

INTRODUCTION

La préoccupation croissante pour le respect de l'environnement à La Réunion est justifiée par le souci, face à une croissance démographique de 300 000 habitants prévue en 25 ans, de maintenir un cadre de vie agréable, des espaces agricoles suffisants et un milieu naturel exceptionnel. Le contexte particulier de l'île impose des démarches spécifiques et appropriées qui ont pour objectif de rendre compte de la situation actuelle et de trouver des solutions écologiquement, économiquement et socialement viables à moyen et long terme. Le secteur de l'environnement représenté par des organismes comme le CIRAD, l'INRA, la MVAD et l'ADEME est fortement sollicité pour apporter les clés du traitement et de la revalorisation des déchets, d'origine agricole et urbain, en adaptant les normes de qualités européennes à la spécificité des cultures en milieu tropical.

L'agriculture et le développement récent et rapide de l'élevage pour l'ensemble des filières à La Réunion s'inscrivent dans une logique de production intensive, imposée par de fortes contraintes foncières. On dénombre, en effet, 9 272 exploitations pour 43 692 hectares de surface agricole utile (données Agrestes Réunion, 2002). De ce fait, les effluents d'élevage constituent la source principale des déchets organiques (500 000 tonnes par an en 1996 dont 2 950 tonnes d'azote) et l'on envisage un accroissement de près de 30 % en l'espace de 10 ans.

En outre, il faut prendre en compte, en plus des effluents agricoles, les déchets urbains et industriels qui représentent des quantités appréciables d'éléments fertilisants (plus de 2 100 tonnes de potasse dans les vinasses, par exemple). La palette des matières organiques à prendre en compte est large : déchets verts des communautés urbaines, boues de stations d'épuration, vinasses et écumes des sucreries et distilleries, déchets d'abattoirs, etc.

Parmi les voies de recyclage, l'épandage constitue une solution adaptée à ces types de déchets. En effet, d'un point de vue technique et économique, l'épandage des déchets ne présente qu'un faible surcoût et offre un intérêt agronomique : soit par l'apport d'éléments fertilisants (azote, matière organique, phosphore, oligo-éléments, etc.), soit par l'effet d'amendement (calcium, magnésium, matière organique), soit par effet structurant (sables, matière organique).

L'épandage peut cependant engendrer des risques de pollutions (eau, sol, atmosphère et végétaux), notamment en milieu tropical où les conditions climatiques, hydrologiques et

pédologiques sont singulières. La préservation des ressources naturelles constitue l'un des enjeux majeurs pour les prochaines années. C'est l'objet du projet REGARD (Risque Environnemental — Gestion Agricole — Recyclage des Déchets) qui se déroule à La Réunion sur une période de plusieurs années. Le projet est positionné dans le dispositif du CIRAD, au sein du PADEF (Pôle Agriculture Durable, Environnement et Forêt). Il bénéficie des acquis de l'équipe GEDOR (Gestion des Déchets ORganiques), dont il poursuit les activités en les élargissant à des thématiques nouvelles.

L'ambition de ce projet est double :

- ***accroître les connaissances scientifiques*** ;
 - ◆ en identifiant des situations pratiques à risque par un état des lieux et des connaissances sur les déchets, les milieux récepteurs et les systèmes de cultures épurateurs ;
 - ◆ en comprenant les mécanismes de fonctionnement biologique, physique et chimique des systèmes sol plantes déchets.
- ***finaliser la recherche*** ;
 - ◆ en concevant des systèmes de recyclage anti-risque ;
 - ◆ en raisonnant la gestion à différentes échelles et établir des méthodes d'évaluation socio-économique des externalités.

La présente étude procède de deux soucis qui s'inscrivent dans la phase initiale du projet REGARD :

- identifier les types de déchets ainsi que les pratiques agricoles susceptibles de présenter un risque environnemental ;
- caractériser les sols de deux sites : La Mare (commune de Sainte Marie) et les Colimaçons (commune de Saint-Leu).

Le choix des expérimentations s'est porté sur ces sites parce qu'ils intègrent une grande partie de la diversité agro-pédologique, culturelle et climatique rencontrée sur l'île.

Enfin, à partir de ces données, il sera possible de concevoir un aménagement de parcelles, au sein de ces stations, qui permette la mise en place prochaine de dispositifs expérimentaux pérennes (fosses, sonde TDR...) de suivi *in situ* des risques environnementaux liés au recyclage et à la valorisation agronomique des déchets.

Ainsi, dans une première partie, les milieux naturels et agricoles de l'île seront exposés. Le contexte géologique et le contexte pédologique seront peints avec plus de détails. Des généralités sur les déchets organiques et le protocole utilisé pour caractériser les sites seront décrits.

Dans une seconde partie, l'étude se focalisera sur l'identification des pratiques agricoles (particulièrement dans les hauts de l'ouest) et des déchets organiques générés. Et cela s'appuiera sur une littérature abondante et récente.

Puis une troisième et une quatrième partie seront consacrées à la caractérisation des sites, afin d'évaluer la variabilité de paramètres physico-chimiques.

Enfin, dans une dernière partie, nous proposerons un découpage des parcelles en petites unités qui serviront à l'étude de problèmes expérimentaux. Chacune de ces parcelles sera destinée à l'évaluation d'un type de risque environnemental.

