Table des matières

Introduction 1

Partie 1 : Etat de l'art 2

I. Le contexte de l'étude : des enjeux majeurs 2

1. Enjeu environnemental 2

2. Enjeu Agronomique 3

II. Le cycle du carbone 4

1. La séquestration du carbone 5

2. La minéralisation du carbone 6

III. Les facteurs de variation des stocks de carbone dans les sols agricoles réunionnais 6

1. Les facteurs abiotiques : le contexte pédoclimatique de La Réunion 7

i. Le volcanisme à l'origine de la géologie et de la topographie 7

ii. Le climat 8

iii. La pédologie 10

2. Les facteurs anthropiques 12

i. L'occupation des sols 12

ii. Les pratiques culturales 13

IV. Objectifs et questions de recherche 15

1. Le projet C@RUN: objectifs et premiers résultats 15

2. Questions de recherche 16

Partie 2 : Stratégie méthodologique 17

I. Choix des situations 17

1. Enquêtes auprès des agriculteurs 17

2. Prise de contact et contenu de l'enquête 18

II. Mesure de la densité apparente des sols 18

1. Méthode de référence 19

2. Méthode simplifiée 20

II. Mesure de la teneur en carbone des sols 20
III. Traitement des données 20
1. Résultats d'enquête 20
2. Calcul des stocks de carbone des sols 21
3. Présentation des analyses 21
i. Analyses descriptives 21
ii. Analyses de variances 22
IV. Exploration de la base de données LIMS 22
Partie 3 : Résultats 24
I. Exploration de la base de données LIMS 24
1. Présentation des sites de prélèvements 24
2. Hiérarchisation des déterminants du carbone dans les sols 25
3. Impact des variables explicatives d'intérêt sur les teneurs en carbone 25
II. Enquêtes sur les pratiques culturales des agriculteurs 27
1. Répartition des situations et attribution de paires 27
2. Résumé des résultats d'enquête 28
III. Variation des stocks de carbone et de ses composantes 28
1. Variation des densités apparentes 28
2. Variation des teneurs en carbone 30
3. Variation des stocks de carbone 31
Partie 4 : Discussion 33
I. Hiérarchisation des déterminants du carbone - Base de données LIMS 33
II. Densités apparentes 34
III. Teneurs en carbone 36
IV. Stocks en carbone 36
V. Discussion du protocole 37
Conclusion 39

Table des figures

Figure 1: Fonctions de la matière organique du sol 3

Figure 2: Cycle du carbone 4

Figure 3: Carte de l'île de la Réunion 7

Figure 4: Carte des normales de pluviométrie à la Réunion 8

Figure 5: Carte des températures moyennes de la Réunion (°C) 9

Figure 6: Evolution des émissions de CO2 du sol sous canne à sucre en fonction de son humidité. Comparaison de deux traitements : sans travail du sol (NT) et avec travail du sol (CT) 9

Figure 7: Carte simplifiée des sols de la Réunion 10

Figure 8: Impact de l'occupation des sols et des pratiques culturales sur les teneurs en carbone des sols 14

Figure 9: Schéma des prélèvements de sol par la méthode des cylindres 19

Figure 10: Localisation des échantillons de la base de données LIMS par culture en fonction des grands types de sols réunionnais 24

Figure 11: Importance relative des variables du sol par rapport à la teneur en carbone des échantillons (%) 25

Figure 12: Distribution des teneurs en carbone sur 0-30 cm en fonction des types de sol 25

Figure 13: Distribution de la teneur en carbone des sols andiques perhydratés sur 0-30 cm en fonction de l'occupation du sol 26

Figure 14: Distribution de la teneur en carbone des sols andiques non perhydratés sur 0-30 cm en fonction de l'occupation du sol 26

Figure 15: Répartition des sites de prélèvements sur les grands types de sols réunionnais 27

Figure 16: Courbes de densités apparentes sur 0-40 cm par situation et par type de sol 29

Figure 17: Courbes de teneurs en carbone sur 0-40 cm par situation et par type de sol 30

Figure 18: Stocks en carbone organique des sols sur 0-40 cm à profondeurs équivalentes en fonction du type de sol et de son occupation 31

Figure 19: Impact du labour sur les propriétés physiques du sol: horizons, densité apparente et masse 37

Table des tableaux

Tableau 1: Récapitulatif des résultats d'enquête sur les pratiques culturales 28

Table des abréviations

[C] : teneur en carbone

Δ : delta

*** :** résultat p-value peu significatif

****:** résultat p-value significatif

*****:** résultat p-value très significatif

ANA : ananas

ANOVA : ANalysis Of VAriance

AP : andique perhydraté

ANP : andique non perhydraté

B : brun

BA : brun andique

BDD : base de données

C : carbone

CAN : canne à sucre

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CH_4 : méthane

CO_2 : dioxyde de carbone

CO_3^{2-} : carbonate

DA : densité apparente

DAAF : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

DOM : département d'outre-mer

ET : écart-type

F : ferralitique

FRI : friche

GES : gaz à effet de serre

GIEC : Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

Gt : gigatonnes

HortSys : fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles

LIMS : Laboratory Information Management System

M : moyenne

MAR : maraîchage

MEA : Millennium Ecosystem Assasment

MO : matière organique

MOF : matière organique fraîche

MOS : matière organique du sol

MOT : matière organique transitoire

N : azote

N2O : protoxyde d'azote

P : phosphore

ppm : parties par million

PRA : prairie

S : soufre

SCO : stock de carbone organique

SES : services écosystémiques

STIPA : Système de Transfert de l'Information Pédologique et Agronomique

t : tonne

UR AIDA : Unité de Recherche Agroécologie et Intensification Durable des cultures Annuelles

V : vertique

Glossaire

Biosphère : ensemble des écosystèmes terrestres, dans la lithosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère

Lithogénétique : relatif à la formation des roches

Lithosphère : correspond à la croûte terrestre, l'enveloppe rigide à la surface de la terre

Pédogénétique : relatif à la formation des sols

Pyroclastite : Bloc de lave solidifié lors de l'éruption d'un volcan

Introduction

Le changement climatique est aujourd'hui incontestable. Les activités anthropiques, en grande partie responsables, causent la libération de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, en plus grandes quantités chaque année. Le CO_2 représente à lui seul 50% des émissions de ces GES, ce qui en fait, selon le GIEC, le principal déterminant du changement climatique. Les quantités de carbone atmosphérique ont en effet augmenté de 30% ces 150 dernières années et menacent d'atteindre un seuil critique, au-dessus duquel les conséquences du dérèglement climatique serraient étendues et irréversibles pour la planète et l'humanité : pénuries alimentaires, ressources en eau restreintes… Des solutions existent cependant pour limiter ce dérèglement. L'une d'elles, propulsée par l'initiative 4 pour 1000 (Ministère de l'Agriculture, 2015), consiste à séquestrer du carbone atmosphérique dans les sols agricoles mais également à maintenir le réservoir de carbone organique existant dans les sols.

Même si certains sols agricoles sont déjà saturés en carbone, il semblerait que les pratiques culturales telles que les restitutions de matières organiques, la limitation du travail du sol ou du trafic au champ constituent un levier important permettant de maintenir ou d'augmenter les stocks de carbone dans le sol (JARECKI & LAL, 2003 ; BLANCHART, 2002). Son augmentation permettrait par ailleurs de conserver voire d'améliorer la fertilité physique, chimique et biologique des sols (BALDOCK & SKJEMSTAD, 1999), indispensables à la productivité et la durabilité d'une parcelle.

De par la diversité de ses types de sols, d'origine volcanique, de ses climats et de ses productions agricoles, très inégales en termes de stockage du carbone, La Réunion est un site particulièrement adapté pour étudier les facteurs de variation du carbone organique. De plus, les données sur les bilans de GES dans les pays tropicaux en général et dans les DOMs en particuliers sont rares (MARTIN *et al.,* 2011) et la nécessité de pallier ce manque de connaissances est grande afin de pouvoir enclencher des politiques agricoles en faveur de la protection des sols et de la séquestration du carbone.

Le projet C@RUN (CIRAD, UR Aïda) a pour objectif de combler cette lacune en spatialisant les stocks de carbone dans les sols réunionnais, en prenant en compte les variations spatiales et temporelles dues aux types de sols et à leurs modes d'usage. Le but du présent travail est donc d'étudier l'impact des pratiques culturales maraîchères, souvent jugées défavorables à la séquestration du carbone, sur les stocks en carbone des sols de La Réunion (CIRAD, 2015). Pour ce faire, les stocks de carbone de situations maraîchères (cultures légumières et ananas) seront calculés à partir des mesures *in-situ* de densités apparentes (DA) et de teneurs en carbone ([C]) et comparés à des cultures saturées en carbone : la canne à sucre et la prairie (ROSIES, 2016). En parallèle, des enquêtes sur les pratiques culturales maraîchères seront réalisées et permettront d'expliquer les variations de carbone et de DA observées.

Partie 1 : Etat de l'art

I. Le contexte de l'étude : des enjeux majeurs

1. Enjeu environnemental

La quantité de carbone dans l'atmosphère n'a cessé d'augmenter depuis la révolution industrielle (19ème siècle), passant de 280 ppm (parties par million, soit 280 molécules de CO_2 pour mille d'air) à l'ère préindustrielle à 310 ppm en 2001 (LAL, 2001). De plus, les cent cinquante dernières années ont été marquées par une augmentation de 30% de la quantité de carbone dans l'atmosphère, sous l'effet des émissions grandissantes de gaz à effet de serre (GES) comme le CO_2 et le CH_4. Si la quantité de carbone atmosphérique augmente, c'est parce qu'elle diminue dans les autres réservoirs de la biosphère : par la combustion des composés fossiles dans la lithosphère; la déforestation et les feux de forêts dans le compartiment biotique ou encore la mise en culture et d'autres activités anthropiques dans le compartiment « sol » (SPARKS, 2003). En 2006 par exemple, il a été montré que les activités agricoles et sylvicoles étaient responsables de 19% environ des émissions brutes de GES en France (CITEPA, 2008).

La hausse des températures dans l'atmosphère, due à l'augmentation des quantités de ces GES, causerait une probabilité importante d'impacts graves, étendus et irréversibles tels que des sècheresses, inondations, pénuries alimentaires, diminution de la ressource en eau et altération de sa qualité… Dans le but de limiter ce changement climatique, la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique et son protocole de Kyoto vise à stabiliser voir réduire les émissions de GES dans l'atmosphère à un niveau permettant d'empêcher l'augmentation des températures et de limiter les perturbations sur les activités humaines (UNFCCC, 2014).

Il existe d'ailleurs de nombreuses façons de réduire la quantité de CO_2 dans l'atmosphère, notamment en limitant l'utilisation des combustibles fossiles, au profit des énergies renouvelables comme l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, ou encore, grâce à la séquestration du carbone dans les sols (SPARKS, 2003). En effet, la réserve en carbone organique des sols est d'une capacité d'approximativement 2 400 gigatonnes (Gt) pour 2m de profondeur, soit près de trois fois la réserve de carbone atmosphérique et plus de quatre fois la réserve biotique (CALVET *et al.,* 2011). En plus du carbone organique, les sols disposent d'une réserve de carbone inorganique à hauteur de 700-750 Gt sous forme de carbonates (CO_3^{2-}) lithogéniques ou pédogénétiques. Ces carbonates permettent en moyenne la séquestration de 0,25 Gt C /ha/an (Sparks, 2003).

Par conséquent, les sols représentent une clé pour le stockage du C atmosphérique, grâce au cycle du carbone et à leur rôle de puits de C. C'est d'ailleurs un des principes de base de l'initiative « 4 pour 1000 », lancé en 2014 par le ministère de l'agriculture lors de la COP21. Il y est proposé

Rapport-Gratuit.com

d'augmenter la séquestration du C de 0,4% par an pour compenser les émissions de CO_2 dues aux activités humaines (Ministère de l'Agriculture, 2015).

2. Enjeu Agronomique

En outre l'importance de diminuer les quantités de CO_2 dans l'atmosphère pour limiter le réchauffement climatique, le maintien, voire l'augmentation des stocks de carbone dans les sols sont aussi fondamentaux pour assurer la production durable des cultures. En effet, le carbone organique des sols est considéré comme l'indicateur le plus important de la qualité des sols, de leur santé et de leur durabilité agronomique. De plus, c'est le principal constituant de la matière organique du sol (MOS), MOS qui a d'importants impacts sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (BATIONO *et al.,* 2015). En effet, la diminution de la MOS dans les horizons de surface des sols peut avoir des effets dramatiques sur la capacité de rétention d'eau du sol, sur la stabilité structurale et la compaction, la fourniture et le stockage des nutriments et sur la vie biologique du sol (SOMBROEK *et al.,* 1993). Depuis des siècles, de nombreux systèmes de production comptent sur la MOS pour maintenir leurs productions. Cependant, avec l'adoption grandissante des systèmes intensifs, la dégradation des paysages et le changement climatique, la quantité de MOS a rapidement décliné, menaçant ainsi la production durable des systèmes. C'est ainsi que dans les 25 dernières années, un quart des surfaces cultivables de la planète a subi un déclin de productivité et de capacité de fourniture de services écosystémiques (SES) à cause des pertes de C organique (BAI, et al., 2008). En contexte tropical, la situation est aggravée puisque les sols sont déjà appauvris et que l'exploitation agricole des terres ne permet pas de restitutions suffisantes de MO. Ainsi, il est généralement admis par la communauté scientifique que 2% de C organique dans le sol (soit 3,5% de MO) est le seuil critique pour les sols tempérés en dessous duquel leur qualité peut être amoindrie (LOVELAND & WEBB, 2003). L'importance de cette MO pour les propriétés du sol est résumée dans la figure 1.

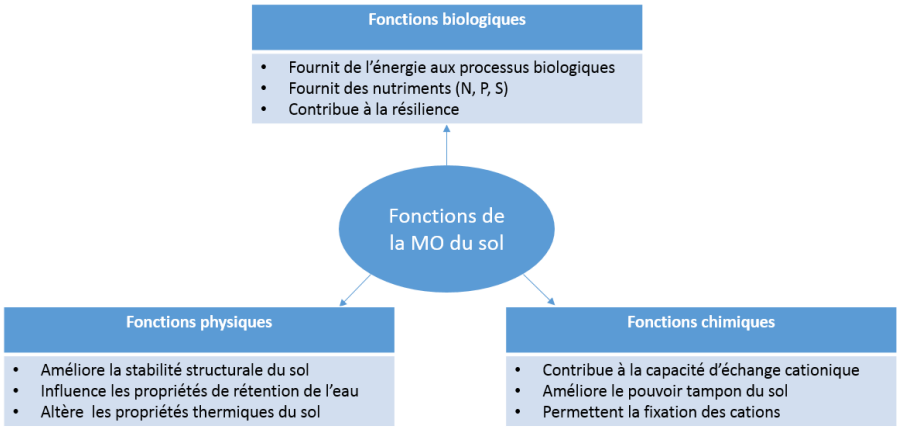


Figure 1: Fonctions de la matière organique du sol (adapté de BALDOCK & SKJEMSTAD, 1999)

II. Le cycle du carbone

Le carbone est présent sur toute la planète, au sein de 4 grands réservoirs : la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère (JACQUES & SAUGIER, 2008 ; CNRS, 2016) (cf. figure 2). C'est l'océan qui représente le plus grand réservoir de carbone, avec 38 000 Gt de C. Presque tout ce carbone existe sous forme inorganique, dissous, largement comme bicarbonates ou ions carbonates, contre environ 100 Gt de C organique. Le réservoir géologique contient quant à lui entre 5 000 et 10 000 Gt de carbone organique, sous forme de charbon, gaz et pétrole (LAL, 2003 ; HOUGHTON, 2007). Le sol est le troisième réservoir de carbone, avec une estimation de 1 550 Gt de carbone organique dans le sol ; 950 Gt de carbone inorganique dans le premier mètre de sol et 840 Gt dans les 2 mètres suivants (JOBBAGY & JACKSON, 2000 ; LAL, 2004). C'est ce dernier compartiment qui représente le plus gros réservoir de C organique sur terre (BANWART *et al.,* 2015). C'est donc le plus important levier de stockage du carbone grâce au cycle du carbone, qui assure la séquestration du C atmosphérique (fonction puits) et la minéralisation du C organique (fonction source).

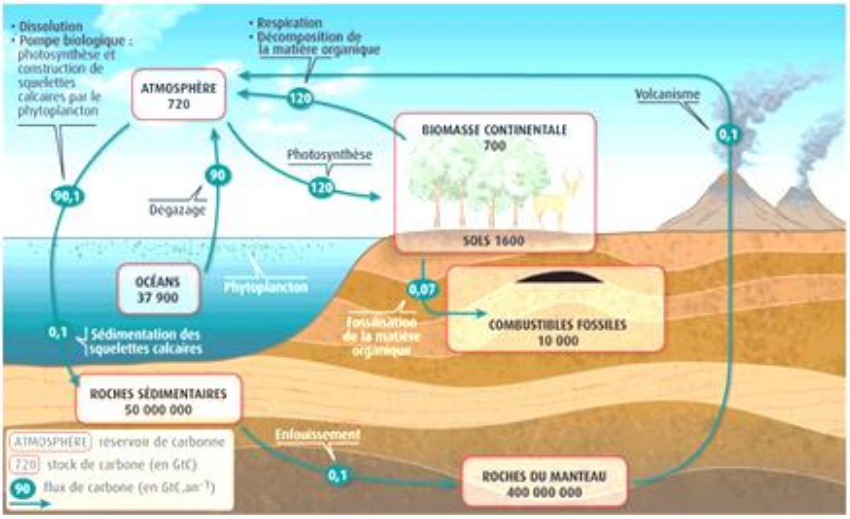


Figure 2: Cycle du carbone (source manquante)

Dans le sol, le carbone organique est le principal constituant des matières organiques. Il représente entre 40 et 50% de la matière végétale sèche non décomposée et entre 50 et 58% de la MOS. Le sol en contient entre 0,5 et 5% dans l'horizon de surface (SPARKS, 2003).

Cette matière carbonée des sols (apportée ou propre au sol) peut être répartie au sein de 4 groupes (BEAUCHAMP, 2008):

- La MO vivante, animale (faune du sol) et végétale (racines): la biomasse en activité ;

- Les débris végétaux (résidus végétaux, exsudats, lessivas) et animaux (déjections, cadavres, mucus): la matière organique fraîche (MOF) (LAVELLE & SPAIN, 2001);

- Les composés organiques intermédiaires provenant de la MOF : la matière organique transitoire (MOT) ;

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- Les composés organiques stabilisés provenant de l'évolution de la MOT : les matières humiques. Ce sont ces matières humiques, non labiles, qui permettent le stockage du carbone à long terme dans les sols.

1. La séquestration du carbone

La séquestration du carbone est le processus biologique qui consiste à transformer du carbone atmosphérique et minéral en carbone organique. Les végétaux et animaux de la biosphère constituent l'interface qui permet le stockage dans les sols du carbone atmosphérique. Grâce au mécanisme de photosynthèse, les végétaux supérieurs captent le CO_2, l'utilisent pour leur croissance (production de biomasse et respiration) et le restituent aux sols par rhizodéposition ou lors de leur mort, principalement par les racines mortes mais aussi par la biomasse aérienne (la MOF) (JACQUES & SAUGIER, 2008). Dans une moindre mesure, le C organique peut être apporté au sol, en partie dégradé, sous forme d'amendements organiques (fumiers, lisiers, composts…) (Girard et *al.,* 2011). Le chimiste Antoine Lavoisier (1743-1794) montre que les gaz impliqués dans la photosynthèse sont le dioxyde de carbone (CO_2) et l'oxygène (O_2), selon la réaction :

$$\mathbf{6CO_2 + 12H_2O + photons \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O}$$

La lumière solaire constitue l'énergie nécessaire à la synthèse des molécules de glucose (JACQUES & SAUGIER, 2008).

Le mécanisme de décomposition et de stabilisation de la MOF s'appelle l'humification. Au fur et à mesure de la décomposition de la MOF, la matière organique est fragmentée en débris de plus en plus petits, et dans les derniers stades de décomposition, sa structure devient microscopique et sa forme ne peut plus être identifiée à l'œil nu. C'est ce que l'on appelle l'humus, la MO stable du sol (CALVET *et al.,* 2011).

Cette décomposition peut être plus ou moins rapide, en fonction de la composition de la MO. Celle-ci détermine le ratio C/N et la vitesse de minéralisation. Un C/N bas (<50) correspond à une MO riche en cellulose et à une minéralisation rapide et un C/N élevé (entre 50 et 80) correspond à une MO riche en lignine et à une minéralisation lente (Duchaufour, 1997). La matière organique alimente le sol en carbone par sa surface, lors du dépôt des végétaux et animaux morts. Les teneurs en carbone maximales sont donc situées dans les premiers centimètres du sol, puis décroissent en profondeur.

L'accumulation de la matière organique du sol (MOS) est généralement rapide, diminue lentement et atteint un niveau d'équilibre entre 110 ans pour les sols à texture fine et un maximum de 1 500 ans pour les sols sableux. Ce niveau d'équilibre est attribué aux acides organiques produits

qui sont résistants aux attaques microbiennes ainsi qu'à à la stabilité de l'humus due aux interactions avec les cations polyvalents et les argiles (STEVENSON, 1982).

2. La minéralisation du carbone

A l'inverse de la séquestration, le carbone organique des sols peut être dégradé sous forme de CO_2 ou de CH_4. Cette minéralisation du C est réalisée par les organismes vivants du sol (principalement des micro-organismes), qui consomment de la MO pour s'alimenter (CALVET, CHENU, HOUOT, 2011). Cette biotransformation s'appelle la minéralisation primaire et consiste en la décomposition rapide de la matière organique fraîche en composés minéraux solubles assimilables par la plante (GIRARD *et al.,* 2011) et en CO_2. L'humus peut aussi être minéralisé et donc libérer du C dans l'atmosphère : c'est la minéralisation secondaire. Chaque année, 1 à 2% de l'humus du sol, soit de 300 à 1 200 kg/ha/an selon le taux initial de MO, sont dégradés ainsi.

