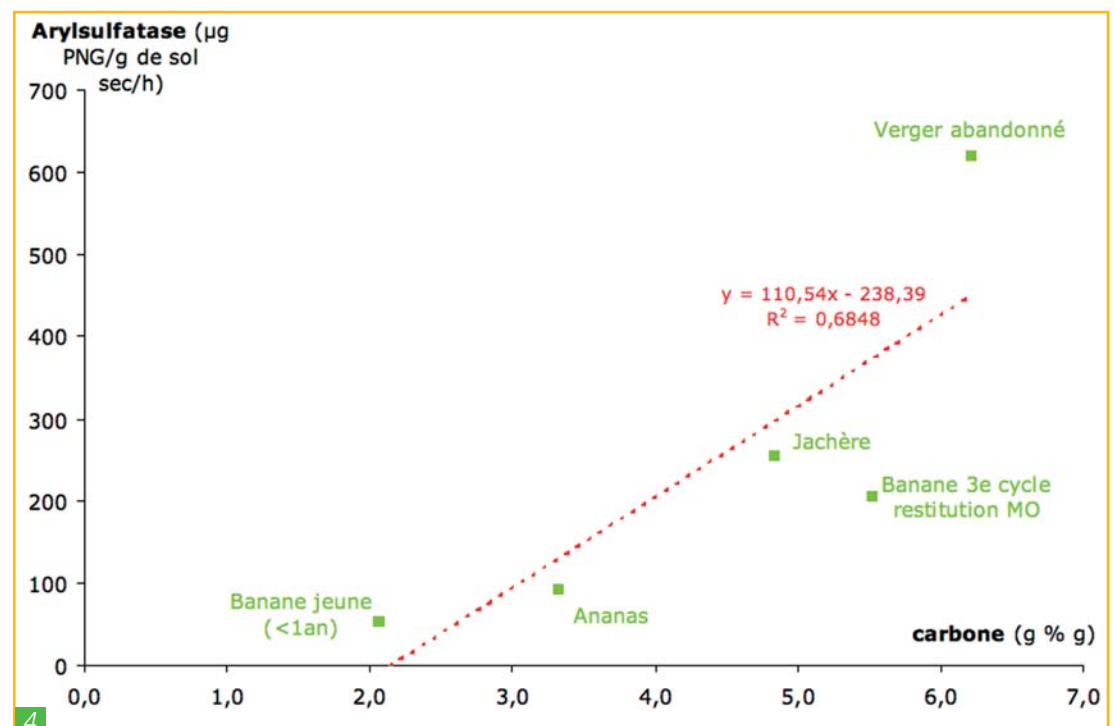


Figure 4 : Croisement des résultats de l'activité de l'arylsulfatase avec le carbone total - cas Gradis

β glucosidase est la plus faible. Bien que la dernière perturbation sur ces parcelles «banane» soit d'au moins 3 ans, les apports en matière organique sont très faibles et ne permettent pas une activité enzymatique importante. La parcelle « Ananas » présente aussi une activité β glucosidase faible. Cette jeune parcelle a subi un travail du sol récent qui a fortement perturbé

une «pseudo-forêt» n'a pas subi de perturbation du sol depuis au moins 10 ans et les apports en matière organique sont réguliers et importants (création d'une litière forestière) ; ce qui explique l'importance de l'activité Aryl et du taux de carbone. «Banane jeune (<1an)» est une parcelle dont la dernière perturbation du sol est très récente. Malgré des apports en fumier ob-



servés au pied des bananiers, le fonctionnement biologique du sol a été déstabilisé, l'activité Aryl est la plus faible de toutes celles observée sur le site de Gradis. La parcelle «Ananas» présente une activité Aryl faible car il s'agit d'une parcelle dont le travail du sol est récent. Le couple «Jachère» et «Banane 3^e cycle restitution MO» présente des activités Aryl plus élevées que les deux systèmes de cultures précédemment décrits car les perturbations sont plus anciennes.

Conclusion

Cette étude des activités enzymatiques révèle que la mesure de ces indicateurs biologiques du sol est un outil pertinent pour caractériser le potentiel biologique de différentes unités pédoclimatiques. L'arylsulfatase, la β glucosidase, la chitinase et la fluorescéine diacétate ont permis de distinguer clairement des niveaux d'activités associés à chaque unité pédoclimatique. Ces résultats constituent un premier référentiel des potentiels biologiques des sols cultivés en Martinique.

Pour une unité pédoclimatique en particulier, la mesure des activités enzymatiques est perti-

nente pour discriminer différents systèmes de cultures. L'impact des pratiques agricoles sur un site donné peut ainsi être apprécié et caractérisé à l'appui de la connaissance de l'historique des pratiques agricoles exécutées. Les cas présentés ont mis en évidence l'impact du travail du sol sur l'activité biologique. Le temps écoulé après ce type de perturbation joue un rôle important dans le retour d'une activité biologique satisfaisante. De plus, la fréquence et la quantité des entrées de matière organique contribuent à l'évolution des niveaux d'activités enzymatiques observés.

Dans le cadre de la caractérisation et de l'optimisation des systèmes de cultures, en vue d'une durabilité des pratiques agricoles, la mesure des activités enzymatiques est donc un indicateur à prendre en compte. Cet indicateur complète les paramètres physico-chimiques couramment utilisés pour les conseils en matière de gestion des cultures. Aujourd'hui, la sensibilité de cet indicateur en relation avec sa précocité pour détecter les évolutions reste à être mieux évaluée afin de valider toutes les fonctions de cet indicateur de la biologie du sol.