PARTIE I : CONTEXTE ET PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

1.1 - L'île de la Réunion : terre de contrastes

1.1.1 - Situation géographique et morphologique générale

L'île de la Réunion se situe par 21°07' de latitude sud et 55°32' de longitude est dans l'océan Indien occidental, à 800 km de Madagascar et 200 km de l'île Maurice. (figure 1)

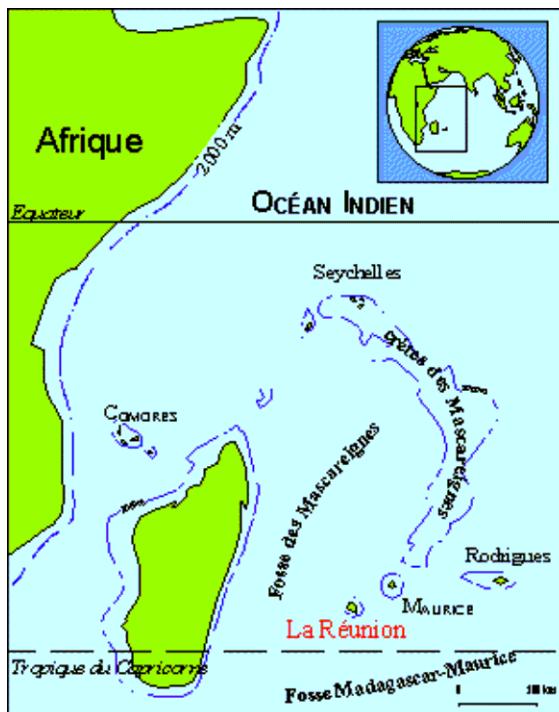


Figure 1 : Localisation de la Réunion dans l'Océan Indien (source Météo France)

Département français depuis le 19 mars 1946, La Réunion compte 706 300 habitants.

Elle est constituée par la partie émergée d'un strato-volcan intraplaque, établi à partir d'un fond océanique de - 4000 m et forme une ellipse dont le grand axe mesure 72 km et l'axe transverse 45 km. Sa superficie est de 2 512 km².

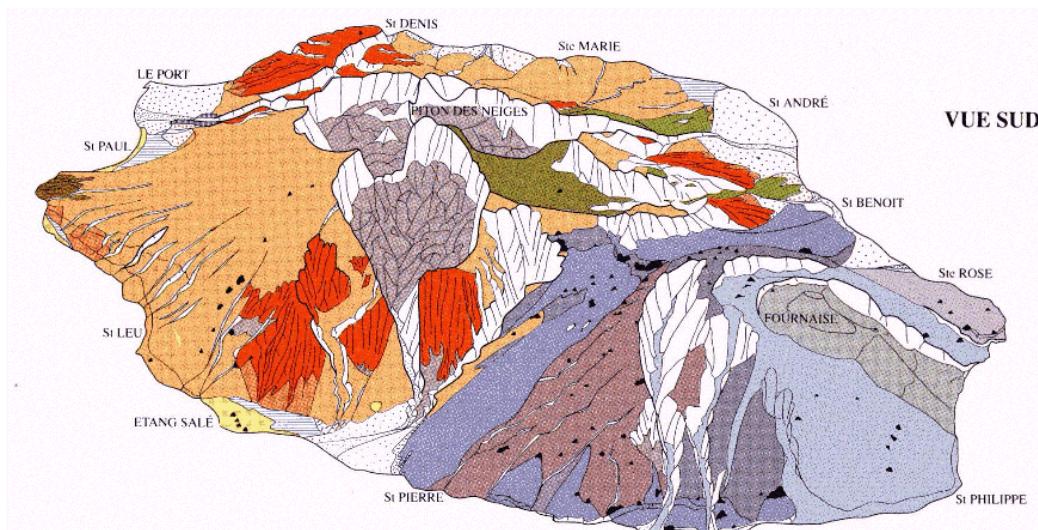


Figure 2 : Carte de l'île de La Réunion

L'île se compose de deux gros massifs volcaniques bien individualisés :

- **Le Piton des Neiges** (3 069 m), volcan bouclier inactif aux pentes externes inclinées de 7 à 10° et qui occupe les 2/3 nord-ouest de l'île. La caractéristique essentielle de ce massif ancien est d'être profondément disséqué dans sa région centrale et de montrer trois larges excavations, coalescentes, subcirculaires aux parois abruptes : les cirques (Mafate, Cilaos, Salazie). L'érosion y est très active (*bad-lands*) et évacue vers la mer de grandes quantités de matériau à l'origine des cônes de déjection à galets.
- **Le Piton de la Fournaise** (2 631 m), volcan bouclier actif situé au sud-est, qui présente également la forme d'un bouclier conique aux pentes régulières inclinées d'une dizaine de degrés vers la mer.

Les deux massifs sont séparés par une zone de hautes plaines (plaines des Palmistes et plaines des Cafres), seule voie de passage naturel entre deux versants de l'île.

La Réunion présente une géographie physique extrêmement contrastée, des points de vue géologique, climatique, végétal et par conséquent pédologique. (RAUNET M., 1991)

1.1.2 - Contexte géologique

1.1.2.1 - Le massif du Piton des Neiges

Le Piton des Neiges est un volcan intra océanique qui a émergé, il y a 2,1 millions d'années et les dernières phases de son activité datent de 30 000 ans. (MONTAGGIONI L.F. et NATIVEL P., 1988)

Son évolution est caractérisée par deux groupes de laves et de formations volcano-sédimentaires associées.

- **La «série des océanites».** – Elle constitue le bouclier primitif. Elle est constituée de coulées d'océanites, de basaltes à olivine et de leur produits de remaniement (brèches d'effondrement, lahars, formations alluvionnaires...).

Cette série a été subdivisée en deux unités distinctes par UPTON B.G.J. et WADSWORTH W.J. (1965) :

- ◆ L'unité inférieure, la plus ancienne connue à l'affleurement, est principalement rencontrée dans le fond des cirques, c'est la série des océanites anciennes. Cette série a subit des processus d'hydrothermalisation lors de la phase sous-marine d'édification (phase I) comme l'atteste la présence de zéolites.
- ◆ L'unité supérieure, plus récente, constitue l'ossature des reliefs du Piton des Neiges. C'est la série des océanites récentes et aussi la phase II (2,1 à 0,43 millions d'années). Elle est constituée d'un empilement de coulée d'océanites, de basaltes à olivine et de basaltes aphyriques.