III. Les facteurs de variation des stocks de carbone dans les sols agricoles réunionnais

La quantité de carbone organique présente une variabilité spatiale et temporelle. Il est possible d'expliquer ces variabilités par 5 facteurs (abiotiques) de formation des sols (JENNY, 1941): le temps, le climat, la végétation, la roche mère et la topographie. Ces facteurs, mettant en évidence la formation de différents types de sols, expliquent principalement la variabilité spatiale des SCO (stocks de C organique) (SPARKS, 2003). La variabilité temporelle est quant à elle expliquée principalement par l'occupation des sols et les pratiques culturales (facteurs anthropiques) qui vont influencer la balance entre les intrants (les résidus des plantes) et les pertes, principalement par la décomposition microbienne et la minéralisation qui lui est associée (SOMBROEK *et al.,* 1993 ; CALVET *et al.,* 2011). Cette variabilité temporelle est expliquée par le fait que la majorité du carbone organique apporté au sol est labile (75% des apports annuels) et le reste se répartit en 3 «compartiments de temps de résidence » correspondant en moyenne à 4 ans, 40 ans et plus de 1000 ans (CITEAU *et al.,* 2008).

Par ailleurs, si les entrées de MO sont supérieures aux sorties, alors le sol joue un rôle de puits, en stockant du carbone. Dans le cas contraire, le sol est une source d'émission de C dans l'atmosphère.

1. Les facteurs abiotiques : le contexte pédoclimatique de La Réunion

Emergée il y a 3 millions d'années entre 21°07 de latitude sud et 55°32 de longitude est, la Réunion est une île volcanique de 2 512 km² dans l'Océan Indien Occidental, à 800 km à l'est de Madagascar. Elle fait partie de l'archipel des Mascareignes avec les îles Maurice et Rodrigues et repose seule sur le plancher océanique (DEFOS DU RAU, 1960). Elle présente une géographie physique extrêmement contrastée, des points de vue géologique, climatique, orographique, végétal et par conséquent pédologique (RAUNET, 1991).

i. Le volcanisme à l'origine de la géologie et de la topographie

L'île de la Réunion est constituée de deux complexes volcaniques : le Piton des Neiges au Nord-Ouest qui a entraîné l'émergence de l'île, éteint depuis 12 000 ans et qui culmine à 3 070 m ; et le Piton de la Fournaise au Sud-Est, apparu il y a environ 1 million d'années, toujours en activité et culminant à 2 631 m (Figure 3). L'affaissement du Piton des Neiges et l'érosion ont entraîné la formation de trois cirques (Cilaos, Mafate, Salazie), aux versants abrupts, escarpés et aux vallées encaissées. Ces trois cirques sont séparés par des planèzes (la Roche Ecrite, le Grand Bénare), ces plateaux volcaniques de surface triangulaire qui convergent vers le sommet du Piton des Neiges (DEFOS DU RAU, 1960).

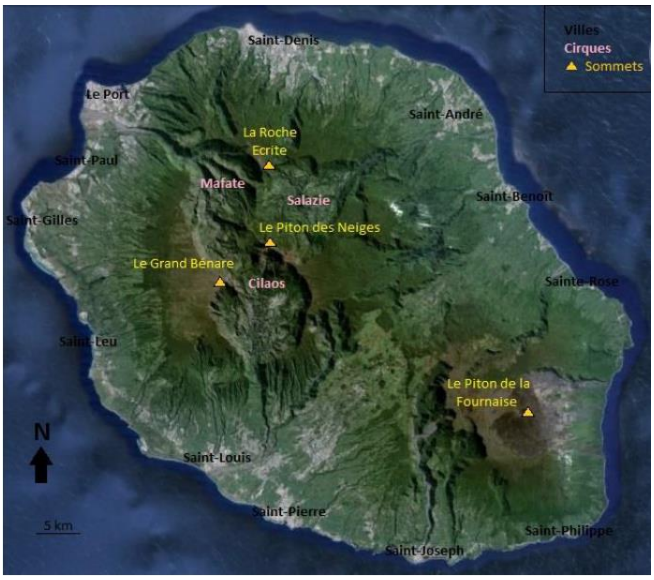


Figure 3:Carte de l'île de la Réunion (adaptée de Google Earth)

Le temps, les multiples éruptions des volcans et la modification de leurs natures ont permis la création d'une grande diversité de roches sur l'île (cf. annexe 1). Ainsi, les laves anciennes (océanites) sont des basaltes riches en olivines et alcalines alors que les laves récentes, plus acides, sont riches en silice. Les éruptions explosives ont également fait apparaitre des tufs, cendres et ponces (RAUNET, 1991). Les sous-sols de La Réunion sont ainsi formés d'un empilement de coulées successives de lave, de nature et d'épaisseur très variables.

L'île, d'environ 60 km de diamètre, est donc compacte et fortement accidentée. La dissection est très active, aussi bien sur les versants extrêmes que dans le sud du massif. L'érosion très active évacue vers la mer, spécialement en périodes cycloniques, des quantités importantes de matériaux (RAUNET, 1991). Cette topographie affecte le contenu des sols en MO par le climat, le ruissellement,

et l'évaporation de l'eau des sols. Ainsi, dans les sols humides, mal drainés ou sur pente orientée vers le nord, les stocks de MOS sont plus élevés que sur sols secs, exposés sud en raison des conditions de température et d'aération du sol (STEVENSON, 1982 ; BOHN *et al.,* 1985).

ii. Le climat

De par sa situation géographique, entre l'équateur et le tropique du Capricorne, son caractère insulaire et son relief très marqué, la Réunion présente un climat tropical très contrasté, tant au niveau des températures que de la pluviosité (cf. annexe 2). Le climat de la Réunion est ainsi marqué par (ROBERT, 1986):

- De très forts gradients de pluviosité, depuis 600 mm jusqu'à 9 000 mm, conditionnés par l'exposition aux alizés, vents chargés d'humidité qui suivent la direction sud-est/nord-ouest et qui séparent l'île en deux zones : la face « au vent » à l'est et la face « sous le vent » à l'ouest. Ce gradient est également conditionné par l'altitude et l'orographie très accentuée de l'île. Ainsi, l'ouest présente une pluviométrie annuelle comprise entre 500 et 2 000 mm, avec deux saisons bien tranchées : la saison des pluies (15 décembre-15 avril) avec 100 à 300 mm/mois et une saison sèche (15 avril au 15 décembre) avec moins de 100 mm/mois. L'est présente des saisons moins marquées. On parle d'une saison « très pluvieuse » (généralement plus de 200 mm/mois) et une saison « moins pluvieuse » (entre 100 et 300 mm/mois). La figure 4 permet de distinguer nettement ces différences de pluviosité entre l'est et l'ouest de l'île ;

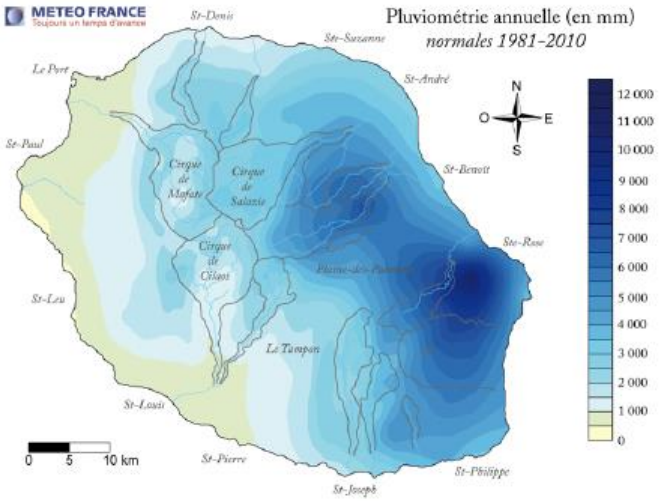


Figure 4:Carte des normales de pluviométrie à la Réunion (Météo France, 2014)

- Des périodes cycloniques violentes et souvent destructrices ;

- Des températures très dépendantes des alizées, de l'altitude et de l'orographie entrainant une grande diversité des températures comme le montrent la figure 5 et l'annexe 2.

On distingue ainsi la saison fraîche, de mai à octobre, qui varie entre 17 et 28°C au niveau de la mer et la saison chaude, de novembre à avril, qui varie entre 21 et 31°C. De plus, l'ouest de l'île est généralement plus chaud de 1 à 2 °C que l'est (Météo France, 2014).

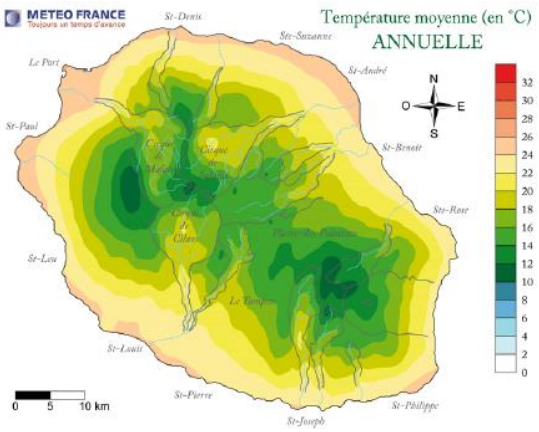


Figure 5:Carte des températures moyennes de la Réunion (°C) (Météo France, 2014)

Le climat est un facteur extrêmement important dans le contrôle du contenu des MOS car il affecte le type d'espèces végétales, la quantité de matière végétale produite et le degré d'activité microbienne du sol. Ainsi, les SCO sont en partie déterminés par la température du sol, car la chaleur agit comme catalyseur des biotransformations et accélère la minéralisation de la MOS (LITTON & GIARDINA, 2008). On sait en effet, en conditions comparables d'humidité et de végétation, qu'une augmentation de température de 10°C diminue le temps de résidence du C organique d'un facteur de 2 à 3 (CITEAU *et al.,* 2008).

L'humidité du sol est le deuxième facteur climatique impactant les SCO. Elle est en effet favorable à la biodégradation des MOS mais des conditions d'anaérobiose, provoquées par la saturation en eau des sols, bloque ces processus qui ont besoin d'oxygène (CITEAU *et al.,* 2008 ; CORBEELS *et al.,* 2016). Les émissions de CO_2 vers l'atmosphère peuvent ainsi être significativement corrélées aux taux d'humidité (cf. figure 6) (OGLE *et al.,* 2005).

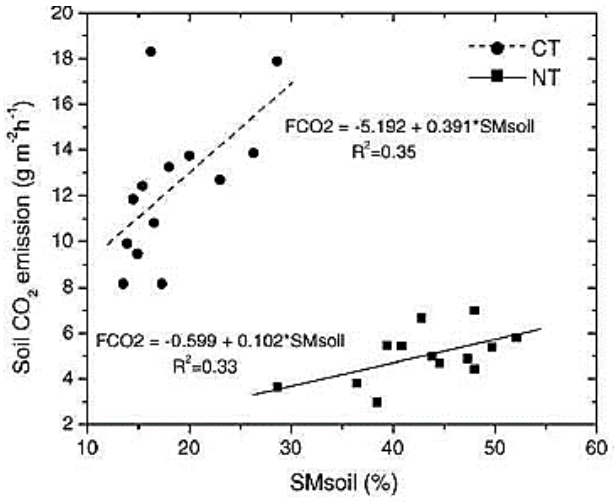


Figure 6: Evolution des émissions de CO2 du sol sous canne à sucre en fonction de son humidité. Comparaison de deux traitements : sans travail du sol (NT) et avec travail du sol (CT) (LA SCALA et al., 2006)

iii. La pédologie

La pédogénèse, c'est-à-dire la formation d'un sol, dépend initialement du climat, de la roche mère et de la végétation. A la Réunion, un lit de pyroclastites recouvre la majeure partie du Piton des Neiges et de la Fournaise, le substrat est donc le même pour la majorité de l'ile, même si une grande partie est dépourvue de sol, notamment en raison de la présence de coulées volcaniques très jeunes et de reliefs escarpés. La zonation des sols est alors déterminée par le climat, l'altitude, le temps et donc par le degré d'altération de la roche mère. Il est ainsi possible de distinguer 6 grands types de sols, comme le montre la figure 7. L'annexe 3 présente également les caractéristiques chimiques de ces sols.

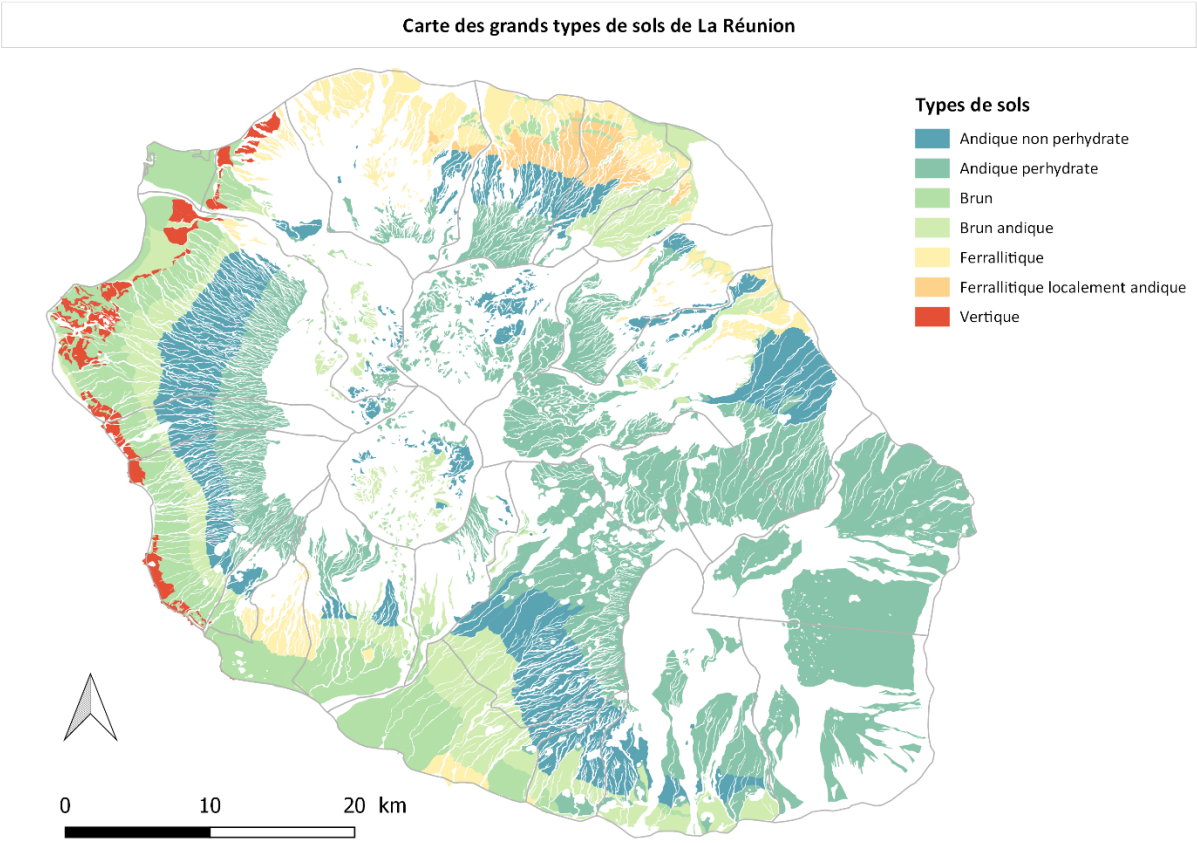


Figure 7: Carte simplifiée des sols de la Réunion (adapté de RAUNET, 1991)

Ces types de sols constituent la grande majorité de l'île, bien que des différenciations complexes puissent être faites au sein même de ces catégories (cf. annexe 4).

On retrouve ainsi (CHABALIER *et al.,* 2006) :

- Les andosols perhydratés (de 1 300 à 1 600 m) ou non perhydratés (de 600 à 1 300 m). Ils représentent 80% des terres cultivables de l'île (CIRAD, 1988). Ce sont des sols assez jeunes, formés sur des cendres volcaniques récentes. Leur particularité vient de la structure de leurs colloïdes minéraux peu ou pas cristallisés, des silicates d'alumine appelés imogolites et allophanes (MATHIEU

& LOZET, 2011), dont la structure est présentée en annexe 5. De par leur nature très poreuse, les allophanes possèdent une grande surface d'échange, jusqu'à 1 000 m^2/g contre 10 à 100 m^2 pour une argile. Cette propriété leur permet d'être fortement liées à la MOS, ce qui explique leur CEC et SCO élevées, souvent supérieurs à 25 kg/m^2. Cette microporosité très élevée leur permet également d'absorber une grande quantité d'eau de constitution (plus de la moitié de leur poids frais). La formation d'un gel de silicates d'alumines leur confère un caractère thixotropique (CHABALIER *et al.,* 2006 ; LEGROS, 2007). Cette capacité de rétention d'eau s'abaisse très sensiblement et irréversiblement après dessiccation à l'air. Leur densité apparente (DA), assez faible, ne dépasse pas 0,9 g/cm^3.

Si les andosols se développent sur des matériaux volcaniques jeunes, c'est parce qu'une altération trop longue et un prolongement des saisons sèches entraînent la transformation des allophanes en une argile bien cristallisée, l'halloysite. La présence de cet élément, au détriment des allophanes, montre une transition typologique du sol considéré. En effet, la structure paracristalline des allophanes signifie que les liaisons entre atomes sont très instables et que les andosols sont facilement sujets à une évolution. En fonction de l'âge du sol, ils donneront d'abord un sol brun andique, puis un sol brun, puis un sol ferralitique, quand ce processus est très avancé.

- Les sols bruns andiques de 350 à 600 m. Ce sont des sols intermédiaires entre les sols andiques et les sols bruns. Ce sont d'anciens andosols situés en zone plus sèche et évoluant lentement vers des sols bruns.
- Les sols bruns entre 0 et 350 m. Ce sont des sols plus âgés et évolués que les andosols. Ils sont issus de coulées anciennes et situés dans les zones moins humides. Ce sont des sols argileux, caractérisés par des minéraux cristallisés. L'association entre le fer, la MO et les argiles confère à ces sols une structure fragmentaire nette et stable.
- Les sols ferralitiques entre 0 et 350 m. Ce sont les sols les plus anciens de la Réunion issus de l'évolution des andosols sous l'action du climat (plus sec) et du temps. Ils sont surtout présents sur les plateaux du Nord-Est, exposés à de hautes températures et une forte pluviosité. Ils sont très fertiles mais extrêmement vulnérables à l'érosion.
- Les sols vertiques, qui sont caractérisés par la présence d'argiles gonflantes (smectite), avec une forte capacité d'échange cationique (CEC). Les phases de gonflement et de rétractation répétées de ces sols ne favorisent pas la croissance de végétation.

Il est largement reconnu dans la littérature que la variation des SOC et l'impact des pratiques agricoles sur celui-ci sont fortement dépendants du type de sol (ALBRECHT, 2015 ; SOANE *et al.,* 2012 ; VENKATAPEN, 2012). En effet, la texture du sol impacte sa température, sa capacité de

rétention de l'eau ainsi que son affinité avec les MO (complexe argilo-humique). Le pH joue aussi sur les vitesses de biodégradation (cf. annexe 3). Ainsi, un sol acide sera caractérisé par une vitesse de biotransformation lente (CITEAU *et al.,* 2008). La densité apparente (DA), variable pour chaque type de sol est également un caractère fondamental de ces sols puisqu'ils entrent dans la formule des SCO. Celles-ci suivent le gradient de d'évolution des sols et la teneur en allophane du sol. Ainsi, plus le sol est riche en allophanes, plus sa DA est faible. En résumé, l'annexe 6 présente la climatoséquence des sols de La Réunion.

2. Les facteurs anthropiques

i. L'occupation des sols

Lorsque les sols sont cultivés pour la première fois, les stocks de MOS déclinent généralement. Les chiffres sont de l'ordre de 25% les 20 premières années, 10% les 20 années suivantes et 7% les 20 années qui suivent. Ceci est dû à une diminution des restitutions de MO à la parcelle mais aussi à l'augmentation de l'aération et de l'assèchement du sol qui provoque l'augmentation de l'activité microbienne et la diminution de la formation de composés humiques (STEVENSON, 1982 ; RABETOKOTANY-RARIVOSON *et al.,* 2015). Ce sont les systèmes agricoles intensifs qui semblent particulièrement touchés par une perte de C organique dans l'horizon de surface (0-20 cm). De plus, il semble que la perte de SCO en systèmes intensifs comme extensif soit plus importante pour les écosystèmes tempérés, dû à des stocks plus importants en surface et une plus faible interaction entre les argiles et l'humus (ZINN *et al.,* 2005).

La canne à sucre, qui représente 56% de la surface agricole de La Réunion (DAAF de La Réunion, 2016), présente des SCO plutôt élevés. En revanche, les parcelles sous cultures maraîchères, faiblement représentées sur l'île (Agreste La Réunion, 2013) et fortement intensifiées présentent les SCO les plus faibles, aussi bien dans l'horizon 0-10 cm que dans l'horizon 0-30 cm, et ce, quelle que soit la texture du sol. Cette diminution des SCO sous cultures maraîchères fortement intensifiées peut atteindre dans l'horizon 0-10 cm près de 60 % des stocks organiques mesurés sous forêt, comme c'est le cas aux Antilles (BLANCHART, 2002).

Les cultures impliquent donc des SCO différents d'une part parce qu'elles impliquent des pratiques culturales différentes et d'autres part car elles impactent différemment le sol en termes de systèmes racinaires (pénétration, exsudats, ancrage), production et restitution de biomasse au sol (JARECKI & LAL, 2003).