Les laves de cette série sont des laves ultrabasiques à basiques sombres (riches en fer et magnésium et pauvre en silice). Durant toute cette période (2,7 millions d'années), le volcan a manifesté un dynamisme de type " hawaiien " (activités continues avec émission de laves très fluides).

- **La série différenciée.** – Après une période de repos de 80 000 ans, l'activité reprend et donne naissance à une série différenciée. Cette série qui correspond au deuxième stade de l'évolution magmatique du Piton des Neiges, est constituée de laves alcalines (riches en silice et pauvre en minéraux ferromagnésiens), dont les termes varient des hawaiites, mugéarites, benmoréites jusqu'aux trachytes.

La différenciation magmatique du Piton des Neiges a débuté avec la phase III, il y a 350 000 ans. Les roches de cette phase sont des hawaiites, basaltes à phénocristaux de feldspaths localement appelés «roches pintades». Son extension est maximale vers l'ouest entre la Possession et les Avirons et minimale dans le nord.

La phase IV s'échelonne entre 230 000 et 70 000 ans (Mc DOUGALL I., 1971) et correspond à un changement pétrographique. Le chimisme des laves se différencie encore d'avantage. Les mugéarites, basaltes aphyriques de teinte gris-clair, deviennent alors dominantes.

Après cette première période d'activité effusive (2,1 à 0,19 millions d'années), le dynamisme du Piton des Neiges change assez brutalement pour devenir explosif. Clôturant la phase IV, une deuxième caldéra s'individualise sous la forme d'effondrement emboîté, abaissant la partie centrale du Piton des Neiges (CHEVALLIER L., 1979).

La phase V correspond au remplissage de la caldéra II. Le volume des laves émises est très faible. Il s'agit cette fois en majorité de benmoréites, roches gris clair se distinguant des mugéarites par une teneur plus élevée en silice. Durant la même période, un volcanisme explosif s'est manifesté. Ce phénomène est attesté par la présence d'une grande quantité de pyroclastites "acides" (tufs, cendres, nuées...) à tendance trachytiques.

Le Piton des Neiges s'est éteint progressivement par tarissement de sa source magmatique. L'activité terminale du Piton des Neiges est marquée par des explosions sporadiques avec émission de formations pyroclastiques (– 40 000 à – 15 000 ans). Ces pyroclastites (tufs, lapillis, ponces et ignimbrites) ont atténué la topographie et constituent un substrat sur lequel se sont différenciés les sols de l'île, en particulier les sols andiques des versants est et sud.

1.1.2.2 - Le massif du Piton de la Fournaise

Le Piton de la Fournaise s'est édifié, il y a 360 000 ans, s'appuyant sur le versant est du Piton des Neiges. On distingue plusieurs phases d'édification qui ont contribuées à la mise en place en place de systèmes caldériques.

Son activité actuelle se caractérise par des éruptions dites, classiquement, de type **hawaïenne**. Toutefois, les éruptions d'origine phréatique et phréatomagmatique (phénomènes faisant intervenir une importante vaporisation d'eau non juvénile) ne sont pas absentes. (BACHELERY P., 1981)

1.1.3 - Contexte climatique

La Réunion doit son climat contrasté à :

- sa situation océanique ;
- sa latitude australe assez basse ;
- la « compacité » de son orographie et son altitude élevée.

Les deux traits dominants en sont, d'une part un régime assez régulier d'alizés (vents d'est dominants) créant une zone « **au vent** » et une zone « **sous le vent** », d'autre part, un régime de “perturbations tropicales” parfois violent et destructeur (cyclones) plus irrégulier et difficilement prévisible.

1.1.3.1 - Les températures

Les températures et leurs variations, s'expliquent, d'une part par la position de l'île qui est assez basse en latitude et d'autre part par sa faible taille et l'influence des masses d'air océanique.

Deux grands cycles de variations sont observables :

- un cycle quotidien, caractérisé par des variations diurnes des températures ;
- un cycle annuel caractérisé par deux grandes saisons.

La saison fraîche, de mai à octobre. Les températures varient au niveau de la mer, de 17 à 20°C pour les minima moyens et de 26 à 28°C pour les maxima moyens. À 1 000 mètres, les minima moyens oscillent de 8 à 10°C et les maxima moyens de 17 à 21°C.

La saison chaude de novembre à avril. Les minima moyens varient généralement entre 21 et 24°C, et les maxima moyens entre 28 à 31°C, sur la côte. À 1 000 mètres, les minima moyens fluctuent de 10 à 14°C, et les maxima moyens de 21 à 24°C.

Les amplitudes thermiques dans ces deux cycles sont faibles, dépassant rarement les 10°C pour un lieu donné.

Le phénomène important à La Réunion est la décroissance des températures avec l'altitude. En atmosphère libre le gradient thermique vertical est d'environ –0,6°C pour 100 mètres. Le long des pentes de l'île, ce gradient est un peu plus marqué variant de –0,7 à –0,8°C pour 100 mètres.

1.1.3.2 – Les pluies

Détentrice de records mondiaux en matière de pluviométrie, l'île de La Réunion bénéficie annuellement d'un volume de pluie compris entre 3 et 5 milliards de m³ (données 1996).

L'inégale répartition temporelle des pluies permet de distinguer deux saisons :

- **une saison fraîche et sèche**, de mai à octobre, qui reçoit 1/3 des pluies ;
- **une saison chaude et humide**, de novembre à avril, qui en regroupe les 2/3. Toutefois, 62 à 72 % des pluies annuelles tombe en janvier, février, mars, c'est-à-dire pendant la période cyclonique.

Les pluies sont également mal réparties dans l'espace. Elles augmentent évidemment avec l'altitude, mais surtout de l'est vers l'ouest. La région au vent reçoit entre 2 000 et 8 000 mm de pluie par an alors que dans la région sous le vent, il tombe au plus 1 700 à 1 800 mm de pluie. (figure 3)

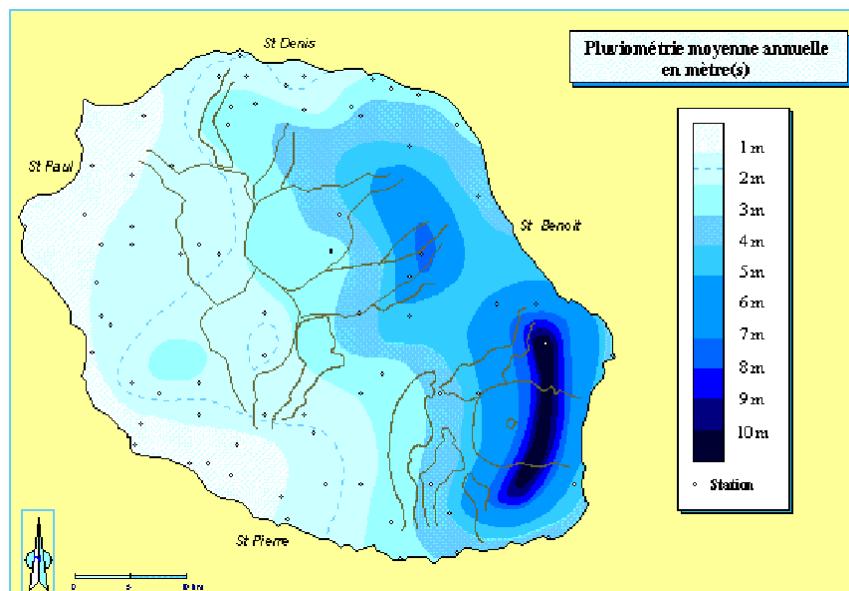


Figure 3 : Carte de pluviométrie annuelle (source météo France)

1.1.3.3 – Les vents

Les vents à la Réunion ont pour origine le régime d'Alizés qui, dévié par les forces de Coriolis, arrivent sur l'île suivant une direction dominante est-sud-est / ouest-nord-ouest. L'**Alizé**, chargé d'humidité accroît les précipitations sur les versants orientaux, alors que l'effet de **fœhn** qui l'accompagne, augmente les températures et assèche l'air dans les régions sous le vent. **Les brises**, sont des vents locaux dus aux différences de température entre la mer et la terre. Les brises de terre (nocturne) et de mer (diurne) sont sensibles toute l'année et ne peuvent se manifester que pendant les périodes de faibles circulations d'alizés. Ce sont des vents *faibles à modérés*, ne dépassant pas **50 km/h**. À côté de cela, il y a **des vents "cycloniques"**, de courte durée et pouvant atteindre **250 km/h**.

1.1.3.4 - Les dépressions et cyclones tropicaux

Ils prennent naissance, pendant **l'été austral**, dans la région où convergent les vents de basses couches de l'hémisphère nord et l'hémisphère sud ou "Zone de Convergence Intertropicale" (ZCIT). Leur genèse est contrôlée par des facteurs interdépendants : la température de l'océan (28 à 29°C), l'instabilité de l'atmosphère, l'humidité de l'air.

Ils proviennent du détachement de noyaux dépressionnaires pluvio-nuageux, qui évoluent peu à peu autour de "**I'œil**", en un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre (force de Coriolis).

En plus de cette rotation, le météore se déplace (10 à 25 km/h) selon une trajectoire globale du nord-est vers le sud-ouest. Il peut faire plusieurs centaines de kilomètres de diamètre.

L'ensemble des perturbations tropicales qui influencent La Réunion abordent l'île par le nord-est suivant une trajectoire nord-est / sud-ouest. 5 à 40 %, au stade de vrai cyclone, se produisent en janvier, février, mars. Environ 10 %, au stade dépression, se produisent en novembre et décembre. 15 % peuvent arriver en fin de saison chaude (mars, avril), mais elles sont peu virulentes car elles obliquent vers le sud avant d'atteindre l'île.

Le régime pluviométrique des dépressions tropicales et des cyclones est responsable des variations inter-annuelles et saisonnières.

On distingue donc trois grandes zones climatiques à La Réunion : la zone au vent, la zone sous le vent et une zone d'altitude. Ce découpage ne fait toutefois pas apparaître l'extrême variété des microclimats.

1.1.4 – Contexte pédologique

1.1.4.1 – Définitions et généralités

Un **sol**, du latin *solum* (base), est un milieu complexe et dynamique qui constitue l'interface entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la biosphère et la lithosphère. C'est une formation superficielle qui résulte de l'**altération physico-chimique** de roches, portées à la surface à la suite de phénomènes d'érosion. Le sol se différencie en une succession de couche de **texture** (composition granulométrique ou proportion de particules minérales du sol inférieures à 2 mm), de **structure** (mode d'assemblage dans l'espace de matières solides et de vides) et de **couleurs** différentes, appelées horizons (A : horizon de formation organique ; B : horizon minéral d'altération ; C : roche mère).

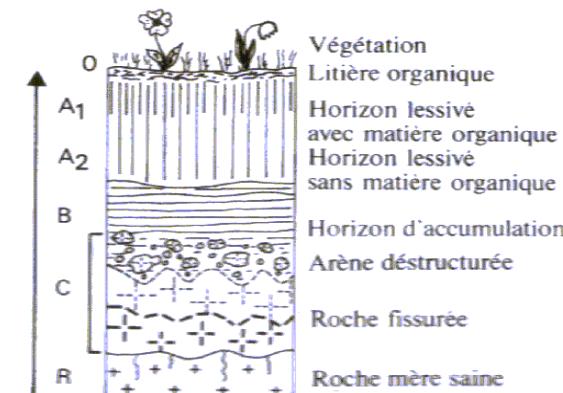


Figure 4 : Profil d'un sol

Les **mécanismes** entrant en jeu, lors de l'altération de la roche mère, outre la fragmentation physique, sont essentiellement des **processus chimiques** sollicitant des agents tels que l'eau, l'oxygène et les acides minéraux ou organiques.