Rapport-Gratuit.com

ii. *Les pratiques culturales*

Les pratiques agricoles sont un facteur majeur de la variation des SCO dans les sols agricoles (ALBRECHT, 2015). La littérature abonde sur le sujet, et les études actuelles continuent de préciser les facteurs de variations de SCO et leurs niveaux d'impacts (cf. annexe 7). Cependant, les études sur la variation des SCO en fonction des pratiques montrent globalement des effets importants spécifiques aux sites, rendant parfois peu significatives les variations observées. Cela suggère également l'existence potentielle d'un seuil de carbone stocké (sols saturées en carbone), dépendant de conditions environnementales et de la nature de sol (JARECKI & LAL, 2003 ; CATHERINE & STEWART, 2007 ; CORBEELS *et al.,* 2016). Ainsi, les rythmes de séquestration de carbone seraient plus rapides lorsque le sol est loin du seuil de saturation en carbone (CATHERINE & STEWART, 2007).

- *Les pratiques d'augmentation de la biomasse restituée au sol*

La biomasse restituée au sol augmente les SCO de manière significative (JARECKI & LAL, 2003 ; RAZAFIMBELO-ANDRIAMIFIDY *et al.,* 2010 ; VENKATAPEN, 2012), et permet d'améliorer la structure du sol par la formation et la stabilité des agrégats terreux, favorisant le stockage du C dans les sols (BLAIR, 2000 ; GRAHAM *et al.,* 2002 ; JARECKI & LAL, 2003). Il peut s'agir :

- De biomasse aérienne ou racinaire provenant des résidus de culture. Par exemple, les résidus de coupe de la canne forment un lit de paille après la récolte, représentant 7 à 18 tonnes de matière sèche par hectare (dont 42% de C dans la matière sèche), selon la variété et le mode de coupe (POUZET, 2011).
- D'un apport extérieur, minéral ou organique. La fertilisation et les amendements peuvent en effet mener à des augmentations de biomasse aérienne et racinaire produite et augmenter les SCO. En revanche, l'application de ces intrants entraine tout de même des émissions de GES, qui diffèrent suivant leur nature et leur provenance et doivent être pris en compte dans la réflexion sur la séquestration du carbone.

- *Le travail du sol et le trafic au champ*

Les expérimentations de conduite de culture sans travail du sol se multiplient, et les résultats montrent une augmentation significative des SCO dans les 30 premiers centimètres du sol lorsqu'il cesse d'être labouré (RAZAFIMBELO *et al.,* 2015 ; BAKER *et al.,* 2007 ; CORBEELS *et al.,* 2016 ; LU *et al.,* 2011 ; LUO *et al.,* 2010 ; POWLSON *et al.,* 2016 ; RAZAFIMBELO-ANDRIAMIFIDY *et al.,* 2010). En effet, le travail du sol entraine une diminution de la teneur en agrégats stables du sol, or la MOS serait liée à la structure du sol : « les teneurs croissantes de MO induisant une stabilité de l'agrégation, celle-ci, en retour, permettant une protection contre la minéralisation des MO situées à

l'intérieur des agrégats et donc limitant les pertes de C sous formes de CO_2 » (RAZAFIMBELO-ANDRIAMIFIDY *et al.,* 2010). Ainsi, toutes les pratiques entrainant une baisse de la stabilité structurale du sol pourraient impacter négativement les SCO mais aussi amoindrir la fertilité des sols (CHABALIER *et al.,* 2006). Le travail du sol, par retournement et fragmentation, augmente l'exposition des agrégats à l'air et accélère également la minéralisation des MOS par oxydation, avec libération de CO_2 dans l'atmosphère et d'ions minéraux dans le sol. Tout travail du sol entraine donc un déstockage de carbone (ALBRECHT, 1992). La mise à nu des sols peut également entrainer une érosion provoquant la perte des premières couches de sols qui sont celles les plus riches en carbone organique (VENKATAPEN, 2012). Ainsi, comme le montre la figure 8, la répétition (ancienneté de la culture) et l'intensification des pratiques de travail du sol (comparaisons prairie/maraîchage et sans travail/rotobèche/labour) entrainent une diminution des teneurs en C dans les sols.

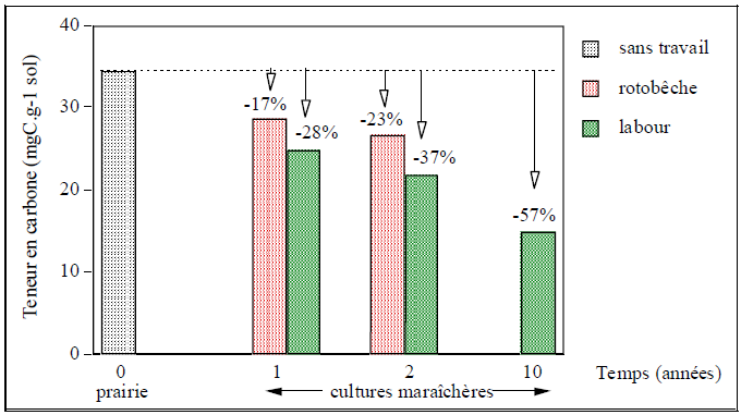


Figure 8: Impact de l'occupation des sols et des pratiques culturales sur les teneurs en carbone des sols (BLANCHART, 2002)

Par ailleurs, le trafic au champ lors du travail du sol semble clairement faire augmenter la densité apparente (DA) (JARECKI & LAL, 2003), et aura donc un impact sur les SCO. En effet, la DA rend compte de la masse de sol contenu dans un volume donné, et peut être un indicateur de l'influence du travail du sol sur sa structure en informant sur son niveau de compaction (HOOGMOED & KLAIJ, 1994).

D'un autre côté DIMASSI *et al.* (2014) ont montré, grâce à une analyse diachronique, qu'à long terme le non travail du sol ne permettait pas d'augmenter les SCO dans les sols. Ceux-ci semblent plûtot augmenter dans les 10 premiers centimètres au cours des 4 premières années de non labour, puis se stabilise les 24 années suivantes et diminuent après 28 ans. Ces changement de SCO dans les sols non labourés seraient négativement corrélés avec le bilan hydrique, montrant que les taux de séquestration sont positifs en périodes sèches et négatives en périodes humides.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

IV. Objectifs et hypothèses de travail

1. Le projet C@RUN: objectifs et premiers résultats

Le projet C@RUN a pour objectifs d'évaluer les fonctions de stockage de carbone des cultures annuelles dans les sols agricoles de La Réunion et de déterminer les facteurs de variation spatiale et temporelle de ces stocks dans les sols (CIRAD, 2015). La modélisation des résultats obtenus sous forme de simulateurs de bilans de SCO et GES permettra de cartographier les SCO à l'échelle de l'île. L'économie étant dominée par l'agriculture à La Réunion, des références sont donc particulièrement utiles pour quantifier l'impact des cultures. Ces données permettront aux politiques agricoles d'identifier les leviers d'action pour augmenter les SCO dans les sols, limiter les émissions de GES et augmenter la fertilité des sols (MEA, 2005). En outre, le projet vise à valider une méthode de mesures rapide et peu coûteuse du carbone dans les sols, grâce à la spectrométrie infra-rouge et à la construction de modèles de prédiction du carbone.

Les sols sous canne à sucre (60% de la SAU) et systèmes prairiaux sont proches de leur capacité maximale de stockage de carbone dans les sols (ROSIES, 2016). En revanche, les cultures de « diversification », représentent souvent un cas défavorable de gestion du C et constituent donc un levier important à ce sujet en augmentant leur capacité de puits de C. Ce qui serait possible grâce à l'adoption de pratiques agricoles favorables au stockage du C, en utilisant par exemple des principes de l'agriculture de conservation.

Même s'il représente seulement 1% de la SAU, le maraîchage est en voie de développement à La Réunion. En effet, le nombre de parcelles maraîchères augmente chaque année (Agreste La Réunion, 2013), afin de subvenir à des besoins en constante augmentation. Ceux-ci ne sont aujourd'hui couverts qu'à 70% par la production locale de légumes. La culture d'ananas est également un pilier de la culture agricole réunionnaise ; elle représente en effet la principale production fruitière de l'île avec 15 800 t produites par an.

Ainsi, cette étude se focalise sur les pratiques culturales maraîchères légumières, dites à cycle court (de 3 à 4 mois) et d'ananas, dites à cycle long (d'environ 14 mois) et leur impact sur le stockage du carbone dans les sols réunionnais. Les années précédentes du projet ont permis de récolter des données de teneurs en carbone ([C]), DA et SCO pour les cultures de canne à sucre et les prairies, qui serviront de références aux cultures maraîchères.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2. Questions de recherche

La question de recherche générale de cette étude est : **Quel est l'impact des pratiques culturales maraîchères sur les stocks de carbone des sols réunionnais.**

En partant du postulat que le principal déterminant du carbone dans les sols est le type de sol (GOGE, 2014), cette question de recherche se décline en trois sous-questions:

Q1/ Les sols allophaniques sont-ils plus sensibles aux pratiques culturales défavorables au stockage du carbone ? ;

Q2/ La durée du cycle de culture et donc la fréquence des pratiques culturales impacte t'elle les teneurs de carbone organique des sols comme suit : prairie / canne à sucre > ananas > cultures légumières ? ;

Q3/ Les cultures maraichères induisent-elles un déstockage du carbone dans les sols, en comparaison à une culture de référence, avec :

- Une augmentation des densités apparentes,
- Une diminution des teneurs en carbone ?

Partie 2 : Stratégie méthodologique

I. Choix des situations

1. Enquêtes auprès des agriculteurs

Grâce aux campagnes de terrain effectuées les années précédentes pour le projet, un bon nombre de données ont été acquises sur les systèmes prairiaux et canniers. L'effort de recherche est donc porté cette année sur le maraîchage. Afin de parvenir à l'objectif du projet C@RUN de spatialisation des stocks de carbone à la Réunion en fonction des types de sols et de leur occupation, la démarche choisie a été de couvrir de manière exhaustive les types de sols. La base de ce travail est donc réalisée sur le travail de M. Raunet qui produit en 1988 la carte morpho-pédologique de La Réunion (cf. annexe 4). Cette carte comportant 93 unités de sols dont la plupart ne se distingue que par le caractère morphologique (le paysage) et non par les types de sols, il a été choisi de travailler sur la version simplifiée de cette carte (cf. figure 7), regroupant les grands types de sols réunionnais. De plus, cette cartographie est suffisante pour étudier les sols cultivés de La Réunion (POUZET, et al., 2003).

Il a donc fallu rechercher des maraîchers dont les pratiques culturales étaient les plus représentatives des pratiques réunionnaises, afin que chacun des 6 types de sols définis (andiques perhydratés (AP), andiques non perhydratés (ANP), bruns andiques (BA), bruns (B), ferralitiques (F) et vertiques (V)) présente une situation en maraîchage cycle court (productions légumières) et en maraîchage cycle long (ananas).

L'objectif de l'étude est de comparer les SCO et ses composantes (teneurs en C et DA) d'une situation canne ou prairie qui constitue le témoin par rapport à une situation maraîchage en cycle court et cycle long. Pour ce faire, il a parfois été nécessaire de trouver des situations référentes correspondant exactement aux situations maraîchères trouvées, c'est-à-dire appartenant à la même unité pédologique selon la carte détaillée de M. Raunet (1988). En effet, la carte simplifiée des sols est par définition moins précise et peut induire des erreurs dans cette étude de comparaison de situations par type de sol.

Enfin, dans la mesure du possible, les situations maraîchères retenues étaient en culture depuis au moins 5 ans, seuil en dessous duquel les variations de teneurs en MO peuvent être dues à d'autres paramètres que la culture (anciens résidus de cannes ou de forêt…).

2. Prise de contact et contenu de l'enquête

Pour prendre contact avec les agriculteurs, l'aide d'organismes extérieurs a été utile. Vivéa, coopérative maraîchère (Vivéa, 2015), ou encore le responsable du marché de gros de Saint-Pierre ont permis d'établir une liste de producteurs à contacter. L'unité de recherche HortSys du CIRAD de Saint-Pierre a également simplifié la mise en relation avec des producteurs d'ananas. Enfin, la prospection sur le terrain a été nécessaire en fin de campagne afin de trouver les situations manquantes.

Une fois la série de producteurs présélectionnés après un premier contact téléphonique (en fonction de leur localisation et de la durée de la mise en culture de la parcelle), il a été nécessaire de rencontrer chacun d'eux afin de leur expliquer les tenants et aboutissants du projet. Dans un deuxième temps, les agriculteurs favorables à participer ont été enquêtés sur leurs pratiques agricoles et sur l'historique de la parcelle sélectionnée (cf. annexe 8). De plus, un certain nombre de paramètres ont systématiquement été vérifiés :

- La taille de la parcelle, qui devait être suffisamment grande pour éviter les effets de bordure ;
- L'environnement paysagé de la parcelle, nécessaire pour localiser des parcelles de référence (canne ou prairie selon l'altitude) ;
- La pierrosité de la parcelle grâce à plusieurs prélèvements à la tarière sur différentes zones. Les parcelles trop pierreuses ont été évitées car inadaptées aux méthodes de prélèvements utilisées.

De plus, un point GPS de la parcelle a été pris afin de vérifier le type de sol grâce au logiciel QGIS, en le superposant à la carte des sols.

Une fois l'enquête analysée et le producteur sélectionné, celui-ci a été rappelé pour convenir d'un rendez-vous et effectuer les prélèvements de terre par carottage qui ont servi à mesurer les DA et teneurs en carbone.

II. Mesure de la densité apparente des sols

La densité apparente des sols se mesure selon la formule DA=P/V, avec P : poids sec de terre fine de l'échantillon et V : volume de l'échantillon lors du prélèvement. Celle-ci a été mesurée selon la méthode de référence et une méthode simplifiée dans un premier temps, puis uniquement grâce à la méthode simplifiée une fois que sa fiabilité a été montrée (cf. annexe 9).

1. Méthode de référence

La méthode de référence de la mesure de densité apparente des sols est celle des cylindres. Cette méthode consiste à prélever un échantillon de terre dans un volume connu (V), ici des cylindres en acier de 916,1 cm^3 (10,8 cm de diamètre et 10 cm de hauteur). Neuf échantillons de terre ont donc été prélevés avec les cylindres enfoncés à l'aide d'un maillet, avec 3 répétitions par profondeur de sol, à 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm, comme l'indique la figure 9. Afin de ne pas compacter la terre à prélever et donc pour éviter d'augmenter la DA mesurée, les échantillons des profondeurs 10-20 cm et 20-30 cm ont été prélevés sur un plan différent de l'horizon supérieur (en escalier). Cette méthode a été répétée 3 fois sur la parcelle de manière à capter son hétérogénéité (pente et surface de la parcelle), tout en évitant les bordures, les zones visuellement trop pierreuses et moins fertiles (halos jaunes, plants malades…). Ces répétitions permettent aussi de limiter les biais induits par le manipulateur, qui peuvent être importants.

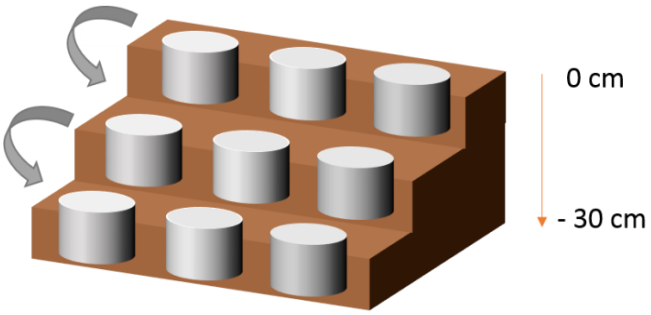


Figure 9: Schéma des prélèvements de sol par la méthode des cylindres

Une fois les échantillons pesés sur le terrain (Pf_ech), une aliquote de terre fine est prélevée en laboratoire (éléments inférieurs à 2 mm de diamètre), pesée à l'état frais (Pf_al), puis à l'état sec (Ps_al) après un séchage à l'étude de 48h à 105°C. Celle-ci permettra de calculer l'humidité pondérale de l'échantillon. Le reste de l'échantillon est alors passé au tamis à 2 mm ou broyé si la terre est trop compacte, pour séparer les éléments grossiers, qui sont alors pesés (P_EG). Le poids frais de terre fine est ainsi déduit :

$$\mathbf{1/\ Pf_tf = Pf_ech - P_EG}$$

L'humidité pondérale de l'aliquote est également déduite :

$$\mathbf{2/\ Hp_al = (Pf_al - Ps_al)/\ Ps_al.}$$

Le poids sec de terre fine a enfin pu être déduit en attribuant la valeur d'humidité pondérale de l'aliquote à l'échantillon :

$$\mathbf{3/\ Ps_tf = Pf_tf\ /(1+Hp_al)}$$

Ainsi, la DA (g/cm^3) a pu être calculée selon :

$$\mathbf{4/\ DA = (Ps_tf + P_EG)/V}$$

2. Méthode simplifiée

La méthode simplifiée de mesure de DA utilisée pour le projet consiste à s'affranchir des prélèvements de terre via les cylindres. Les échantillons utilisés sont alors ceux issus de carottes de sol, prélevées afin de réaliser des mesures spectrales au moyen de spectromètres moyen et proche infra-rouge. Ces acquisitions, non utilisées dans cette étude, ont permis de compléter la base de données spectrales du projet afin d'améliorer la robustesse du modèle de prédiction des DA et teneurs en carbone des sols (R^2 de 0,6 et 0,9 respectivement selon le travail réalisé par M. Stern pour ce projet (STERN, 2016)).

Trois carottes sont prélevées sur la parcelle (nommées a, b et c), à proximité des sites de cylindres pour pouvoir comparer au mieux les DA obtenues par les deux méthodes (cf. annexe 9). Ces carottes ont été enfoncées dans le sol grâce à un carottier thermique et une gouge de 50 cm (un levier a permis de les en sortir). Une fois les mesures spectrales réalisées sur le terrain, les échantillons de 10 cm d'épaisseur de 0 à 40 cm de profondeur sont soigneusement retirés de la gouge et mis en sachets afin d'être pesés et ramenés au laboratoire (cf. annexe 10). Ainsi, les DA ont pu être mesurées, de la même manière qu'avec les échantillons issus des cylindres (cf. 1. Méthode de référence), avec un volume cette fois ci égal à 608,2 cm^3 (8,8 cm de diamètre et 10 cm de hauteur).

II. Mesure de la teneur en carbone des sols

Les échantillons issus des carottes de sol sont donc amenés en laboratoire afin de mesurer la DA mais également pour mesurer leur teneur en C. A l'inverse des échantillons issus des cylindres, la terre fine issue du tamisage des éléments grossiers est récupérée afin de réaliser des mesures spectrales (qui serviront à établir des modèles de prédiction de C organique sur le terrain). Cette terre fine est ensuite conditionnée en 2 pots de 125 ml, l'un est stocké dans la pédothèque du projet C@RUN et l'autre est envoyé au laboratoire d'analyses du CIRAD de Saint-Denis, pour mesure du carbone des échantillons selon la méthode « Dumas », basée sur la mesure des gaz émis par la combustion du sol dans un flux d'oxygène. Le récapitulatif des manipulations réalisées sur les échantillons est présenté en annexe 11.

III. Traitement des données

1. Résultats d'enquête

La seule variable enquêtée ayant subi un traitement est celle des apports en matières organiques. Il a été choisi de les faire apparaitre en quantité de MO apportée par tonne/ha/an,

puisque la matière organique est principalement composée de carbone organique (SPARKS, 2003). Ce calcul a été possible grâce aux fiches techniques des produits commerciaux « Phénix » (Italpollina, 2017) et « Bactériosol » (Sobac, 2011) et au guide de la fertilisation organique de La Réunion pour les produits non commerciaux (CHABALIER *et al.,* 2006), comme présenté en annexes 12 et 13. Les travaux de ROSIES, B. (2016) ont également été utilisés afin de déterminer la quantité de MO apportée sur les sites de référence en canne à sucre. Ainsi, les taux de MO apportés par année à la parcelle ont été calculés grâce aux données d'amendements organiques, apportés à chaque replantation et à une estimation de MO restituée chaque année par les pailles de canne. Pour faire cette estimation, les données de rendement, de méthode de coupe (manuelle ou mécanique) et la pratique d'épaillage ont été utilisées. Ces données, combinées avec le travail de CHABALIER *et al.* (2006), donnent des estimations de restitution de MO par la paille de canne (cf. annexe 14).

2. Calcul des stocks de carbone des sols

L'ensemble des données obtenues : les pesées brutes et les résultats des analyses de laboratoire ont été saisis dans la base de données du projet, sous tableur Excel, comportant déjà les données acquises en 2016. Dans ce tableur, les DA de chaque échantillon ont pu être calculées ainsi que les SCO, puisque ceux-ci dépendent de la DA ainsi que de la teneur en carbone du sol, selon la formule (BLANCHART, 2002) :

$$\textbf{SOC (kg/m}^2\textbf{) = C x (1 – éléments grossiers) x DA x e}$$

C : teneur en carbone (g.kg^{-1} sol), DA : densité apparente (g.cm^{-3}), e : épaisseur de l'horizon (cm)

3. Présentation des analyses

Afin de comprendre au mieux les facteurs de variation des SCO dans les sols, il a été choisi d'analyser les résultats de ses composantes : DA et teneurs en C ([C]) en plus de l'analyse des SCO. Pour cette analyse, les résultats sont présentés par paire et par type de sol, chaque site de culture légumière ou d'ananas étant confronté aux résultats des « témoins » canne à sucre, prairie ou même friche. Les pratiques culturales enquêtées permettront ainsi de discuter les différences observées entre chaque paire.

i. Analyses descriptives

Afin de décrire les résultats de DA et de [C] obtenus, la même approche a été appliquée. L'analyse statistique par moyennes, médianes et écarts-types à partir des données brutes a d'abord

permis d'explorer la distribution de ces deux variables à expliquer, en fonction de deux variables qualitatives explicatives : le type de sols et l'occupation du sol. Ensuite des courbes de sols ont été réalisées par type de sol à partir des valeurs moyennes de DA et de [C] par site de prélèvement (moyenne des carottes a, b et c) et de leurs écarts types, pour chaque horizon de 10 cm. Enfin, les Δ carbone (ΔC) ont été calculés en valeurs absolues pour chacune des comparaisons témoin/culture maraîchère à partir des DA et [C] moyennes.

L'analyse des SCO a été réalisée par type de sol à partir du SCO moyen par site de prélèvement, exprimé sur 0-40 cm (somme des SCO de chaque horizon de 10 cm), et de son écart type. Des deltas stocks de carbone (ΔSCO) ont ensuite été calculés en valeurs absolues et relatives pour chacune des comparaisons témoin/culture maraîchère à partir du SCO moyen. Enfin, leur distribution en fonction des variables « type de sol » et « occupation du sol » a été analysée à partir des données brutes de SCO par horizons de 10 cm.

ii. Analyses de variances

Afin de connaitre la significativité des tendances observées graphiquement, des analyses de variance ont été réalisées sur les données, à partir du logiciel R. La normalité des résidus (test de Shapiro-Wilk) ainsi que l'homoscédasticité des variances (test de Bartlett) ont systématiquement été vérifiées afin de réaliser des tests paramétriques par la suite. De plus, l'ensemble des hypothèses a été testé avec un niveau de significativité α=0,05 et avec l'hypothèse nulle « H0 = pas de différence significative entre les variables testées ». Ainsi, le test ANOVA (ANalysis Of Variance) a pu être réalisé pour les variables DA et [C]. Si le test est significatif, un test de Tukey, test post-hoc de comparaison de moyennes, précise la première analyse en comparant les modalités deux à deux. Pour l'analyse de variance des SCO, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé. Ce test est donc moins robuste mais son interprétation est la même que pour l'ANOVA.

IV. Exploration de la base de données LIMS

En parallèle de l'analyse des résultats obtenus, l'exploration de la base de données LIMS (Laboratory Information Management System), comportant les résultats de 45 000 échantillons de sols analysés par le CIRAD depuis 1993, a été réalisée. L'exploration de cette base a permis de hiérarchiser les déterminants du stockage du carbone dans les sols, grâce à l'utilisation du modèle statistique « Boosted Regression Trees » (BRT) qui permet d'attribuer une importance relative à chaque variable explicative, ici les variables chimiques du sol mais surtout les types de sols (selon la classification simplifiée) et le mode d'occupation du sol (simplifié ici en 4 grandes cultures : canne à

Rapport-Gratuit.com

sucre, prairie, ananas et maraîchage) à la teneur en carbone du sol (selon la méthode Dumas), qui est la variable testée (GOGE, 2014). Les variables qui expliquent le mieux la variabilité des [C] dans le sol ont ensuite été analysées statistiquement grâce aux tests ANOVA et Tukey.

Partie 3 : Résultats

I. Exploration de la base de données LIMS

1. Présentation des sites de prélèvements

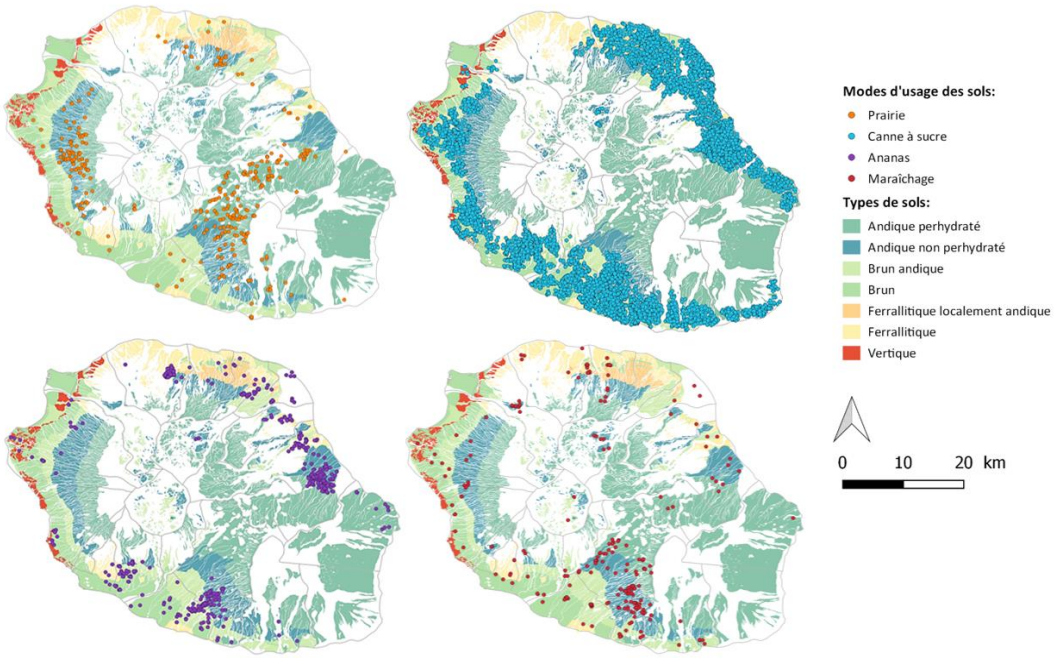


Figure 10: Localisation des échantillons de la base de données LIMS par culture en fonction des grands types de sols réunionnais

La figue 10 montre la répartition des prélèvements effectués sur prairie, canne à sucre, ananas et maraîchage issus de la base de données LIMS. La superposition de ces points avec la carte pédologique permet de voir que les différents échantillons ne couvrent pas toutes les unités pédologiques et qu'ils sont répartis différemment sur l'île. En effet, les prairies sont majoritairement présentes sur les andosols perhydratés. La canne à sucre suit le schéma inverse et n'est presque pas présente sur les andosols des Hauts de l'île. Les cultures légumières sont dispersées sur l'île alors que les cultures d'ananas sont groupées dans les Bas de l'île et sont très peu présentes sur les andosols perhydratés. De plus, la taille de l'échantillonnage (nombre de points) varie énormément en fonction des cultures. Les prélèvements de sol sur canne à sucre sont ainsi très importants alors que ceux des autres cultures sont plus épars.

C'est donc sur l'ensemble de ces points qu'a été réalisée la hiérarchisation des déterminants du stockage du carbone dans les sols.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2. Hiérarchisation des déterminants du carbone dans les sols

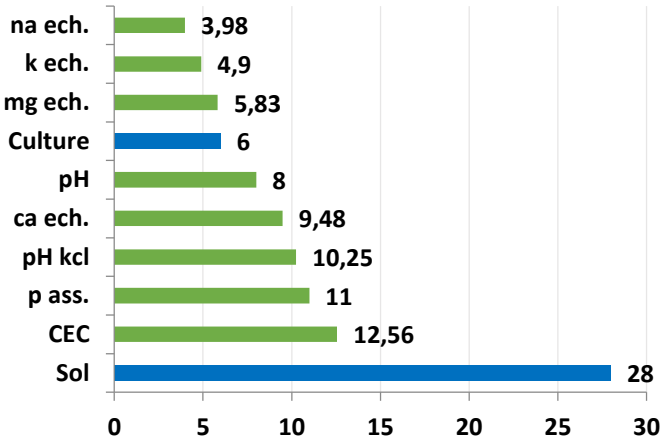


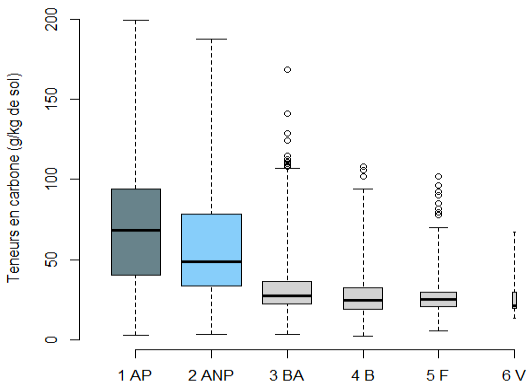
Figure 11: Importance relative des variables du sol par rapport à la teneur en carbone des échantillons (%)

Le modèle « Boosted Regression Trees » réalisé sur la base de données LIMS montre l'importance relative de 10 variables explicatives sur la variable « teneur en carbone » à expliquer (cf. figure 11). Ces variables correspondent aux types de sol (« Sol », selon la classification simplifiée), les variables chimiques du sol (CEC, phosphore assimilable (p ass.), pH Kcl, calcium (ca), magnésium (mg), potassium (k), sodium (na) échangeables et pH) analysées en laboratoire ainsi que l'occupation du sol (« Culture ») rassemblant la canne à sucre, la prairie, l'ananas et le maraîchage. Les 2 variables explicatives intéressantes pour répondre à la question de l'étude sont en bleu et permettent d'expliquer les variations de [C] dans les sols à 28% pour le type de sol et 6% pour l'occupation du sol. De ce fait, les analyses qui suivent devront être séparées par type de sol, puis par mode d'occupation du sol.

3. Impact des variables explicatives d'intérêt sur les teneurs en carbone

Seule la variable de types de sol (« Sol ») est présentée dans cette partie, sous forme de boxplots.

La figure 12 représente la distribution des [C] (sur 0-30 cm) par type de sol. Tout d'abord, les [C] moyennes sont très différentes en fonction du type de sol et suivent le gradient d'altération de celui-ci (de l'andosol perhydraté au sol ferralitique). Les andosols contiennent ainsi plus de 2 fois plus de carbone que les autres sols. Ce qui est vérifié statistiquement par l'ANOVA (p-value <2,2x10^{-16}***) et le test de Tukey. Il permet de différencier 3 groupes, celui des andosols perhydratés, des andosols non perhydratés et un troisième rassemblant les autres sols. Si les



	AP	ANP	BA	B	F	V
n	2051	3121	2014	1319	1087	11
M	69	58,5	32,3	27,8	26,3	27,4
ET	34,9	31,8	16,5	13,5	9,6	15,6

Figure 12:Distribution des teneurs en carbone sur 0-30 cm en fonction des types de sol

[C] des andosols sont plutôt élevées (60 à 70 $gC.kg^{-1}$), les teneurs moyennes (M) des autres sols sont relativement faibles, entre 26 et 32 $gC.kg^{-1}$ De plus, la dispersion des valeurs est assez importante, pour tous les types de sols mais particulièrement pour les andosols.

La distribution des [C] en fonction des cultures et par type de sol permet de voir que les différences sont significatives entre les cultures uniquement sur les andosols (figues 13 et 14), le reste des situations est présenté en annexe 15. Sur les andosols perhydratés, seule la prairie se distingue par des [C] supérieures (p-value ANOVA = $2{,}53 \times 10^{-11}$***). L'impact des cultures sur les [C] est également montré sur les andosols non perhydratés (p-value ANOVA = $2{,}2 \times 10^{-16}$***) et le test de Tukey permet de séparer 3 groupes, la prairie, dont les [C] sont très nettement supérieures, la canne à sucre et l'ananas ensemble et le maraîchage, qui présente les [C] les plus faibles (inférieures à 50 $gC.kg^{-1}$).

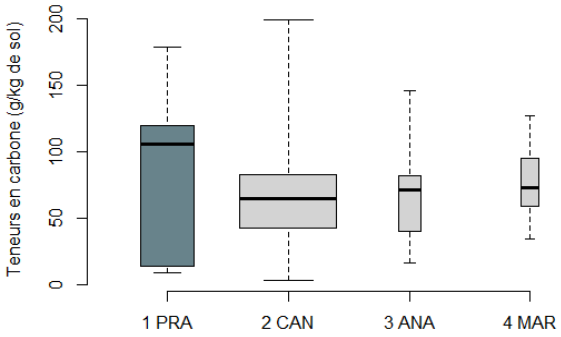


Figure 13: Distribution de la teneur en carbone des sols andiques perhydratés sur 0-30 cm en fonction de l'occupation du sol

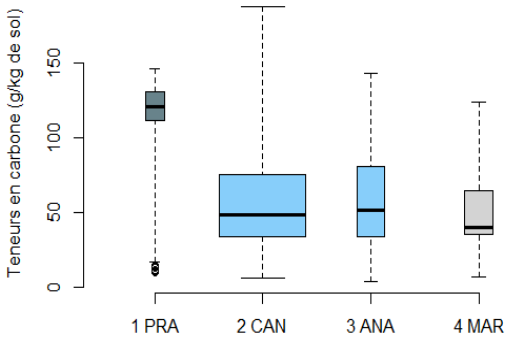


Figure 14: Distribution de la teneur en carbone des sols andiques non perhydratés sur 0-30 cm en fonction de l'occupation du sol

II. Enquêtes sur les pratiques culturales des agriculteurs

1. Répartition des situations et attribution de paires

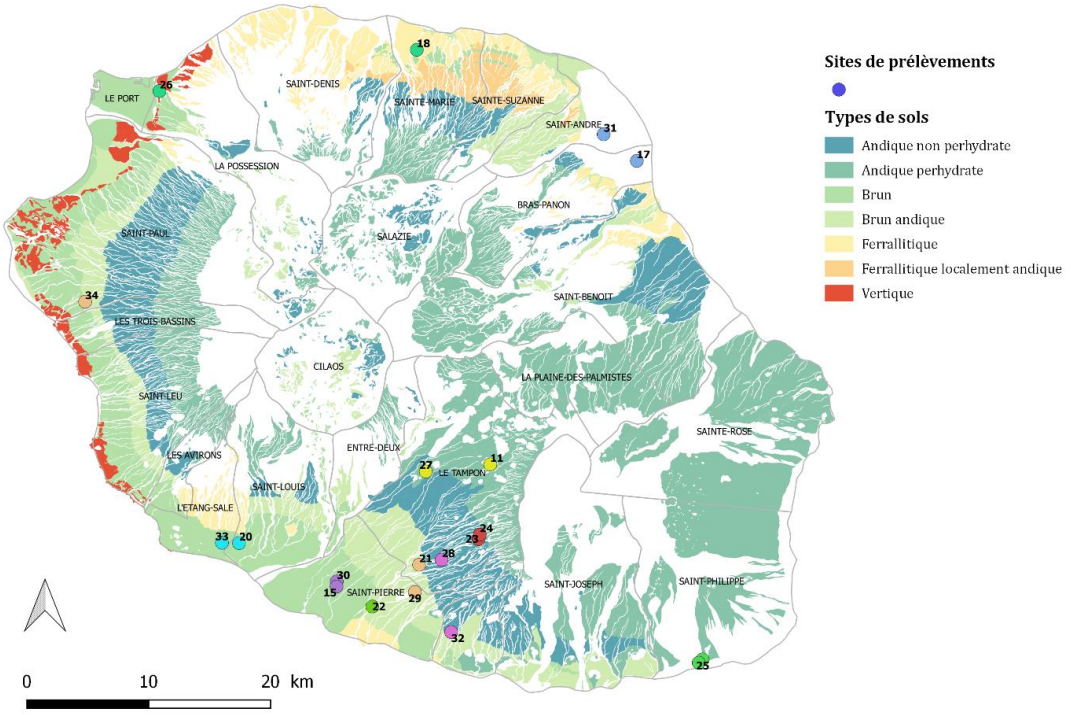


Figure 15: Répartition des sites de prélèvements sur les grands types de sols réunionnais

La carte en figure 15 correspond au positionnement des prélèvements effectués pour le projet C@RUN en fonction des grands types de sols réunionnais. Les points du n°22 à 34 correspondent aux prélèvements réalisés en 2017. Ces points correspondent pour moitié à des situations maraîchères à cycle court. Ce sont des cultures légumières de 3 à 4 mois, nommées « MAR » pour la suite de l'étude. Le reste correspond à des situations maraîchères sous culture d'ananas, nommées « ANA ». Ils constituent un cas de culture maraîchère à cycle long puisqu'ils restent environ 14 mois sur la parcelle. Seuls 3 sont des sites particuliers : le 22, qui correspond à un test de matériel, le 24, qui correspond à une friche (« FRI ») et le 32 qui est une parcelle de canne à sucre (« CAN »). Les points inférieurs au n° 22 correspondent à des prélèvements CAN et PRA (prairie) effectués en 2016. Les sites CAN, FRI et PRA sont donc les références des sites MAR et ANA en termes de stocks de carbone. Ainsi, chaque point MAR et ANA sur la carte possède une paire de la même couleur, correspondant à une situation FRI, CAN ou PRA. Dans la mesure du possible et en fonction des réponses des agriculteurs, chaque grand type de sol est couvert par une situation MAR et ANA, avec leurs paires correspondantes, comme figuré dans l'annexe 16. Ainsi, seule la situation ANA sur sol ferralitique n'a pas pu être complétée. Le site 26, placé sur la carte comme sol brun a finalement été identifié comme sol ferralitique. Pour cette raison, un témoin CAN sur sol ferralitique lui a été attribué.

2. Résumé des résultats d'enquête

Tableau 1: Récapitulatif des résultats d'enquête sur les pratiques culturales

Site	Situation	Altitude (m)	Pente	Durée culture (année)	Apport MO (t/ha/an)	Profondeur de travail du sol	Nb d'opérations de travail du sol/an	Résidus	Trafic au champ (an)
27	MAR_AP	1155	nulle	67	9	20	3	enfouis	9
31	ANA_AP	87	faible	8	0.22	40	1	enfouis	4
23	MAR_ANP	1210	moyenne	2	6.13	40	3	enfouis	9
28	ANA_ANP	715	faible	9	11.8	25	1	enfouis	4
34	MAR_BA	510	forte	5	25	15	2	enfouis	6
29	ANA_BA	450	forte	6	0.1	25	1	retirés	2
33	MAR_B	9	faible	8	0	40	1	retirés	2
30	ANA_B	145	faible	10	11.8	25	1	retirés	4
26	MAR_F	33	faible	40	0	20	4	enfouis	8

(AP : sols andiques perhydratés ; ANP : sols andiques non perhydratés ; BA : sols bruns andiques ; B : sols bruns ; F : sols ferralitiques)

Ce tableau présente le résumé des résultats obtenus à l'issu des enquêtes. Le tableau rassemblant l'ensemble des données enquêtées est quant à lui en annexe 17. Les paramètres observés présentent une forte variabilité pour une même culture, qui ne permet pas de distinguer des pratiques culturales de cultures légumières ou d'ananas. Il semble donc que chaque exploitation enquêtée corresponde à un cas particulier, d'autant plus qu'une seule enquête a été réalisée par type de sol. Il n'est donc pas possible de vérifier si ces pratiques correspondent aux normales ou s'il s'agit de cas particuliers. Les résultats de ces enquêtes permettront cependant de discuter les différences observées entre les cultures maraîchères et leurs références.

Le site 25 et sa paire CAN sont écartés pour la suite de cette étude car la situation n'est pas représentative de la zone étudiée ni d'une culture légumière classique. En effet, la parcelle très pierreuse a subi une amélioration foncière (ajout de terre). De plus, elle est en culture de curcuma et de gingembre, dont la durée du cycle de culture est d'un an.

III. Variation des stocks de carbone et de ses composantes

1. Variation des densités apparentes

Dans un premier temps, l'annexe 18 montre la tendance générale des variations de la DA en fonction du type de sol, toutes profondeurs confondues, sur 0-40 cm. Ainsi, le type de sol a un fort impact sur les valeurs de DA (p-value <2,2x10-16***) avec la distinction de 3 groupes : des densités faibles pour les sols andiques perhydratés (AP) et non perhydratés (ANP) (0,88 et 0,85 $g.cm^{-3}$ en moyenne respectivement), les sols bruns andiques (BA) seuls et les sols bruns (B) et ferralitiques (F) ensembles, avec les DA les plus élevées, de respectivement 1,42 et 1,39 $g.cm^{-3}$ en moyenne.