On distingue ainsi l'hydrolyse (décomposition d'acides minéraux et organiques par l'eau), l'oxydation, l'hydratation (ajonction d'une molécule d'eau provocant un ameublissement de la roche), enfin la dissolution. Ils conduisent à la présence dans le complexe d'altération de minéraux primaires dit *hérités* (minéraux intacts) et secondaires ou néoformés (minéraux entièrement reconstruits).

La nature du sol est conditionnée par *les facteurs bioclimatiques* (climat général et végétation liée à ce climat) et *le facteur temps* qui, en plus de la composition de la roche mère, jouent un rôle considérable.

1.1.4.2 – Complexité des sols réunionnais

L'âge, la nature de la roche mère, les conditions de chaleur et d'humidité, la végétation permettent d'observer une gamme variée de sols, depuis **les sols peu évolués** (lithosols) jusqu'aux **sols très évolués** (sols ferrallitiques).

Dans la région “ au vent ”, où la pluviométrie est importante, on trouve les plus vieux sols : **les sols ferrallitiques**. Leur genèse passe par une hydrolyse totale (altération géochimique dominante) des minéraux primaires des roches. Le temps ayant fait son œuvre, les topo-séquences “ complètes ” (non ou peu tronquées) ne se trouvent plus, à La Réunion que sur les vieilles planèzes de la phase II du Piton des Neiges (exemple : La Montagne) et les planèzes de la phase III et IV (exemple : Sainte-Marie).

Dans la région “ sous le vent ”, l'existence d'un matelas de pyroclastites cendre-tuffeuse récent (- 35 000 à –15 000 ans) ayant recouvert la majeure partie du massif dit “ ancien ” (à l'exception de ses coulées terminales) et une partie de la Fournaise, conditionne la zonation des sols.

Les séquences les plus basses (de 0 à 450 mètres) reposent sur la phase IV en raison de l'érosion de la partie récente de la couverture de pyroclastites.

- de 0 à 50 mètres : **vertisols**, sols localisés aux extrémités des planèzes de la phase IV, en contrebas des fronts montagneux d'origine tectonique (fin de la phase IV). Ce sont des *grumosols*, car l'horizon superficiel présente une structure grenue : horizon dit de « self-mulching », protecteur du sous-sol.
- de 50 à 300 mètres : **sols bruns ferruginisés**, sols caractérisant les pentes supérieures à 10 %.
- de 300 à 450 mètres : **sols bruns non ferruginisés**, sol qui se développe sur les mugéarites.

À partir de 450 mètres, les pyroclastites (cendres essentiellement) affleurent. La répartition des sols obéit aux gradients pluviométriques et thermiques, donc altitudinaux.

- de 450 à 600 mètres : **sols bruns andiques**, sols formés sur un matériau superficiel qui est la plupart du temps composé de pyroclastites (cendres et “ tufs jaunes ”) de la phase V.

- de 600 à 1 300 mètres : **andosols désaturés non perhydratés**. Cette unité est la plus "intéressante" de l'île, d'un point de vue scientifique.
- de 1 300 à 1 800 mètres : **andosols désaturés perhydratés**.
- Au-delà de 1 800 mètres : **andosols vitriques ou podzoliques**.

Type de couverture à l'affleurement et pourcentage de la surface totale (estimation d'après RAUNET, 1988)

	%
Andosols perhydratés et non perhydratés	32
Sols bruns et ferrallitique andique	6
Sols ferrallitiques	11
Sols bruns	4
Sols bruns ferruginisés et fersiallitiques	2
Vertisols et sols verdiques	1
Sols hydromorphes sur alluvions fines	1
Sols sur alluvions à galets récents	5
Sols colluvionnés sur des cirques	7
Lithosols d'altitude, de rempart, sur coulées peu altérées	25
Coulées actuelles subactuelles non altérées	5
Régosols sur sables littoraux	1

Les sols ferrallitiques et les andosols qui constituent respectivement les stations expérimentales de La Mare et celle des Colimaçons, seront exposés plus en détail ultérieurement.

1.1.5 – Contexte végétal

Rapport-gratuit.com 

1.1.5.1 – La végétation naturelle

À La Réunion, la végétation est étagée en fonction de l'altitude et de la pluviométrie. On distingue quatre grands ensembles phyto-écologiques fondamentaux :

- ◆ **La série mégatherme semi-xérophile** caractérisant le secteur occidental (sous le vent) jusqu'à 700-800 mètres d'altitude, entre Saint-Denis et Saint-Pierre et une partie (jusqu'à 1100 mètres) des cirques de Cilaos et Mafate où la pluviométrie est inférieure à 1500 mm. Deux couverts végétaux distincts sont propres à cette série. D'une part la

savane arbustive ou arborée de basse altitude (0 – 200 mètres) et d'autre part la forêt semi-xérophyle de moyenne altitude (200 à 800 mètres).

- ◆ **La série mégatherme hygrophile** caractérisant les zones humides (pluviométrie supérieure à 1 500 mm) de basse et moyenne altitude. Cette série est représentée par des « forêts complexes » sempervirentes dont la majeure partie a été détruite, au début du XIX^{ème} siècle, pour faire place à la culture de la canne à sucre. Les reliques actuelles (1989) de cette série sont localisées sur les laves récentes, peu propices aux cultures.
- ◆ **La série mésotherme hygrophile** caractérisant les zones de moyenne altitude. La forêt mésotherme commence au-dessus de l'étage mégatherme, c'est-à-dire au-dessus de 900 à 1 100 mètres d'altitude. Ces zones de moyenne altitude ont une pluvirosité élevée (supérieure à 2 000 mm), sans vraie saison sèche sur les façades orientales. Seule la façade occidentale (1 500 à 2 000 mm) possède une saison sèche (4 à 5 mois à moins de 50 mm). Cette série présente trois grands ensembles différents de formations végétales : la forêt de « bois de couleur » (pratiquement toujours développée sur un épais manteau de cendres volcanique à andosols perhydratés), les fourrés très hygrophile de *Panblanus montanus* (développé sur andosol perhydraté) et la forêt d' *Acacia heterophylla* ou « tamarin des Hauts ».
- ◆ **La végétation éricoïde oligotherme** des hautes altitudes, couvrant environ 2/5 de la superficie de l'île. Elle commence, suivant les endroits, entre 1 600 mètres (Fournaise) et 1 900 mètres (Piton des Neiges) où la pluviométrie est supérieure à 1 500 mm.

L'île possède une grande diversité floristique. On estime ainsi que, parmi la flore indigène :

- **90 %** des espèces comme le “filaos” (*Casuarina equisetifolia*) sont endémiques des îles du sud-est de l'océan Indien (Madagascar, Comores) ;
- **60 %** des espèces comme le “ Grand natte ” (*Mimusops maxima*) et le “benjoin” (*Terminalia bentzoe*) n'existent qu'aux Mascareignes (Maurice, Réunion, Rodrigues) ;
- **30 %** des espèces comme le “ Grand Tamarin des Hauts ” (*Acacia heterophylla*) sont strictement endémiques de l'île.

1.1.5.2 – Agriculture

La topographie de la Réunion en fait une île au relief tourmenté. Les vastes remparts que sont les cirques contribuent à limiter considérablement les surfaces à vocation agricole. 17 %, soit 43 692 ha, seulement sont dévoués à l'agriculture.

La démographie, qui demeure élevée génère une forte pression foncière, souvent arbitrée au dépens de l'agriculture. Depuis 1989, l'agriculture a perdu 6 543 ha soit près de 600 ha/an. Cette tendance risque de continuer et de s'amplifier, à cause du déficit de terrains constructibles, de l'expansion de centre urbain et des besoins en infrastructures nouvelles.

La canne à sucre qui occupe 59,4 % de la SAU reste la production emblématique de l'île. Elle est à La Réunion ce qu'est la banane aux Antilles : une culture d'exportation qui génère une part importante des emplois agricoles. Les champs de cannes s'étendent sur les plaines côtières et les premières pentes jusqu'à 500 mètres dans le nord, l'est et le sud, et de 400 à 1 000 mètres dans l'ouest.

Au côté des cultures industrielles (canne à sucre et plantes aromatiques comme le géranium et le vétiver), on trouve :

- Les cultures fourragères (**25,5 %** de la SAU) plantes cultivées annuellement (exemple : maïs, fourrage) qui font partie des terres arables par opposition aux prairies qui n'entrent pas dans l'assolement.
- Les vergers et fleurs que sont les fruits permanents (**4,7 %** de la SAU) et les cultures florales (**0,3 %** de la SAU).
- Les cultures maraîchères (légumes et tubercules) qui représentent **3,2 %** de la SAU.
- Les cultures semi-permanentes, que sont les bananes et l'ananas qui occupent respectivement **0,6 %** et **0,5 %** de la SAU.

L'agriculture est le premier gisement de matière organique de l'île. Les déchets organiques feront l'objet d'une étude plus détaillée dans la seconde partie du mémoire

1.2 – Généralités sur les déchets organiques

1.2.1 – Les principaux gisements de matière organique

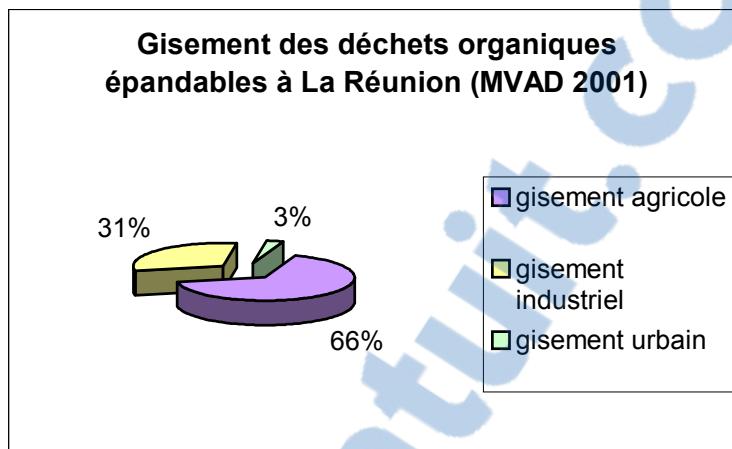


Figure 5 : Les gisements de déchets organiques à La Réunion.

Les déchets organiques à La Réunion sont composés en grande partie par les gisements de déchets agricoles qui représentent 66 % du total des gisements organiques épandables.

Les gisements urbains tels que les boues de station d'épuration ainsi que les déchets industriels tels que les résidus de canne à sucre (vinasse, écumes, etc.) ne représentent qu'une partie infime du gisement total (cf. figure 5).

Pour épandre les déchets organiques sur les sols cultivés, il est important de connaître les caractéristiques du produit (afin de vérifier son innocuité) et du milieu récepteur en l'occurrence le sol.

1.2.2 – La matière organique

1.2.2.1 – Dans le sol

La matière organique est un constituant du sol dont elle représente 1 à 6 % du poids sec. Elle se singularise par sa vitesse élevée de transformation ou de disparition et par des propriétés physico-chimiques particulières grâce auxquelles elle intervient dans la fertilité des sols.