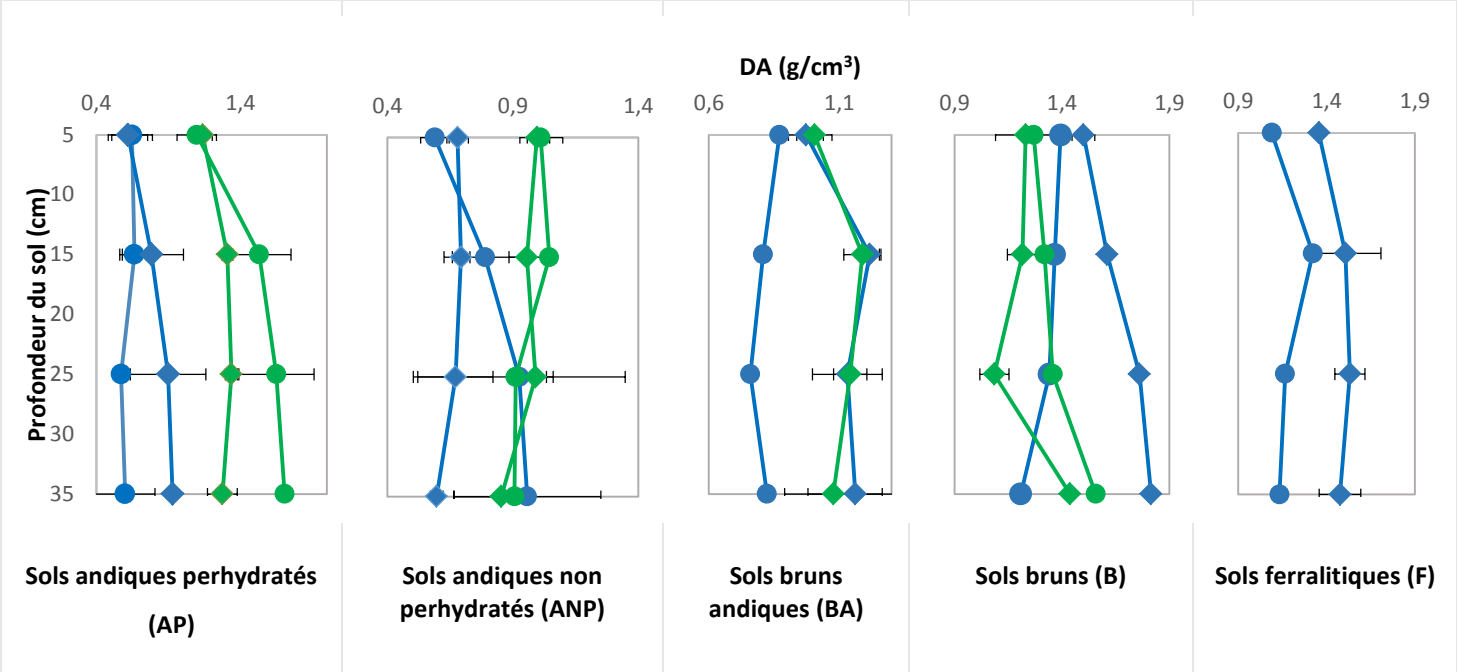
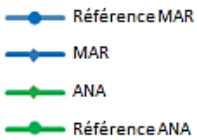


Figure 16: Courbes de densités apparentes sur 0-40 cm par situation et par type de sol



La figue 16 montre les courbes de DA sur 0-40 cm par type de sol. Chaque point représente la DA moyenne sur les 3 carottes de sol (a, b et c). Chaque graphique comporte donc les valeurs de DA pour la culture maraîchère, symbolisée par un losange bleu pour les cultures légumières (MAR) et vert pour l'ananas (ANA). Les rérérences de chacun sont symbolisés par des ronds, de la même couleur que la culture maraîchère. L'annexe 19 permet de compléter ce résultat par les deltas DA entre chaque paire, par profondeur.

Tout d'abord, les cultures légumières présentent des valeurs de DA systématiquement supérieures à leur référence et ces valeurs augmentent en profondeur, sauf pour les situations sur sols ANP. Ces différences sont presque significatives selon Tukey sur sols AP (p-value = 0,064) et significatives sur sols BA, B et F (p-value respectives de 0,0083**, 0,001** et 0,001**). Les différences sont plus contrastées pour les ananas et leurs paires. Sur sols AP et B, les DA ANA sont plus faibles que leurs références tandis que sur sols BA les DA sont nettement plus élevées que la référence (pour ce cas, la même référence a été utilisée pour ANA et MAR). C'est d'ailleurs uniquement sur cette situation ANA que le résultat du test de Tukey est significatif (p-value = 0,013*) Sur sol andique non perhydraté, les DA ANA et de sa paire suivent les mêmes courbes.

De plus, les DA sur les sols andiques sont anormalement élevées sur les paires ANA, avec des valeurs dépassant 0,9 g.cm^{-3} qui est par définition la DA maximale pour un andosol. Sur sols bruns et ferralitiques les DA autour de 1,5 g.cm^{-3} sont également élevées.

Enfin, certains profils sont relativement invariables quelle que soit la profondeur, c'est le cas pour les situations ANA sur sols andiques et MAR sur sols ANP et F.

2. Variation des teneurs en carbone

Dans un premier temps, l'annexe 20 montre la tendance générale des variations de la [C] en fonction du type de sol, toutes profondeurs confondues, sur 0-40 cm. Ainsi, le type de sol a un fort impact sur les [C] (p-value <2,2x10^{-16}***) avec la distinction de 2 groupes : des teneurs élevées pour les sols AP et ANP (respectivement 63 et 42 gC.kg^{-1} en moyenne) et des teneurs assez faibles pour les sols BA, B et F (respectivement 19, 10, et 12 gC.kg^{-1}).

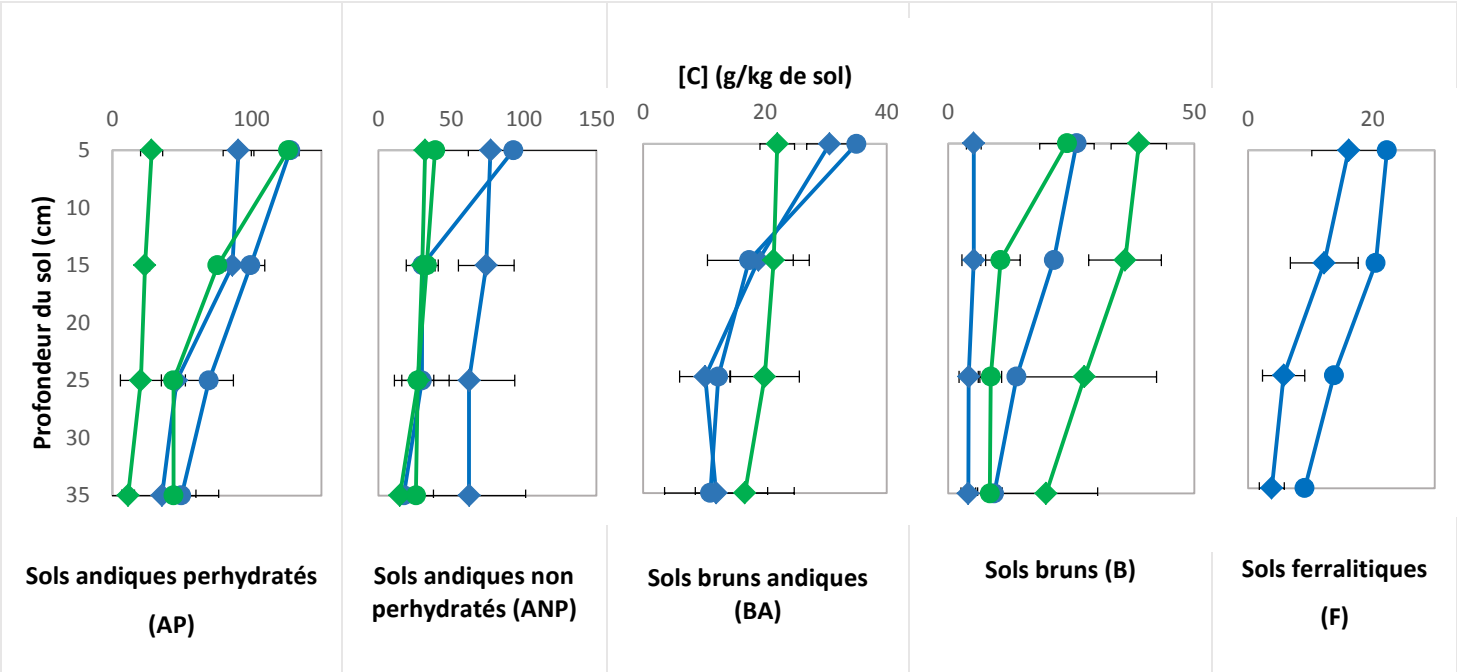
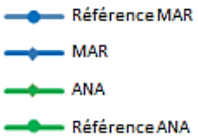


Figure 17: Courbes de teneurs en carbone sur 0-40 cm par situation et par type de sol



La figure 17 présente les courbes de [C] des sols sur 0-40 cm, par type de sol. Chaque graphique présente donc les [C] de chaque situation. Ces résultats sont complétés par l'annexe 21, qui montre les deltas [C] entre chaque paire étudiée.

Tout d'abord, les valeurs de C sont systématiquement plus élevées dans l'horizon de surface (0-10 cm) et chutent en profondeur. Les références MAR présentent également des teneurs en C plus élevées sur sols AP, BA, B et F. Ces différences ne sont cependant pas significatives selon le test de Tukey. Pour les situations ANA, les différences sont contrastées. Sur sols AP et ANP, les [C] sont plus élevées pour la référence. Il en est de même sur sol BA pour l'horizon de surface. Les teneurs sont au contraire significativement plus élevées pour ANA sur sols B (p-value = 1,6x10^{-6}***).

Certaines [C] présentées ici sont particulièrement faibles. C'est le cas de la situation ANA sur sol AP (<30 gC.kg^{-1}). C'est également le cas de la paire ANA sur sols ANP avec des valeurs inférieures à 40. gC.kg^{-1}. Les valeurs autour de 100 gC.kg^{-1} sont plus justes sur andosols. La situation MAR sur sol brun présente aussi des [C] très faibles, de l'ordre de 5 gC.kg^{-1}.

Enfin, il est possible de distinguer graphiquement 2 profils de teneurs en carbone dans les sols : les profils invariables sur toute la profondeur de sol et les profils appauvris en C en profondeur. Les profils invariables sont représentés ici par les situations ANA sur sols AP et BA, la situation MAR sur sol brun ainsi que la paire ANA sur sols ANP.

3. Variation des stocks de carbone

L'annexe 22 décrit la distribution des stocks en carbone (SCO) des sols en fonction du type de sol. Les SCO sont nettement supérieurs sur sols andiques (entre 100 et 250 tC.ha^{-1}) que sur les autres sols, qui présentent des SCO entre 40 et 100 t.ha^{-1}. Le test de Kruskal-Wallis confirme cette tendance avec une p-value de 0,016*.

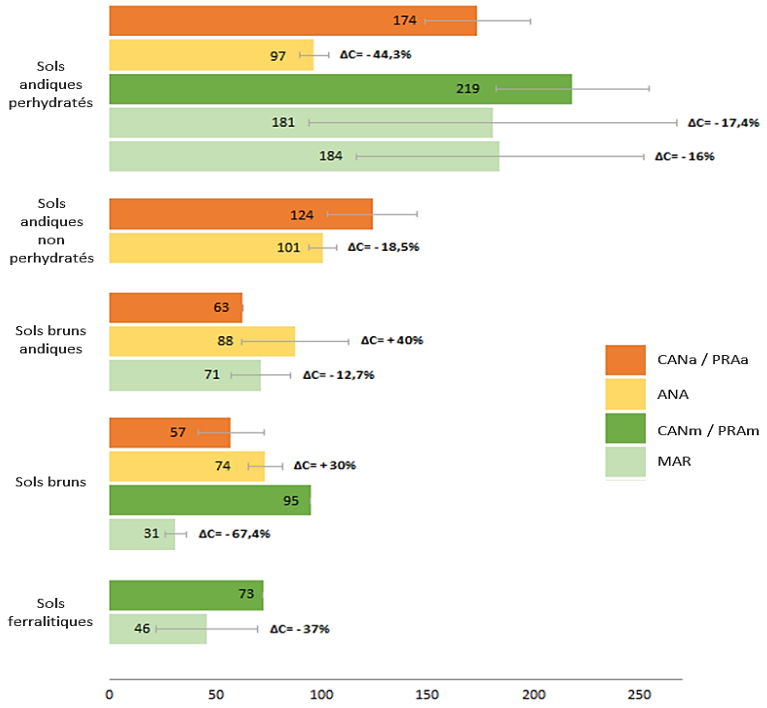


Figure 18: Stocks en carbone organique des sols sur 0-40 cm à profondeurs équivalentes en fonction du type de sol et de son occupation

La figure 18 présente les stocks en carbone moyens des sols (moyenne des carottes a, b et c) pour une profondeur de 40 cm (somme des stocks de chaque horizon de 10 cm). Le graphique permet de distinguer les types de sols et leur occupation, avec les cultures légumières en vert clair, leurs références en vert plus foncé, les ananas en jaune et leurs références en orange.

Tout d'abord, la situation MAR sur sol ANP a été reclassée dans les sols AP après avoir remarqué des valeurs de DA et de [C] cohérentes avec la classe de sol AP. La situation qui lui servait de référence a été écartée (friche). La similarité des SCO entre les 2 situations MAR sur sols AP

permet de confirmer l'hypothèse que cette situation se trouvait classée dans une mauvaise unité de sol.

Les SCO suivent le gradient d'altération du sol, c'est-à-dire que graphiquement, ceux-ci sont plus élevés sur les sols andiques que sur sols ferralitiques. De plus, hormis les situations sur sols BA et la paire ANA sur sol B, les ΔC sont négatifs. Ce qui montre un déstockage de carbone en situations maraîchères par rapport à la référence. Ces ΔSCO, exprimés en pourcentages, montrent que ces différences sont importantes puisqu'elles vont de -12,7% à -67,4%.

L'ensemble des situations observées ne permettent cependant pas de comparer les variations de SCO entre ANA et MAR par type de sol.

Enfin, les situations MAR sur sols AP présentent toutes les deux des écarts-types importants, ce qui montre une grande hétérogénéité des SCO au sein de chacune de ces parcelles.

Rapport-Gratuit.com

Partie 4 : Discussion

I. Hiérarchisation des déterminants du carbone - Base de données LIMS

Comme l'avait montré F. Gogé dans son travail sur les prélèvements issus de la BDD LIMS sous canne à sucre (GOGE, 2014) le type de sol (selon le code STIPA) est le premier déterminant des [C] dans les sols (cf. annexe 23). La différenciation entre les andosols, perhydratés ou non perhydratés (figure 12) et les autres sols suggère que la teneur en allophanes des sols permet de distinguer ces 2 groupes (ALBRECHT, 1992). En effet, la grande porosité des molécules d'allophanes leur confère une grande surface d'échange, 10 à 100 fois supérieure aux argiles des sols bruns et ferralitiques (BLANCHART, 2002 ; CIRAD, 1988). De plus, comme on peut le voir sur la figure 10, les prélèvements réalisés sur sols AP concernent majoritairement la prairie, qui présente généralement un réservoir de carbone organique important puisqu'elle n'engendre pas de travail du sol et n'induit donc pas de minéralisation de la matière organique (BLANCHART, 2002 ; RAZAFIMBELO-ANDRIAMIFIDY *et al.,* 2010). Le système racinaire alors conservé peut également restituer la MO et donc le C au sol (SPARKS, 2003). Il parait ainsi cohérent que les sols AP présentent les teneurs les plus élevées en C.

En revanche, le mode d'occupation du sol ne permet d'expliquer que 6 % de la variabilité des [C] sur ces échantillons, d'après le modèle BRT. Ce résultat peut cependant être biaisé par l'inégalité de la distribution des cultures sur les unités pédologiques. La prairie par exemple n'est présente que sur sols AP. Au contraire, les autres cultures sont présentes sur une plus grande diversité de sols de l'île.

Cette approche à partir de la BDD LIMS n'a permis de distinguer que certaines cultures sur sols andiques, notamment sur sols ANP où les [C] sous maraîchage sont significativement plus faibles. L'explication peut être double :

- La diminution des [C] dans les sols andiques sous maraichage peut être due à l'altération irréversible des allophanes suite à leur dessiccation à l'air (cf. question de recherche Q1). Causée par des opérations trop fréquentes de travail du sol, cette altération entrainerait la diminution de la surface d'échange des allophanes et leur capacité de liaison avec les MO (CIRAD, 1988) ;
- Si la culture de canne à sucre est très bien représentée dans la BDD (cf. figure 10), il n'en est pas de même pour les 3 autres cultures. En effet, ces analyses de sols sont obligatoires pour les productions bénéficiant d'aides européennes (dont les producteurs de canne à sucre). Même si la répartition des cultures semble correspondre à la réalité, le nombre d'échantillon (n) par culture est assez faible (<500 prélèvements) et le ratio entre l'échantillonnage (n) de ces cultures et celui de la canne à sucre sur l'ensemble de la BDD est d'environ 16. Les [C] observées pour ces cultures ne sont donc peut-être pas représentatives de la réalité. Il est par exemple possible que les producteurs ayant réalisé ces analyses de sol soient les plus attentifs à la fertilité et à la santé de leur sol

(BALDOCK & SKJEMSTAD, 1999). Dans ce cas, les échantillons de la BDD LIMS sous culture maraîchère peuvent surestimer des [C].

Cette exploration de la base de données LIMS dans le but de répondre aux questions de recherche 1 et 2 montre qu'il est nécessaire de connaitre plus en détail les pratiques culturales des agriculteurs liées au stockage du carbone pour pouvoir tirer des conclusions quant à l'impact réel des cultures sur le C du sol.

II. Densités apparentes

L'annexe 18 illustre l'impact des teneurs en allophanes des sols sur les DA (DA andosols < sols brun andiques < sols bruns et ferralitiques), avec une différence importante entre les deux valeurs moyennes extrêmes (0.85 et 1.42 $g.cm^{-3}$) de 0,67 $g.cm^{-3}$. Les faibles densités apparentes des andosols sont dues à la structure globulaire et très poreuse des molécules d'allophanes (LEGROS, 2007).

D'après la figue 16, les DA MAR sont supérieures au DA de leur paire, sauf sur sol ANP. Ceci peut s'expliquer par la durée du cycle de culture de 4 mois au maximum pour l'ensemble des situations, qui oblige une préparation du sol importante entre chaque plantation. En effet, en se référant au tableau 1, on constate que les situations MAR présentent toutes un nombre d'opérations de travail du sol et un trafic au champ par an supérieur aux ANA. Ceci peut expliquer la différence plus marquée entre les paires MAR qu'entre les paires ANA. Les pratiques de travail du sol ainsi que le trafic au champ entrainent une perte de la microporosité du sol, présente dans les agrégats (JARECKI & LAL, 2003). Les sols alors plus compacts ont une masse supérieure pour un même volume, ce qui explique l'augmentation de la DA.

Deux situations sont cependant contre intuitives :

- La situation MAR sur sol brun qui présente un faible trafic au champ et peu d'opérations de travail du sol mais qui montre pourtant des DA élevées. Ceci peut s'expliquer par la nature du sol observée sur le terrain et particulièrement sa texture sableuse. En effet, les sols sableux, non structurés, sont très peu poreux, ce qui explique des DA élevées (HOOGMOED & KLAIJ, 1994).
- La situation MAR sur sol ANP où les DA sont inférieures à la situation de référence. Ce site correspond à la mise en culture la plus récente de tous les prélèvements maraîchers. Il est possible que deux années de culture maraîchères sur sol ANP ne permettent pas d'apprécier les impacts des pratiques culturales sur les DA du sol (BLANCHART, 2002). Il est aussi possible que le témoin attribué ne corresponde pas au même matériau et que la comparaison entre les deux situations soit inappropriée. En effet, la friche utilisée comme référence se trouvait sur une bute, à proximité de la parcelle.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Pour les situations ANA, les comparaisons avec leurs paires sont parfois plus compliquées :

- Sur sols AP, les DA anormalement fortes pour un andosol (> à 0,9 g/cm^3) sont expliquées par la pierrosité élevée du site de référence d'une part, en moyenne de 50% contre 0.01% pour le site ANA. La deuxième explication probable est la nature du sol. En effet, la carte simplifiée des sols annonce un sol AP alors qu'il s'agit en réalité d'un cône de déjection de matériaux divers issus des Hauts de l'île avec dépôts d'alluvions. Ainsi, même si ce sol a un caractère andique, il ne s'agit pas d'un andosol.
- Sur sols ANP, la référence utilisée pour le site ANA se situe à 400 m d'altitude, contre 715 m pour la parcelle d'ananas. Cette différence est importante et explique certainement une distinction entre les 2 types de sols. En effet, la parcelle de canne de référence (32) est située à la limite des sols bruns andiques (cf. figure 16). Les DA mesurées sont par ailleurs élevées pour un sol andique (proche de 1 g.cm^{-3}), mais également pour un sol de canne à sucre. En effet, cette parcelle en culture de canne depuis 10 ans n'a pas subi d'opération de travail du sol depuis cette date et ne reçoit qu'un passage de tracteur par an, au moment de la récolte. La similarité de ces 2 situations serait donc expliquée par une erreur de classification des unités pédologiques et non par les pratiques culturales.
- Sur sols BA, les DA ANA sont significativement plus élevées que les DA de sa paire. Pourtant les pratiques culturales de travail du sol sont limitées à une fois par an, avec un travail du sol relativement superficiel (25 cm) et un trafic au champ réduit (2 fois par an). Une fois encore, il est possible que la référence CAN utilisée soit trop éloignée du site ANA (563 m d'altitude contre 450 pour l'ananas). Il est également possible que cette référence, proche de de la limite des sols ANP appartienne en fait à la mauvaise unité de sol, ce qui expliquerait les faibles DA sur ce site, autour de 0.8 g.cm^{-3}. Enfin, il est tout de même possible que cette différence soit due aux pratiques culturales.

Trois des situations maraîchères étudiées sont en culture depuis au moins 10 ans (MAR_AP, ANA_B et MAR_F). Parmi elles, seule MAR_F présente des DA supérieures à sa paire, depuis l'horizon de surface. Il est possible que la répétition des opérations de travail du sol ait entrainé la compaction du sol. De plus, aucun amendement organique n'est apporté sur cette parcelle depuis 40 ans, ce qui peut expliquer une dégradation de la structure et de la microporosité du sol et une augmentation de la DA (JARECKI & LAL, 2003).

Enfin, la situation ANA_B est la seule sur laquelle on constate l'effet de la profondeur du sol sur sa compaction et donc sur la DA. En effet, les premiers 25 cm sont travaillés, ce qui entraine certainement la formation d'une semelle de labour provoquant l'augmentation de la DA sur l'horizon 30-40cm.

III. Teneurs en carbone

Le résultat de l'annexe 20 confirme que les sols AP et ANP contiennent des teneurs en C supérieures, grâce à la teneur en allophanes et à leurs propriétés de rétention de la MO (CIRAD, 1988).

Sur la figure 17, les teneurs en C sont globalement plus élevées dans l'horizon de surface (0-10 cm). Cette différence de [C] selon les horizons est d'ailleurs plus marquée sur les situations de référence (canne à sucre), ce qui peut être expliqué par la restitution au sol des résidus de culture et par le non-enfouissement de ces résidus dans le sol. En effet, les résidus de canne des situations étudiées apportent entre 7,2 et 14,84 $tMO.ha^{-1}$ (cf. annexe 14), comme l'affirme la bibliographie (POUZET, 2011).