Elle est formée de débris végétaux et animaux de toute nature, qui se superposent au sol minéral (litière forestière) ou lui sont incorporés (milieu cultivé).

La matière organique agit soit en libérant des éléments au cours de sa décomposition (azote, phosphore, etc.) soit en donnant naissance à des substances qui augmentent la biodisponibilité des éléments préexistants dans le sol (éléments en trace, etc.).

1.2.2.2 – Dans les déchets

Une des méthodes de caractérisation biochimique des déchets, le fractionnement (figure 7), permet de connaître la composition en distinguant quatre classes de constituant et en mesurant leurs proportions respectives.

Cette méthode a permis de construire des familles de produits de comportement agronomique semblable.

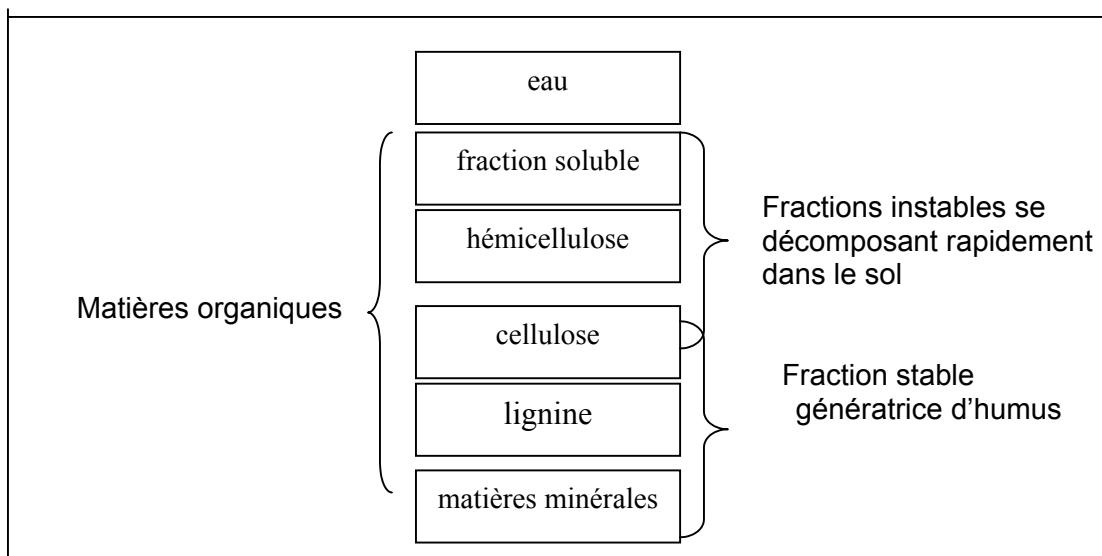


Figure 6 : Fractionnement biochimique de la matière organique

On distingue alors :

- **déchets d'élevage** (lisier, compost) : produits riches en azote et en fraction soluble qui sont utilisés comme **engrais** ;
- **déchets de culture** (paille et résidus) : produits riches en fraction cellulosique et en lignine qui sont utilisés comme des **amendements organiques** ;
- **déchets urbains** (compost d'ordures ménagères, boues de station et boues chaulées) : produits riches en fraction soluble et en hémicellulose ;
- **déchets des industries agro-alimentaires** (vinaise) : produits riches en matières minérales. Ces produits, pauvres en carbone, ne sont pas susceptibles d'apporter des grandes quantités d'humus stables au sol et leurs propriétés fertilisantes sont variables.

1.3 – Caractérisation des sols

1.3.1 Le choix des sols

L'étude est conduite sur deux sols largement représentés sur l'île et présentant une variabilité pédoclimatique caractéristique de La Réunion :

- **Le sol ferrallitique** prélevé sur la parcelle B8 (culture de canne à sucre) du site de La Mare, situé dans la commune de Sainte Marie ;
- **L'andosol non perhydraté** de la côte sous le vent, prélevé sur le site des Colimaçons localisé dans les hauts de Saint-Leu.

Remarque : Les parcelles du site des Colimaçons présentent une disposition en terrasse. Chose singulière dans le paysage agricole de l'ouest.

Les deux sites se différencient par les caractéristiques suivantes :

		<i>La Mare</i>	<i>Colimaçons</i>
Latitude		20°40	21°7
Longitude		55°52	55°18
Altitude		60 mètres	780 mètres
Roche mère		coulée de la phase III	Tufs et cendre de la phase IV
Climat	température	24,1°C (moyenne annuelle)	18,8°C (moyenne annuelle)
	pluie	1 700 mm/an	1 280 mm/an
Type de sol		sol ferrallitique	Andosol désaturé non perhydraté

Tableau 1 : Présentation des deux sites

1.3.2 – Les prélèvements

Le protocole de prélèvement suivi pour les deux sites est quasiment identique. La différence réside dans le préleveur : en effet, les prélèvements du sol de La Mare ont été réalisés au moyen d'un carotteur géonor MCL3, muni d'une sonde à gouge droite, qui a été spécialement mis au point pour la prise d'échantillon de terre en tous types de sol cultivé, alors que pour les andosols, des tarières manuelles ont été préférées à la machine pour des raisons pratiques.

Les prélèvements sont réalisés suivant le **plan d'échantillonnage**, représenté à la figure 7, qui consiste en un réseau de mailles carrés de 10 mètres de côté. Pour chacun des points, cinq carottages sont réalisés les uns à côté des autres (distance d'environ 20 cm entre chaque point) et mélangés entre eux. Cela permet de créer un échantillon moyen représentatif et de quantité suffisante. Pour chaque carottage, les prélèvements sont réalisés tous les 20 cm entre 0 et 100 cm au maximum (longueur de la gouge).