Au contraire, les profils sont beaucoup moins variables en fonction de la profondeur sur les situations maraîchères (MAR et ANA). Ceci peut être dû à une homogénéisation du C dans les différents horizons par travail du sol mais aussi un manque de restitutions en C à la parcelle. C'est en effet le cas pour les situations ANA sur sol AP et BA. D'autre part, les profils de [C], identiques sur sol BA entre la situation MAR et sa paire montrent que l'apport important de MO à la parcelle (25tMO/ha/an) peut permettre de maintenir les [C] au niveau de la référence.

Sur sol ferralitique, les teneurs en carbone observées sont très faibles, notamment pour la situation MAR avec des teneurs inférieures à 20 $gC.kg^{-1}$ et presque nulles en profondeur. Ces résultats peuvent être expliqués par la plupart des pratiques culturales de l'agriculteur : pas de restitutions de matière organique sous forme d'amendements, 4 travaux du sol par an et un trafic au champ, plutôt important, de 8 passages par an et ce, depuis 40 ans. Ceci peut expliquer que le sol soit particulièrement appauvri en MO, bien que la référence CAN montre également de faibles teneurs.

IV. Stocks en carbone

La figure 18 permet de montrer la dynamique de stockage du carbone dans les sols en fonction de la culture, grâce aux ΔC. Ceux-ci, en majorité négatifs, montrent une tendance au déstockage du carbone des sols sous cultures maraîchères, validant la deuxième question de recherche. Le nombre de situations et notamment le nombre de situations particulières, détaillées précédemment, ne permettent pas de confirmer l'hypothèse que les cultures d'ananas, de par la durée de leur cycle de culture, sont favorables au stockage du carbone en comparaison du maraîchage.

D'autre part, les pertes de C dans les sols sous cultures légumières (MAR) sont très variables, puisqu'elles sont de l'ordre de 20% sur les sols andiques perhydratés, de 40% sur sol ferralitique et atteignent 67% sur sol brun. Cette différence supérieure sur sols B et F s'explique par l'absence

d'amendement organique aux parcelles de ces deux situations, contrairement aux situations sur sols AP avec des apports de 6 et 9 tMO/ha/an. Ce résultat ne permet pas de valider la 1ère question de recherche, affirmant que l'impact des pratiques culturales défavorables au stockage du carbone (trafic au champ important, travail du sol profond et répété) est plus marqué sur les sols allophaniques, en raison des propriétés des molécules d'allophanes : dessiccation irréversible à l'air entrainant une diminution de leur surface d'échange et une diminution des liaisons avec les MO (CHABALIER *et al.,* 2006).

Dans le cas d'une comparaison entre différentes cultures et donc entre différentes pratiques culturales, il est intéressant d'exprimer les SCO en masse équivalente. En effet, l'aération du sol juste après un labour ou au contraire la compaction du sol par la formation d'une semelle de labour ou par un trafic au champ trop important peuvent entrainer des variations de masse du sol par profondeur, comme le montre la figure 19 (ELLERT & BETAANY, 1995). Ainsi, la comparaison de SCO entre des cultures ayant des pratiques de travail du sol différentes, telle que la comparaison entre la canne à sucre et le maraîchage, est délicate à profondeur équivalente. Cependant, l'annexe 24 présentant les SCO à masse équivalente n'apporte pas d'informations supplémentaires à la figure 18.

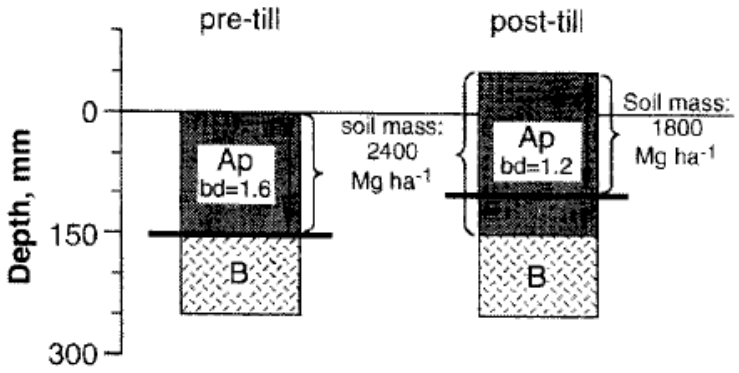


Figure 19: Impact du labour sur les propriétés physiques du sol: horizons, densité apparente et masse (ELLERT & BETAANY, 1995)

V. Discussion du protocole

Le protocole utilisé pour répondre à la question de recherche devra être adapté pour apporter des réponses quantitatives plus fiables.

Tout d'abord, la discussion des résultats met en avant la difficulté de comparer les pratiques culturales de deux exploitations agricoles issues de contextes pédoclimatiques différents, d'autant plus à La Réunion, où la variabilité spatiale du C est importante (milieu volcanique et multiples pédoclimats). Il aurait été préférable pour cette étude de disposer de situations comparables en

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

termes de sol et de climat. Pour cela, les paires étudiées à l'avenir devront être éloignées d'une 100^{aine} de mètres au maximum.

Cette analyse, et plus généralement le projet C@RUN, ont également permis de mettre en évidence des erreurs de zonation et de définition des types de sols sur la carte pédologique simplifiée de La Réunion. Il existe donc une nécessité de revisiter cette carte afin de pouvoir s'y fier entièrement.

Une des limites importantes à ce travail est également l'absence de répétitions par unité de sol, ce qui empêche la réalisation de tests statistiques robustes et donc la preuve statistique des tendances exprimées. Cela ne permet pas non plus de savoir si les pratiques agricoles enquêtées sont représentatives des cultures réunionnaises ou s'il s'agit de cas particuliers. La réalisation d'une typologie des systèmes maraîchers est donc indispensable pour la suite du projet.

Certains paramètres impactant théoriquement les SCO auraient aussi pu être enquêtés. Il aurait par exemple été intéressant de regarder l'impact de la fertilisation minérale (azote minéral, urée…) sur les stocks de C dans les sols. En effet, un la fertilisation minérale permet une augmentation de la production de biomasse et donc une augmentation possible des restitutions de MO à la parcelle. Cela aurait aussi permis d'avoir une vue exhaustive des pratiques des agriculteurs sur le SCO, comme l'ont par exemple fait LU *et al.* (2011). Cependant, comme le montre leur analyse, l'impact de cette fertilisation semble faible sur les SCO. De plus, les agriculteurs enquêtés n'étaient pas systématiquement au courant de manière précise des produits et surtout des doses de fertilisants apportés à leur parcelle.

Conclusion

Cette étude est basée sur le postulat que le principal déterminant du stockage du carbone est le type de sol (GOGE, 2014). De plus elle cherche à répondre à la question générale de recherche: Quel est l'impact des pratiques culturales maraîchères (cultures légumières et ananas) sur le stockage du carbone dans les sols réunionnais. Afin de répondre à cette interrogation, plusieurs sous-questions ont été mise en place, dont les principales conclusions sont les suivantes :

- L'analyse de la base de données LIMS suggère que les sols allophaniques sont plus sensibles aux pratiques culturales défavorables au stockage du carbone dans les sols, avec des [C] significativement plus faibles sous cultures légumières. L'analyse des SCO ne permet cependant pas de confirmer cette tendance puisque les différences de stocks observées entre la culture maraîchère et sa référence sont plus élevées sur sols bruns et ferralitiques que sur sols andiques.
- L'analyse des stocks de carbone des sols permet de différencier les cultures référentes des cultures légumières mais ne permet pas de comparer les stocks entre cultures légumières et d'ananas. Les diminutions des SCO des sols sous cultures légumières en fonction de sa référence sont cependant plus marquées que les diminutions des SCO des sols sous ananas.
- Les densités apparentes augmentent dans la majorité des situations maraîchères. Ces résultats sont plus contrastés pour les situations en culture d'ananas.
- Les teneurs en carbone des situations maraîchères sont plus faibles que pour leurs références, avec un profil de [C] peu variable selon la profondeur du sol, ce qui suggère que peu de restitutions en MO sont faites à la parcelle et que cette MO est brassée sur les différents horizons du sol par le travail du sol.

La principale limite rencontrée dans cette étude est la méthodologie choisie pour le choix des sites de prélèvement. En effet, le choix de l'exhaustivité des types de sol n'a permis de couvrir qu'une situation par type de maraîchage sur chaque type de sol, ce qui rend les résultats difficilement interprétables (non prouvés statistiquement) et quantifiables. Les anomalies rencontrées sur l'identification des sols définis par la carte pédologique simplifiée de La Réunion a également rendu cette analyse difficile. Cette carte mérite donc d'être revue afin principalement d'ajuster la zonation des types de sols. Enfin, l'interprétation des résultats est rendue difficile en raison de paires trop éloignées sur la carte, en termes d'attitude, de types de sols et de pierrosité.

Avant de poursuivre les campagnes de terrain pour le projet, il serait intéressant de déterminer la contribution respective de chacune des variables explicatives des SCO : la DA et la [C]. Cette connaissance pourrait en effet orienter les futures acquisitions de données *in-situ* et permettre de se concentrer sur les situations encore non explorées, comme l'acquisition de spectres infra-rouge supplémentaires sur sols maraîchers.

Il pourrait également être pertinent d'attribuer des DA ainsi qu'une estimation d'éléments grossiers aux échantillons existants dans la base de données LIMS (45 000 échantillons) afin de prédire des SCO et de spatialiser ces stocks à l'échelle de La Réunion. Cette analyse serait possible grâce aux données récoltées sous canne à sucre, prairie et maraîchage (cultures légumières et ananas) depuis le commencement du projet C@RUN et permettrait une première spatialisation des stocks de carbones organiques dans le cadre de ce projet.

Bibliographie

Agreste La Réunion, 2013. *La production maraîchère à La Réunion.* [En ligne]
Available at: agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/D97413A02.pdf
[Accès le 26 Janvier 2017].

ALBRECHT, A., 2015. *C@RUN, Les carbone des sols, contexte et éléments de compréhension.* Saint-Denis, La Réunion

ALBRECHT, A. B. M. C. J. F. C., 1992. Soil organic matter storage in the main cultivated soils of Martinique, Lesser Antilles. *Cahiers - ORSTOM, Série Pédologie,* Volume 27, pp. 23-36.

BAI, Z., DENT, D., OLSSON, L. & SCHAEPMAN, M., 2008. Proxy global assesment of land degradation. *Soil use and management,* Volume 24, pp. 223-234.

BAKER, J., OCHSNER, T., VENTEREA, R. & GRIFFIS, T., 2007. Tillage and soil carbon sequestration - What do we really know?. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* Volume 118, pp. 1-5.

BALDOCK, J. & SKJEMSTAD, J., 1999. *Soil organic carbon/soil organic matter. In: Soil Analysis: An Interpretation Manual.* 1ère éd. Victoria, Australie: PEVERILL, K.I.; SPAROW, L.A., REUTER, D.J..

BANWART, S. et al., 2015. *The Global Challenge for Soil Carbon. In: Soil carbon: Science, Management and Policy for Multiples Benefits.* 1ère éd. Croydon, UK: BANWART, S.A; NOELLEMEYER, E.; MILNE, E.

BATIONO, A., waswa, B. & KIHARA, J., 2015. *Soil Carbon and Agricultural Productivity. In: Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits.* 1ère éd. Croydon, UK: BANWART, S.A; NOELLEMEYER, E.; MILNE, E.

BATJES, N., 2001. Options for increasing carbon sequestration in West African soils: an exploratory study with special focus on Senegal. *Land Degradation and Development,* Volume 12, pp. 131-142.

BLAIR, N., 2000. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research,* Volume 55, pp. 183-191.

BLANCHART, E. B. M., 2002. *Déterminants des stocks de carbone des sols des petites Antilles. Alternative de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés.* Montpellier: IRD.

BOHN, H., McNEAL, B. & O'CONNER, G., 1985. *Soil Chemistry.* 2e éd. New-York: John Wiley & Sons.

BRUCE, J. et al., 1999. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation,* Volume 54, pp. 382-389.

CALVET, R., CHENU, C. & HOUOT, S., 2011. *Les matières organiques des sols: Rôles agronomiques et environnementaux.* 1ère éd. Paris: La France agricole.

CATHERINE, E. & STEWART, K., 2007. Soil C saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry,* Volume 86, pp. 19-31.

CHABALIER, P.-F., VAN DE KERCHOVE, V. & SAINT MACARY, H., 2006. *Guide de la fertilisation organique à La Réunion.* 1ère éd. Saint-Denis, La Réunion: Chambre d'agriculture Réunion.

CHABALIER, P.-F., VAN DE KERCHOVE, V. & SAINT MACARY, H., 2006. *Le sol, milieu vivant et complexe. In : Guide de la fertilisation organique à La Réunion.* Saint-Denis, La Réunion: Chambre d'Agriculture Réunion.

Chambre d'Agriculture Réunion. *Les productions végétales.* [En ligne]
Available at: http://www.reunion.chambagri.fr/spip.php?rubrique56
[Accès le 31 Janvier 2017].

CIRAD, 1988. *Les andosols de l'île de La Réunion,* Saint-Denis, La Réunion: CIRAD.

CIRAD, 2015. *Le projet C@RUN en bref.* [En ligne]
Available at: http://carun.re/index.php/projet
[Accès le 29 Janvier 2017].

CITEAU, L., BISPO, A. & BARDY, M. K. D. c., 2008. *Gestion durable des sols.* 1ère éd. Versailles: Editions Quae.

CITEPA, 2008. *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France -séries sectorielles et analyses étendues*

CNRS, 2016. *Le cycle du carbone.* [En ligne]
Available at: http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelaterreaulycee/contenu/dyn_ext2-1.htm
[Accès le 18 juillet 2017].

CORBEELS, M. et al., 2016. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. *Scientific Reports,* Volume 6, pp. 1-8.

DAAF de La Réunion, 2016. *Canne.* [En ligne]
Available at: http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/Canne,105
[Accès le 26 Janvier 2017].

DEFOS DU RAU, J., 1960. Le relief de l'île de la Réunion. Etude de morphologie volcanique. *Revue de géographie alpine,* Volume 48, pp. 551-552.

Rapport-Gratuit.com

DIMASSI, B. et al., 2014. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* Volume 188, pp. 134-146.

ELLERT, B. & BETAANY, J., 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored i soil under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science,* Volume 75, pp. 529-538.

GIRARD, M., WALTER, C. R. J., BERTHELIN, J. & MOREL, J., 2011. *Le sol: élément central de la biosphère et régulateur des grands équilibres. In: Sols et environnement.* 1ère éd. Paris: Dunod.

GOGE, F., 2014. *Préparation, Exploration de la base d'analyse des sols du laboratoire du CIRAD Saint-Denis. Application CARBONE,* Saint-Pierre, La Réunion: CIRAD.

GRAHAM, M., HAYNES, R. & MEYER, J., 2002. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *European Journal of Soil Science,* 53(4), pp. 589-598.

HOOGMOED, W. & KLAIJ, M., 1994. *Caractéristiques physiques des sols. In: Le travail du sol pour une agriculture durable.* 1ère éd. Rome, Italie: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

HOUGHTON, R., 2007. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Biochemistry,* Volume 35, pp. 313-347.

Italpollina, 2017. *Italpollina.* [En ligne]
Available at: http://www.italpollina.fr/fr/Produit/10/PHENIX
[Accès le 8 août 2017].

JACQUES, G. & SAUGIER, B., 2008. *Les puits de carbone.* 1ère éd. Paris: Lavoisier.

JARECKI, M. & LAL, R., 2003. Crop Management for soil carbon sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences,* 22(6), pp. 471-502.

JENNY, H., 1941. *Factors of Soil Formation.* New-York: McGraw-Hill.

JOBBAGY, E. & JACKSON, R., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and it's relation to climate and vegetation. *Ecological Applications,* Volume 10, pp. 423-436.

LA SCALA, N., BOLONHEZI, D. & PEREIRA, G., 2006. Short-term soil CO2 emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil tillage Research,* Volume 91, pp. 244-248.

LAL, R., 2001. World Cropland Soils as a Source or Sink for Atmospheric Carbon. *Advances in Agronomy,* Volume 71, pp. 145-191.

LAL, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International,* Volume 29, pp. 437-450.

LAL, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science,* Volume 304, pp. 1623-1627.

LEGROS, J.P., 2007. *Les grands sols du monde.* 1ère éd. Lausanne: Presses politechniques et universitaires romandes.

LITTON, C. & GIARDINA, C., 2008. Belowground carbon flux and partitioning: Global patterns and response to temperature. *Functional Ecology,* Volume 22, pp. 941-954.

LOVELAND, P. & WEBB, J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research,* Volume 70, pp. 1-18.

LU, M. et al., 2011. Minor stimulation of soil carbon storage by nitrogen addition: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* Volume 140, pp. 234-244.

LUO, Z., WANG, E. & SUN, O., 2010. Soil carbon change and its responses to agricultural paractices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. *Geoderma,* Volume 155, pp. 211-223.

MARTIN, M. et al., 2011. Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences,* Volume 8, pp. 1053-1065.

MATHIEU, C. & LOZET, J., 2011. *Dictionnaire encyclopédique de science du sol.* 1ère éd. Paris: Editions TEC & DOC.

MEA, 2005. *Ecosystems and human Well-being: Synthesis.* 1ère éd. USA: Island Press.

Météo France, 2014. *Climat de La Réunion.* [En ligne]
Available at: http://www.meteofrance.re/climat/description-du-climat
[Accès le 14 août 2017].

Ministère de l'Agriculture, 2015. *4 pour 1000.* [En ligne]
Available at: http://4p1000.org/comprendre
[Accès le 17 juillet 2017].

OGLE, S., BREIDT, F. & PAUSTIAN, K., 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry,* Volume 72, pp. 87-121.

POUZET, D., 2011. *Production durable de biomasse. La lignocellulose des poacées.* 1ère éd. Paris: Editions Quae.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

POUZET, D., LETOURMY, P. & LEGIER, P., 2003. *Evaluation de la fertilité des sols réunionnais cultivés, à partir des conseils en fertilisation de la canne à sucre.* 1ère éd. Saint-Denis, La Réunion: CIRAD.

POWLSON, D. et al., 2016. Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agro-ecosystems? *Agriculture, Ecosystems and Environment,* Volume 220, pp. 164-174.

QUERO, S., 2017. *Evaluation des stocks en carbone des sols agricoles réunionnais par spectrométrie moyen infrarouge (MIR),* Nancy: ENSAIA, Université de Lorraine.

RABETOKOTANY-RARIVOSON, N. et al., 2015. Changes in soil organic carbon (SCO) stocks after forest conversion in humid ecoregion of Madagascar. *XIV World Forestry Congress.*

RAKOTOVAO, N. et al., 2016. Carbon footprint of smallholder farms in Central Madagascar: The integration of agroecological practices. *Journal of Cleaner Production,* pp. 1-11.

RAUNET, M., 1991. *Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole.* Montpellier: CIRAD.

RAZAFIMBELO-ANDRIAMIFIDY, T. et al., 2010. Stockage de carbone dans les sols sous systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal (SCV) dans différents contextes pédoclimatiques à Madagascar. *Etude et Gestion des Sols,* 17(2), pp. 143-158.

RAZAFIMBELO, T. et al., 2015. Climate smart practices impact soil organic carbon storage in Madagascar. *Conférence: Climate Smart Agriculture.*

ROSIES, B., 2016. *Pratiques agricoles et longévité des plantations de canne à sucre à La Réunion, quelles interactions avec les stocks de carbone des sols?,* Paris: AgroParisTech.

SOANE, B. et al., 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and apportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research,* Volume 118, pp. 66-87.

Sobac, 2011. *Sobac.* [En ligne]
Available at: http://www.sobac.fr/pages/bacteriosol.php
[Accès le 8 août 2017].

SOMBROEK, W., NACHTERGAELE, F. & HEBEL, A., 1993. Amounts, Dynamics and Sequestering of Carbon in Tropical and Subtropical Soils. *Ambio,* 22(7), pp. 417-426.

SPARKS, D., 2003. *Chemistry of Soil Organic Matter, In: Environmental Soil Chemistry.* 2e ed. New-York: Academic Press.

STERN, M., 2016. *Evaluation par spectroscopie infra-rouge des stocks en carbone des sols agricoles réunionnais. Mesures in-itu et construction de modèles de prédictions,* Strasbourg: Faculté de Géographie et d'Aménagement de Strasbourg.

STEVENSON, F., 1982. *Humus chemistry.* New-York: John Wiley and Sons.

UNFCCC, 2014. *Le protocole de Kyoto.* [En ligne]
Available at:
https://unfccc.int/portal_francophone/essential_background/kyoto_protocol/items/3274.php
[Accès le 30 janvier 2017].

VENKATAPEN, C., 2012. *Etude des déterminants géographiques et spatialisation des stocks de carbone des sols de la Martinique,* Pointe-à-Pitre (Antilles-Guyane): s.n.

Vivéa, 2015. *Vivéa, la coopérative.* [En ligne]
Available at: http://www.vivea.re/
[Accès le 4 Août 2017].

ZINN, Y., LAL, R. & RESCK, D., 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research,* 84(1), pp. 28-40.

Table des annexes

Annexe 1: Carte géologique de La Réunion 1

Annexe 2: Moyennes des températures selon l'altitude 1

Annexe 3: Classement des six grands types de sol en fonction de leur fertilité chimique et de leur acidité 2

Annexe 4 : Carte morpho-pédologique des sols de La Réunion 2

Annexe 5: Structure d'une molécule d'allophane 3

Annexe 6: Climatoséquence des sols de la Réunion 3

Annexe 7: Effet des pratiques culturales sur la minéralisation de la matière organique 4

Annexe 8: Fiche d'enquête type 5

Annexe 9: Comparaison des deux méthodes de mesure de densité apparente 7

Annexe 10: Déroulement du prélèvement et du traitement d'une carotte de sol sur le terrain 7

Annexe 11: Récapitulatif des manipulations réalisées sur les échantillons de sol 8

Annexe 12: Equivalences matière organique/produit amendant (kg/t de produit brut apporté) 9

Annexe 13: Calcul de la matière organique apportée/ha/an sur les situations maraîchères (MAR et ANA) 9

Annexe 14: Récapitulatif des étapes d'obtention de la quantité de matière organique apportée en t/ha/an sur les situations canne à sucre (CAN) 10

Annexe 15: Distribution des teneurs en carbone des sols sur 0-30 cm par type de sol et en fonction de son occupation – exploration de la base de données LIMS 11

Annexe 16: Présentation des sites étudiés par paires 12

Annexe 17: Détails des situations maraîchères étudiées 12

Annexe 18: Dispersion des densités apparentes des échantillons sur 0-40 cm en fonction du type de sol 13

Annexe 19: Deltas densités apparentes entre les cultures maraîchères et leurs témoins respectifs .. 14

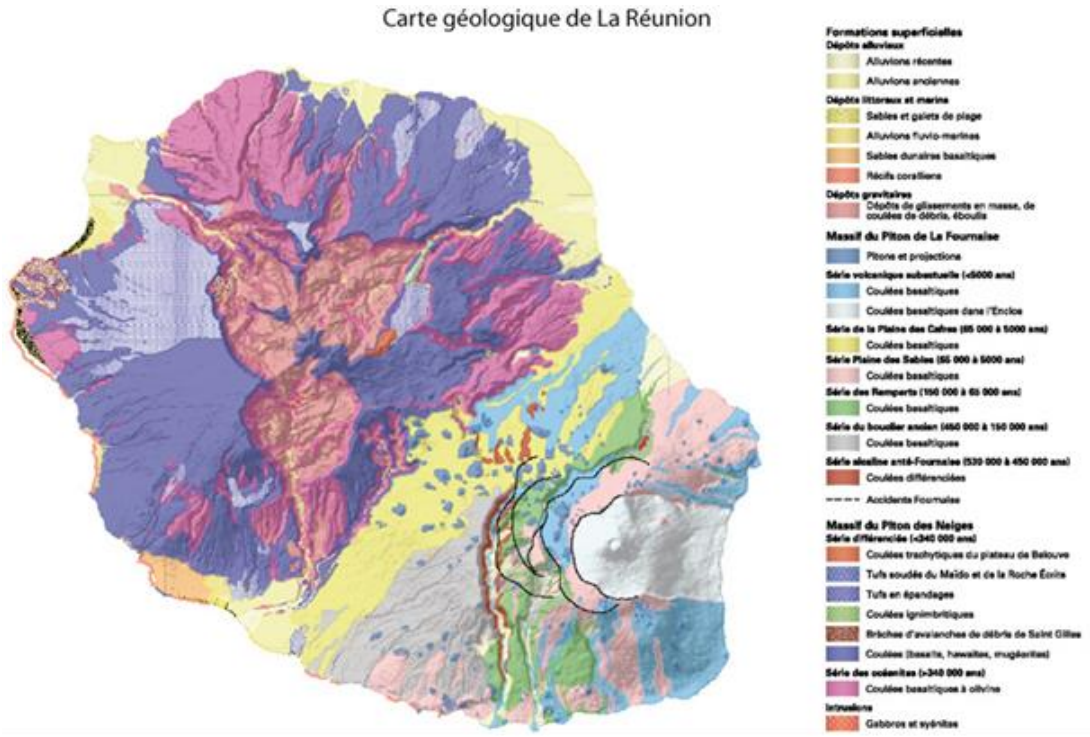
Annexe 20: Dispersion des teneurs en carbone des échantillons sur 0-40 cm en fonction du type de sol 15

Annexe 21: Deltas teneurs en carbone entre les cultures maraîchères et leurs témoins respectifs ... 16

Annexe 22: Distribution des stocks de carbone organique à profondeurs équivalentes sur 0-40 cm en fonction du type de sol..... 17

Annexe 23: Importance relative des variables du sol par rapport à la teneur en carbone des échantillons (%) 17

Annexe 24: Stocks en carbone organique des sols sur 0-40 cm à masse équivalente en fonction du type de sol et de son occupation 18



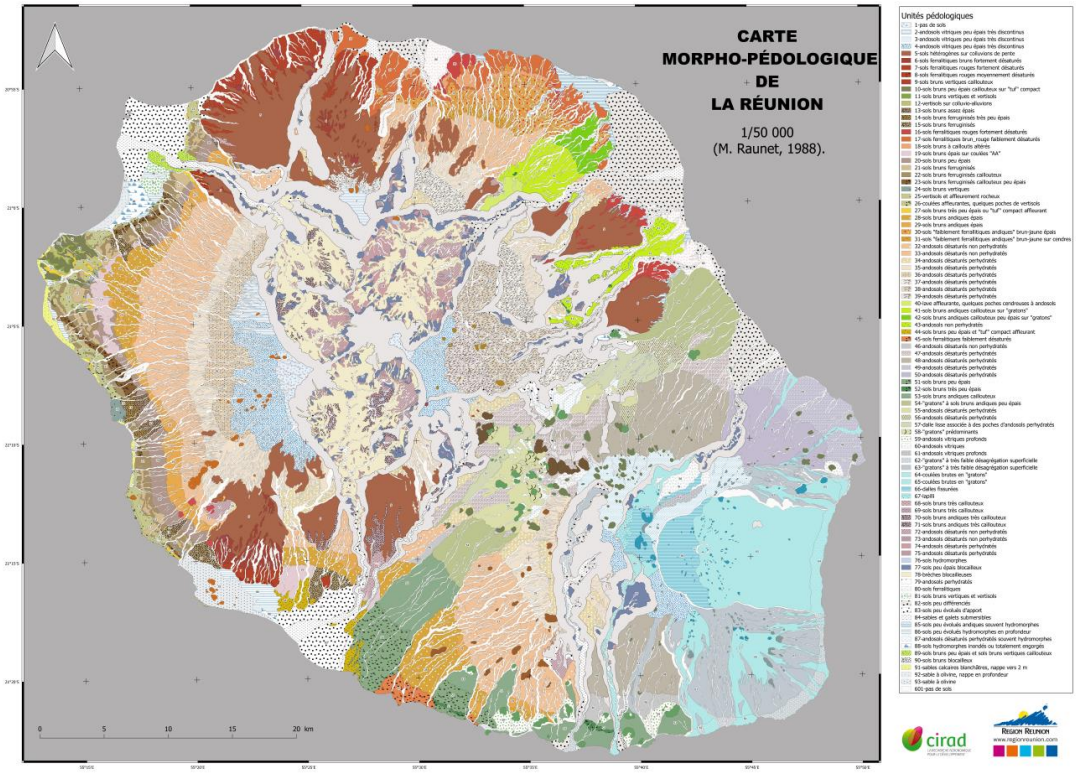
Annexe 1: Carte géologique de La Réunion (RAUNET, 1991)

Annexe 2: Moyennes des températures selon l'altitude (RAUNET, 1991)

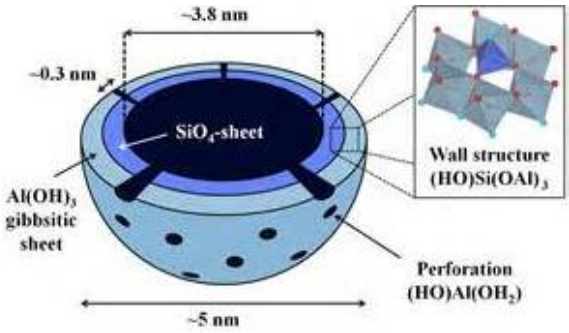
	Moyennes annuelles	Moyenne des maxima	Moyenne des minima
0-100 mètres	23° à 26°	27° à 29° 5	17° à 21°
100-500 mètres	20° 5 à 23°	24° 5 à 27° 5	15° à 19°
500-1000 mètres	16° à 21°	20° 5 à 26°	11° à 16°
1000-1500 mètres	14° à 17°	19° à 21°	9° 5 à 13° 5
1500-2000 mètres	12° à 17°	17° à 19°	7° à 10°
Plus de 2000 mètres	Moins de 12°	Moins de 17°	Moins de 7°

Fertilité	Faible →		Moyenne →		Forte
Azote	Andique Andique perhydraté		Brun andique Ferrallitique		Brun Vertique
Phosphore	Brun andique	Andique Andique perhydraté		Vertique	Brun Ferrallitique
Potassium	Andique perhydraté	Vertique	Andique	Ferrallitique Brun	Brun andique
Acidité	Très acide →		moyennement acide →		légèrement acide à neutre
Sol	Andique	Ferrallitique	Andique perhydraté	Brun andique	Brun Vertique

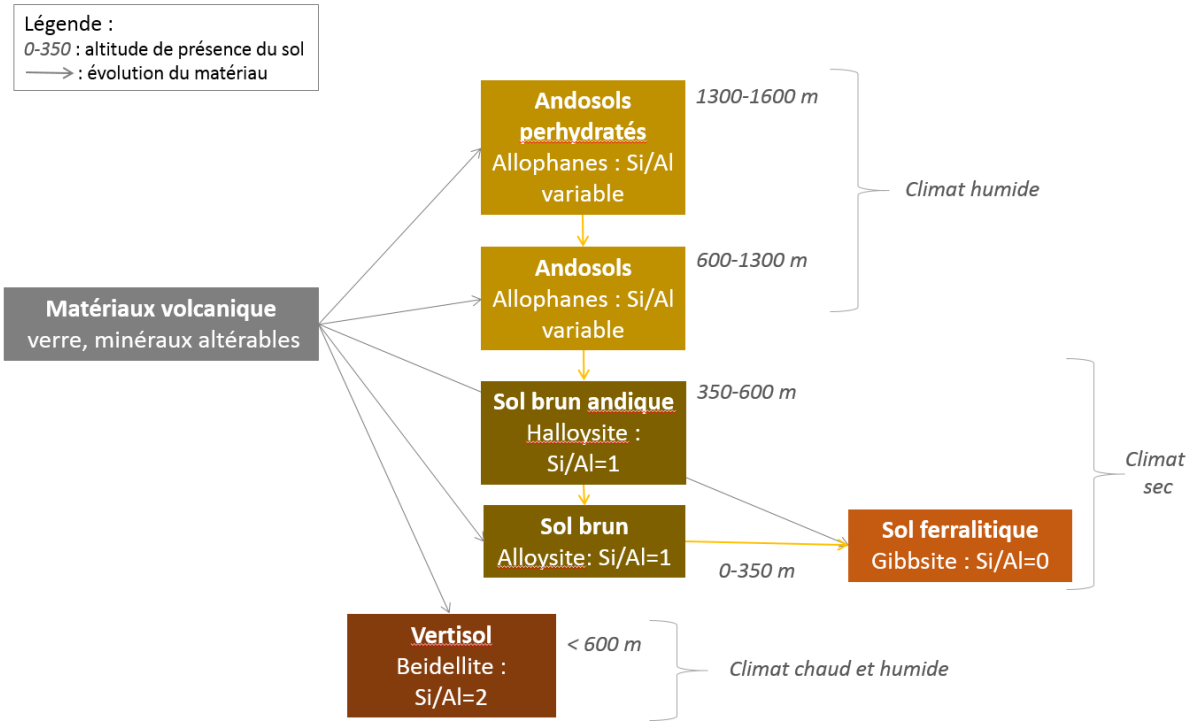
Annexe 3: Classement des six grands types de sol en fonction de leur fertilité chimique et de leur acidité (POUZET et al. 2003)



Annexe 4 : Carte morpho-pédologique des sols de La Réunion (adapté de M. RAUNET, 1988)



Annexe 5: Structure d'une molécule d'allophane (source inconnue)



Annexe 6: Climatoséquence des sols de la Réunion (adapté de LEGROS, 2007)

Annexe 7: Effet des pratiques culturales sur la minéralisation de la matière organique (CHABALIER et al., 2006)

Pratiques culturales	Facteurs du sol modifiés *Conséquences sur la minéralisation de la matière organique*
Travaux mécaniques (labours)	**Structure et porosité du sol modifiées** *Mode d'incorporation des résidus dans le sol* *Minéralisation accélérée*
Irrigation	**Humidité du sol maintenue** *Durées de minéralisation plus longues*
Fertilisation et chaulage	**Fertilité chimique augmentée, pH relevé** **Restitutions de la culture (racines et organes aériens) plus élevées** *Minéralisation augmentée*
Pesticides	**Biomasse du sol moins importante** *Minéralisation réduite*

Rapport-Gratuit.com

Pratiques maraîchères impactant le stockage du carbone dans les sols

En orange dans le texte : l'hypothèse sous-jacente

Informations générales relatives à l'exploitant et à la parcelle :

Date	
N° d'enquête	
Nom – Prénom	
Adresse de l'exploitation	
N° de téléphone	
Coordonnées GPS X ; Y	
Type de sol	
Altitude	
Type de production Les cultures à cycle court entrainent plus de déstockage du carbone (+ de rotations, + de W du sol)	Légumes, ananas, verger
Espèces, variétés	
Mode de production	Bio, conventionnel, raisonné
Analyses de sol déjà réalisées	Oui/Non – date

ITK de la parcelle, centré sur les déterminants du stockage du C dans les sols :

Amendement :
Les amendements organiques permettent une restitution de MO au sol

Oui / Non	
Type Selon son origine, le C/N de la MO est variable, ce qui impacte la quantité de C séquestré dans le sol	Fumier, Compost, lisier, cendres de bagasses, …
Utilisation du tracteur	Oui/Non
Dose	En Kg/ha
Fréquence	Nbre de d'apports/an

Fertilisation :
La fertilisation permet une augmentation de la production de biomasse végétale (surtout en N) et donc une potentielle augmentation de la restitution de MO au sol

Oui / Non	
Type	N , P, K
Utilisation du tracteur	Oui/Non

Dose (N, P, K)	En Kg/ha
Fréquence	Nbre d'apports /an

Travail du sol :

Le travail du sol aère le sol à court terme et favorise la minéralisation rapide de la matière organique

Oui/Non	
Utilisation du tracteur	Oui/Non
Fréquence	Nbre de passage/an
Outil utilisé	Herse/griffes/Charrue…
Profondeur	En cm

Irrigation :

L'humidité du sol peut favoriser le développement des décomposeurs (lombrics, microarthropodes et microflore du sol) et donc la minéralisation

L'irrigation peut aussi favoriser la compaction des sols peu structurés et peut accentuer l'érosion du sol (surtout en aspersion : effet splash, en gravitaire)

Oui/Non	
Moyen	Goutte à goutte, aspersion, gravitaire
Fréquence	
Quantité	

Gestion des résidus de culture : ***Sont-ils restitués ou exportés ?***

Historique de la parcelle :

- Ancienneté du système maraîcher

Un minimum de 10ans permettrait de voir l'impact du système sur le stockage du C.

Plus le système est ancien plus les stocks sont faibles (peu de restitutions de MO au sol, bcp de minéralisation).

- Rotation pratiquée

Les types de culture impactent directement les pratiques agricoles et donc le stockage du carbone dans les sols.

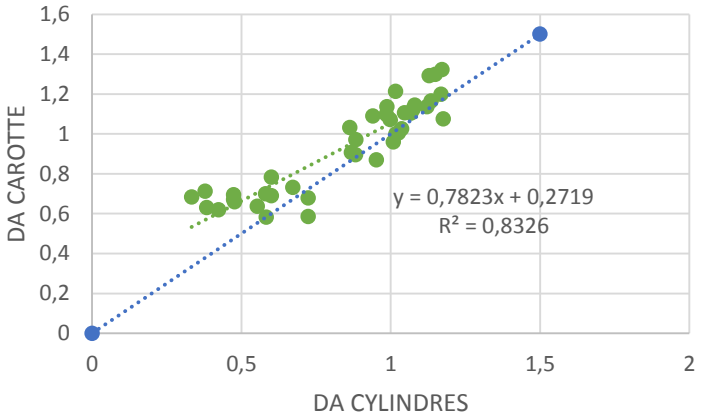
La stabilité de la rotation peut induire des variations dans le stockage du C.

- Pratiques agricoles sur la rotation, par culture (amendement, fertilisation, irrigation, W du sol):

- Précédent de la parcelle : Prairie, canne, friche, forêt…

- Ancienneté du précédent (si parcelle en culture)

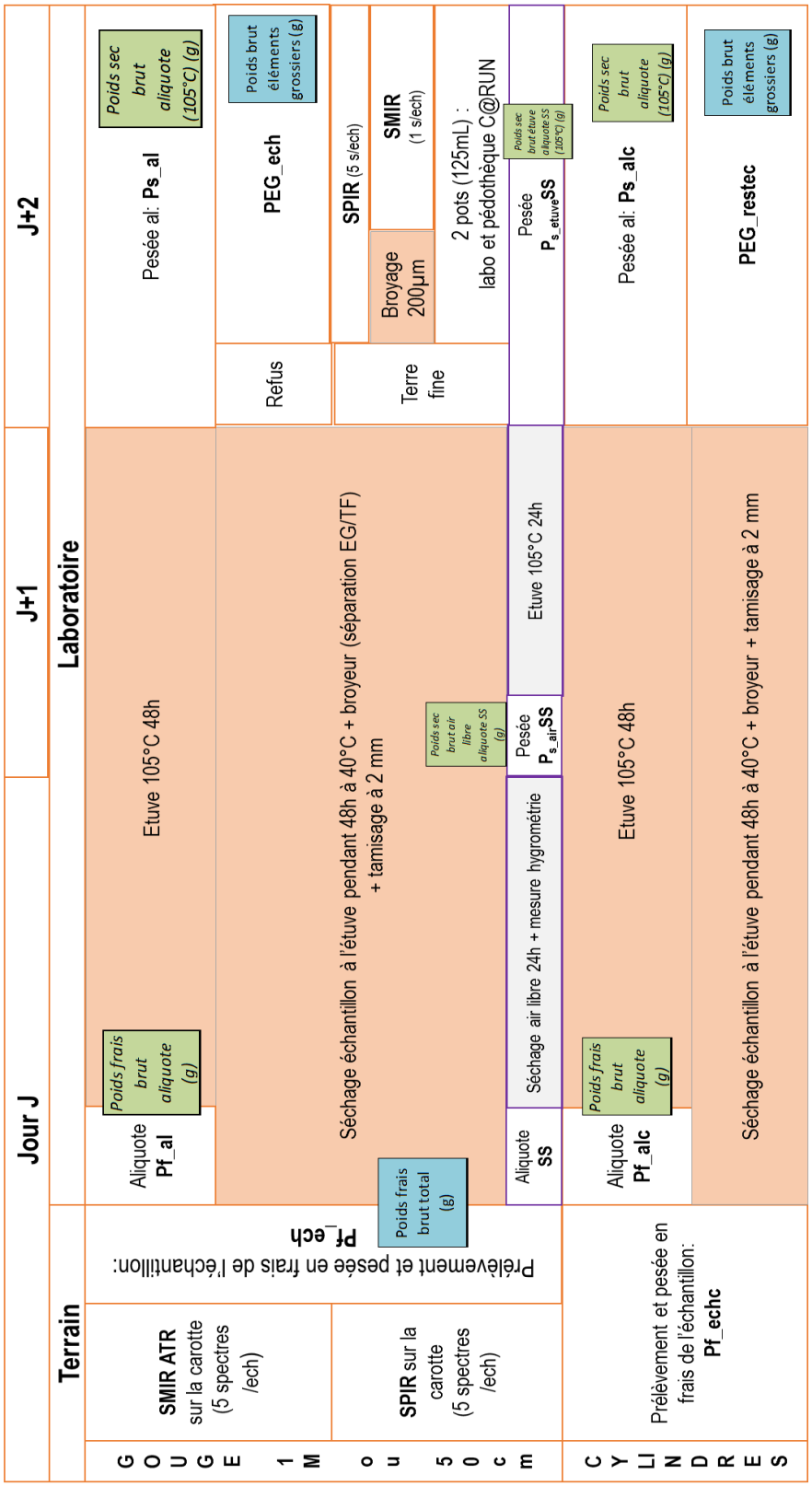
Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



Annexe 9: Comparaison des deux méthodes de mesure de densité apparente

Le coefficient de régression (0.83) suggère une assez bonne corrélation entre les deux méthodes. Il est de plus conforté par la pente de la droite d'ajustement (0,78), qui est relativement proche de 1. Cependant, la position de cette droite au-dessus de la première bissectrice, montre que la mesure de la DA via les carottes de sol surestime les valeurs, en particulier lorsque celles-ci sont faibles. Il est possible que cette augmentation de DA soit due à un tassement des sols peu denses causé par le carottier lors de l'enfoncement de la gouge dans le sol. La correction est toutefois mathématiquement possible, ce qui autorise une simplification du protocole, en supprimant l'utilisation des cylindres (QUERO, 2017).

Annexe 10: Déroulement du prélèvement et du traitement d'une carotte de sol sur le terrain



(SMIR : spectrométrie moyen infra-rouge, SPIR : spectrométrie proche infra-rouge)

Annexe 11: Récapitulatif des manipulations réalisées sur les échantillons de sol

Annexe 12: Equivalences matière organique/produit amendant (kg/t de produit brut apporté) (adapté de CHABALIER et al. 2006 ; Sobac, 2011 ; Italpollina, 2017)

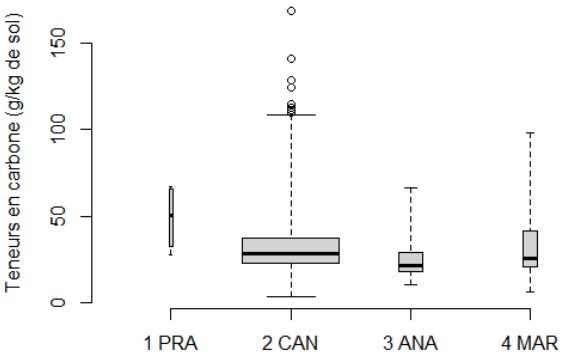
	Ecume	***Fumier de bovin***	***Fientes de volailles***	***« Phenix »***	***« Bactériosol »***	***Compost urbain***	***Fumier de poules pondeuses***
Kg de MO par t de produit brut apporté	141	180	472	500	430	309	379

Annexe 13: Calcul de la matière organique apportée/ha/an sur les situations maraîchères (MAR et ANA)

Site	***Amendements organiques (t/ha)***	***MO apportée (kg) par t de produit brut***	***Calcul de la MO apportée t/ha***	***MO apportée (t/ha)***
23	Ecume : 30 Fumier de poule : 5	141 379	30*0.141 + 5*0.379	6.13
26	-	-	-	-
27	Fumier de bovin : 50	180	50*0.180	9
28	Fientes de volaille : 25	472	25*0.472	11.8
29	Fientes, plumes, sang de volaille (« Phenix ») : 0,2	500	0.2*0.500	0.1
30	-	-	-	-
31	« Bactériosol » : 0.5	430	0.5*0.430	0.22
33	-	-	-	-
34	Compost urbain : 0.11 Fientes de volaille : 2 Fientes, plumes, sang de volaille (« Phenix ») : 3	309 472 500	0.11*0.309 + 2*0.472 + 3*0.500	25

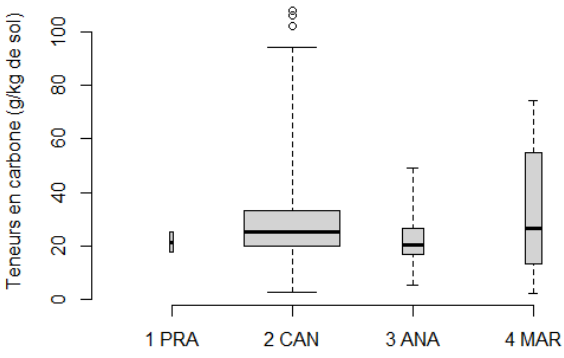
Annexe 14: Récapitulatif des étapes d'obtention de la quantité de matière organique apportée en t/ha/an sur les situations canne à sucre (CAN)

Site	***Rdt t/ha***	***Méthode de coupe***	***Pratique d'épaillage***	***Pratique de paillage***	***MS restituée t/ha pour rdt de 100t/ha***	***MS restituée t/ha***	***MO de paille restituée t/ha***	***Amendements organiques moyens/ha/an***	***MO totale restituée t/ha/an***
13	110	manuelle	oui	Oui	11	12.1	11.66	0	**11.66**
15	140	manuelle	oui	Oui	11	15.4	14.84	6t cendres (5.1 t MO) 6t écumes (0.85t MO)	**20.8**
17	100	manuelle	non	Oui	7.4	7.4	7.2	100t cendres (84.3 t MO)	**91.5**
18	100	manuelle	non	Oui	7.4	7.4	7.2	5.5t écumes (0.78 t MO)	**7.98**
20	140	Mécanique tronçonneuse	non	Non (70% exporté)	17.8	7.5	7.3	0	**7.3**
21	100	manuelle	oui	Oui	11	11	10.6	0	**10.6**
32	100	manuelle	oui	oui	11	11	10.6	2.5t écumes (0.35t MO) 2.5t cendres (2.11t MO) 2.5t fumier bovin (0.45t MO) 2.5t compost déchets verts (0.77t MO)	**14.28**



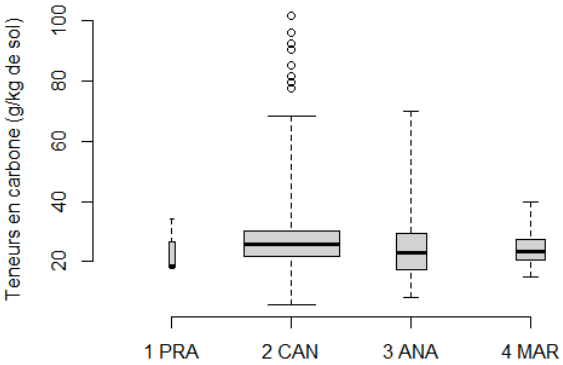
Sols bruns andiques

	PRA	*CAN*	*ANA*	*MAR*
n	4	1854	114	42
Moyenne	49	32,7	24,9	32,5
Ecart type	19,5	16,6	10,3	20,9
Coef. de variation	0,4	0,51	0,41	0,64



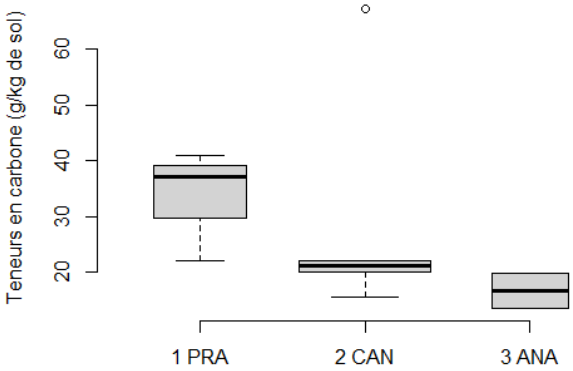
Sols bruns

	PRA	*CAN*	*ANA*	*MAR*
n	2	1212	62	35
Moyenne	21,3	28	22,5	31,1
Ecart type	5,2	13,3	9,2	22,1
Coef. de variation	0,24	0,47	0,41	0,71



Sols ferralliques

	PRA	*CAN*	*ANA*	*MAR*
n	3	909	91	84
Moyenne	23,6	26,8	23,9	24
Ecart type	9,3	9,9	9,3	4,7
Coef. de variation	0,39	0,37	0,39	0,19



Sols vertiques

	PRA	*CAN*	*ANA*
n	3	6	2
Moyenne	33,4	27,9	16,7
Ecart type	10	19,4	4,4
Coef. de variation	0,3	0,69	0,26

Annexe 15: Distribution des teneurs en carbone des sols sur 0-30 cm par type de sol et en fonction de son occupation – exploration de la base de données LIMS

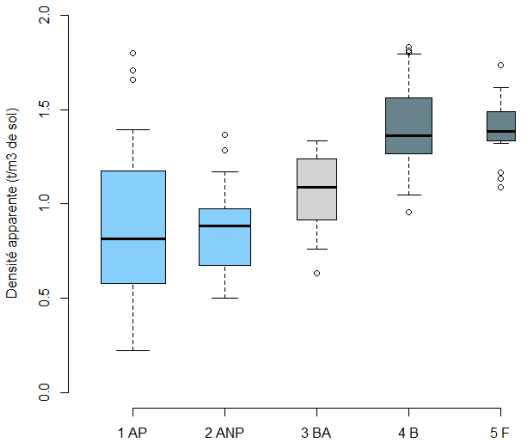
Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Annexe 16: Présentation des sites étudiés par paires

		Andique perhydraté		***Andique non perhydraté***	***Brun andique***	***Brun***	***Ferralitique***
Cultures légumières	Site **Altitude (m)**	25 **70**	27 **1155**	23 **1210**	34 **510**	33 **9**	26 **33**
Témoins	Site (culture) **Altitude (m)**	13 (CAN) **34**	11 (PRA) **1595**	24 (FRI) **1215**	21 (CAN) **563**	20 (CAN) **6**	18 (CAN) **60**
Ananas	Site **Altitude (m)**	31 **87**		28 **715**	29 **450**	30 **145**	-
Témoins	Site (culture) **Altitude (m)**	17 (CAN) **30**		32 (CAN) **400**	21 (CAN) **563**	15 (CAN) **120**	-

Annexe 17: Détails des situations maraîchères étudiées

Site	***Sol***	***Mode de prod.***	***Prod. actuelle***	***Rotation***	***Amendements organiques (t/ha)***	***Travail du sol (cm)***	***Irrig.***	***Inter-rang***	***Inter-culture***
23	ANP	Conv.	Choux	Pdt/carotte /géranium	Ecume : 30 Fumier de poule : 5	Herse : 20 Rotavator : 40	Asp.	Nu	Non
26	F	Conv.	Haricots/ piments	Melons	-	Charrue à socs : 20 Charrue à disques : 20	g-à-g	Nu	Non
27	AP	Raiso.	Brèdes/ navets	Très diversifié	Fumier de bovin : 50	Chisel : 20 Rotavator : 20	Asp.	Nu	Non
28	ANP	Conv.	Ananas	Ananas	Fientes de vollaille : 25	Charrue : 25 Chisel : 25	-	Nu	Non
29	BA	Conv.	Ananas	Ananas	Fientes, plumes, sang de volaille (« Phenix ») : 0.2	Charrue à disques : 25	-	Nu	Non
30	B	Conv.	Ananas	Ananas	-	Charrue : 25 Chisel : 25	-	Nu	Non
31	AP	Conv.	Ananas	Ananas	« Bactériosol » : 0.5	Charrue : 40 Chisel : 40	-	Nu	Non
33	B	Conv.	Aubergines /poivrons/ choux	Aubergines /poivrons/ choux	-	-	g-à-g	Nu	Non
34	BA	Bio.	Poireaux	Très diversifié	Compost urbain : 0.11 Fientes de volaille : 2 Fientes, plumes, sang de volaille (« Phenix ») : 3	Griffes : 20	Asp.	Intact	Oui



	AP	***ANP***	***BA***	***B***	***F***
n	76	48	28	40	15
Moyenne	0,88	0,85	1,07	1,42	1,39
Ecart type	0,37	0,2	0,19	0,22	0,18

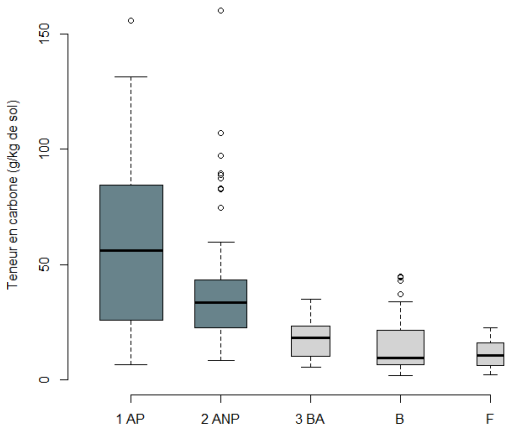
Annexe 18: Dispersion des densités apparentes des échantillons sur 0-40 cm en fonction du type de sol

Annexe 19: Deltas densités apparentes entre les cultures maraîchères et leurs témoins respectifs

(Différences significatives au test de Tukey en gras)

	Profondeur	***MAR***	***ANA***
Sols andiques perhydratés	10	-0,03	0,04
	20	0,12	-0,22
	30	0,33	-0,31
	40	0,33	-0,43
	0-40	0,19	-0,23
Sols andiques non perhydratés	10	0,09	-0,01
	20	-0,10	-0,09
	30	-0,25	0,08
	40	-0,36	-0,05
	0-40	-0,15	-0,02
Sols bruns andiques	10	**0,10**	**0,13**
	20	**0,41**	**0,38**
	30	**0,37**	**0,38**
	40	**0,34**	**0,25**
	0-40	**0,31**	**0,29**
Sols bruns	10	**0,11**	-0,04
	20	**0,24**	-0,10
	30	**0,42**	-0,27
	40	**0,61**	-0,12
	0-40	**0,34**	-0,13
Sols ferrallitiques	10	**0,27**	
	20	**0,18**	
	30	**0,37**	
	40	**0,34**	
	0-40	**0,29**	

Rapport-Gratuit.com



	AP	***ANP***	***BA***	***B***	***F***
n	76	48	28	40	15
Moyenne	63	42	19	16	12
Ecart type	34	29	8	13	7

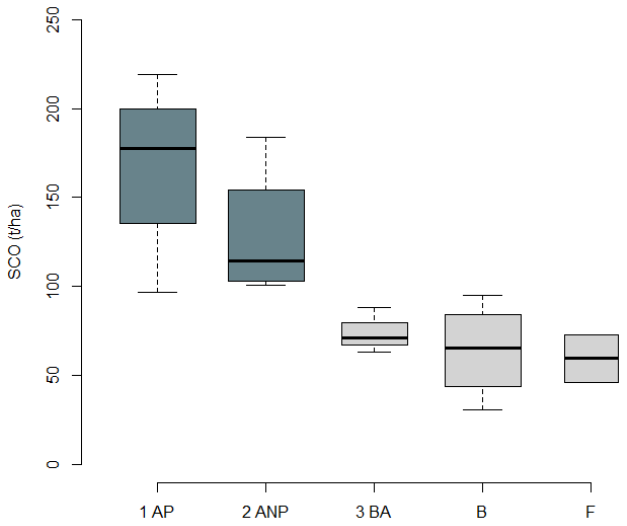
Annexe 20: Dispersion des teneurs en carbone des échantillons sur 0-40 cm en fonction du type de sol

Annexe 21: Deltas teneurs en carbone entre les cultures maraîchères et leurs témoins respectifs

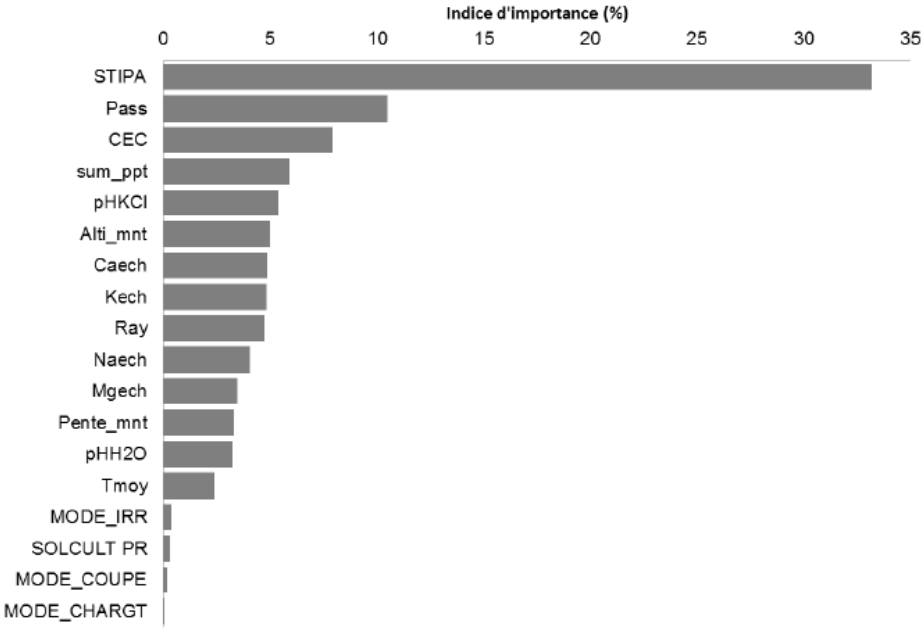
(Différences significatives au test de Tukey en gras)

	Profondeur	***MAR***	***ANA***
Sols andiques perhydratés	10	-37,37	**-99,66**
	20	-13,01	**-75,82**
	30	-23,11	**-48,97**
	40	-13,91	**-38,35**
	0-40	-21,85	**-65,70**
Sols andiques non perhydratés	10	38,06	-7,00
	20	40,83	-3,27
	30	35,30	0,36
	40	36,52	-11,07
	0-40	37,68	-5,25
Sols bruns andiques	10	-13,03	-4,43
	20	4,02	1,51
	30	7,61	-2,17
	40	5,66	0,96
	0-40	1,07	-1,03
Sols bruns	10	-20,90	**14,60**
	20	-16,25	**25,29**
	30	-9,74	**19,01**
	40	-5,26	**11,38**
	0-40	-13,04	**17,57**
Sols ferrallitiques	10	-6,15	
	20	-8,29	
	30	-8,08	
	40	-5,29	
	0-40	-6,95	

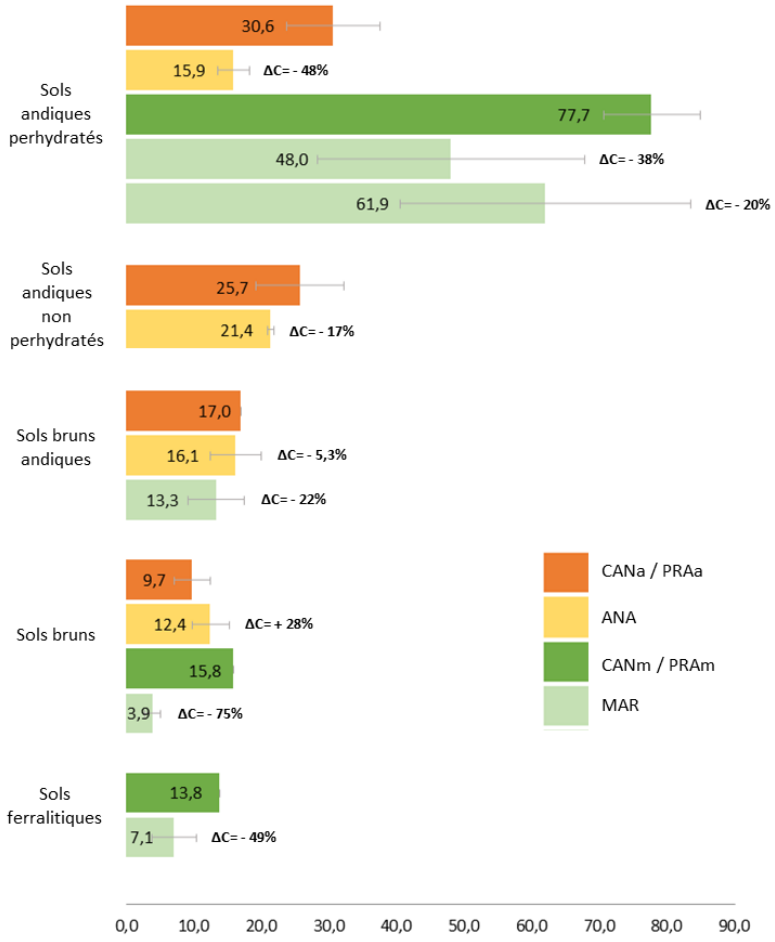
Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



Annexe 22: Distribution des stocks de carbone organique à profondeurs équivalentes sur 0-40 cm en fonction du type de sol



Annexe 23: Importance relative des variables du sol par rapport à la teneur en carbone des échantillons (%) (GOGE, 2014)



Annexe 24: Stocks en carbone organique des sols sur 0-40 cm à masse équivalente en fonction du type de sol et de son occupation

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet C@RUN, qui a pour objectif de spatialiser les stocks de carbone (SCO) dans les sols réunionnais, selon les types de sol et à leur mode d'usage. Elle vise à mesurer l'impact des pratiques culturales maraîchères sur les SCO des sols de La Réunion. Pour ce faire, les SCO de situations maraîchères (cultures légumières et ananas) sont calculés à partir des mesures in-situ de densités apparentes (DA) et de teneurs en carbone ([C]) et comparés à des cultures saturées en carbone (canne à sucre et prairie). En parallèle, des enquêtes sur les pratiques culturales maraîchères sont réalisées et permettent d'expliquer les variations de carbone et de DA observées. Afin de capter la variabilité spatiale des SCO à La réunion, les deux situations, culture légumière/référence et ananas/référence sont étudiées sur les 6 grands types de sols réunionnais (andosols perhydratés et non perhydratés, sols bruns andiques, bruns et ferralitiques). La première tendance observée est que les andosols sont plus sensibles aux pratiques culturales maraichères, dû à l'instabilité des molécules d'allophanes qui les constituent. Il semblerait également que les composantes des SCO soient impactées par les pratiques culturales : les DA sont globalement plus élevées sous cultures légumières que sous la culture de référence. De plus, les [C] ont tendance à diminuer sous culture légumière par rapport à la référence et les profils sont peu variables quel que soit l'horizon étudié. Une tendance à la diminution des SCO sur les situations maraîchères est alors observée, pour la plupart des types de sols. Ceci suggère que les pratiques culturales maraîchères (faibles apports organiques au sol, travail du sol, trafic au champ) sont défavorables aux SCO dans les sols. Le protocole d'acquisition des données est cependant à améliorer pour confirmer et quantifier ces tendances.

Mots clés : *stocks, carbone, densité apparente, pratiques culturales, île de La Réunion*

Abstract

This study is part of the C@RUN project, which aims to spatialize carbon stocks (SOC) in Reunion soils, depending on soil types and its uses. It aims to measure the impact of agricultural practices on soil SOC of the Reunion Island. SOC of vegetables crops (vegetables and pineapples) are calculated from *in-situ* measurements of bulk densities (BD) and carbon contents ([C]) and compared to carbon-saturated crops (sugar cane and grassland). On the other hand, surveys on agricultural practices are carried out and explain carbon and BD variations. In order to observe the spatial variability of SOC in Reunion, the two pairs, vegetable/reference and pineapple/reference are studied on the 6 main types of Reunion soils (andics soils, andic brown, brown and ferralitic soils). The first trend is that andic soils are more sensitive to agricultural practices, due to the instability of theirs allophanes molecules. It seems that the SOC components are impacted by the agricultural practices: BD are generally higher in vegetable crops than under the reference crop. Moreover, [C] tends to decrease under vegetable crops compared to the reference and profiles are almost stable regardless of the horizon studied. SOC tend to decrease in vegetable crops for most types of soils. This suggests that vegetable crops practices (low organic soil inputs, tillage, field traffic) are not benefical to soil SOC. However, the data acquisition protocol needs to be improved to confirm and quantify these trends.

Key words: *stock, carbon, bulk density, agricultural practices, Reunion island*