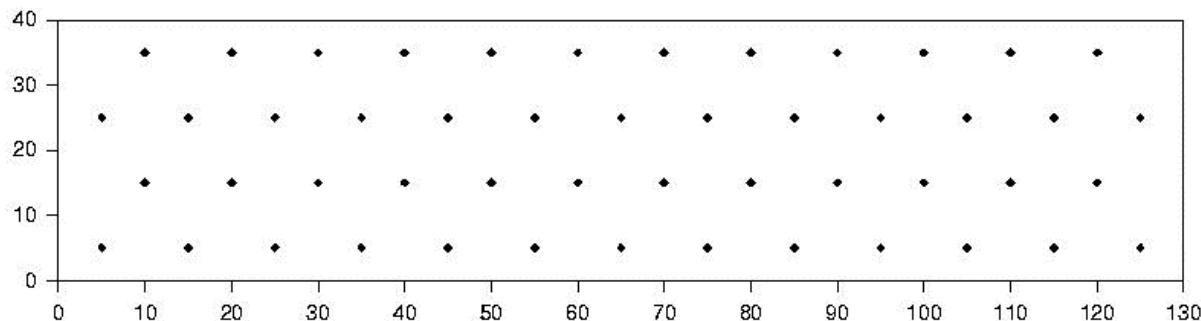


Figure 7 : Plan d'échantillonnage à maille carrée de 10 mètres

Un prélèvement systématique tous les 20 cm a été préféré à un prélèvement par horizon pour différentes raisons :

- les horizons sont difficiles à identifier avec ce type de prélèvement, l'ouverture d'une fosse permettra par la suite cette reconnaissance ;
- la quantification des transferts est plus aisée en terme de profondeur qu'en terme d'horizon.

1.3.3 – La préparation des sols

La préparation de l'échantillon est nécessaire pour le rendre représentatif à l'analyse. Cette étape comprend l'émettement des mottes, le séchage, la réduction des agrégats et la séparation de la terre fine par tamisage.

Toutes les opérations sont réalisées en salle de broyage.

- **Séchage :**

Le sol est étalé dans une coupelle en plastique propre et sèche. Le temps de séchage varie de 3-4 jours (pour le sol ferrallitique) à 1-2 jours (pour les andosols).

- **Réduction des agrégats et tamisage :**

La terre brute est tamisée directement sur un tamis de 5 mm. Lorsque les agrégats sont trop difficiles à réduire avec les doigts, on peut les écraser dans un mortier en porcelaine, à l'aide d'un pilon. Le tamisat obtenu est versé dans un flacon propre, sec et hermétique.

Remarque : à ce stade, il est possible de conserver le sol à l'obscurité en chambre froide à 4°C pendant un an maximum. Avant toute manipulation, il est indispensable de bien ré-homogénéiser le sol.

1.3.4 – Les analyses physico-chimiques

Des analyses systématiques des paramètres, les moins variables avec la période de prélèvement, les pratiques culturales et la saison, sont effectuées : **pH_{eau}**, **pH_{KCl}**, **conductivité électrique**.

Des analyses moins fréquentes comme **la granulométrie et les éléments chimiques majeurs** sur la fraction fine inférieure à 2 mm (carbone, azote, phosphore, potassium) voir **mineurs** seront aussi réalisées.

Remarque : Les résultats de l'analyse des éléments chimiques ne figureront pas dans ce rapport car les échantillons, envoyés au laboratoire des sols de Montpellier pour y être analysés, n'ont pas été traités à temps.

L'ensemble de ces analyses permettront d'évaluer la variabilité des paramètres physico-chimiques en relation avec certaines propriétés du sol présentant peu de variabilité dans le

temps (e.g. la granulométrie). Des corrélations spatiales pourront être réalisées par extrapolation (krigeage). Ceci permettra de voir si le pas d'échantillonnage est réaliste.

- **pH**

Le pH est un mode d'expression de la concentration des ions H_3O^+ à l'état dissocié du liquide surnageant après agitation d'une certaine quantité de sol ou de produit solide dans de l'eau distillée ou dans un produit liquide. Certains ions sont fixés sur certains composants solides du sol tels que les minéraux argileux, les matières organiques, des composés contenant de l'aluminium.

Ces composés solides, par leur aptitude à fixer les ions H^+ ou OH^- , tempèrent les variations du pH du sol. Le sol ou le produit qui résiste aux variations de pH a donc un pouvoir dit tampon. Ce pouvoir sera d'autant plus fort que le sol possède une CEC (Capacité d'Échange Cationique) importante donc qu'il contienne d'avantage d'argiles et de matières organiques.

Le pH s'exprime selon une échelle de 0 à 14. Le rapport pondéral **terre / eau = 2,5** est le rapport le plus souvent employé. Le protocole suivi (cf. annexe 1) est certifié qualité NF ISO 10 390.

$0 < \text{pH} < 6,5$: acide $6,5 < \text{pH} < 7,5$: neutre $7,5 < \text{pH} < 8,7$: basique $8,7 < \text{pH} < 14$: très basique

Rapport-gratuit.com
LE NUMÉRO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



L'influence du pH du sol sur l'assimilation possible des principaux éléments fertilisants et des oligo-éléments place sur le plan agronomique un pH optimal compris entre **6 et 7,5** en sol non calcaire.

- **Conductivité**

La salinité globale d'un sol est mesurée à partir de la conductivité électrique (CE). Tout sol qui renferme des sels solubles en quantité élevée est qualifié de salé. Ces sels solubles sont souvent présents sous forme dissociée dans la solution du sol (e. g. Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+). Cette conductivité exprimée en millisiemens par centimètre (mS/cm) ou en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S/cm}$) est donc mesurée sur l'échantillon de sol (préalablement séché) porté à saturation c'est-à-dire à "sa limite de liquidité" ou très fortement dilué (**rapport terre / eau de 1/5**). (cf. annexe 1). La conductivité électrique doit être comprise entre 0 et 16 millisiemens / cm ; mais au-delà de 8 la plupart des plantes cultivées voient leur rendement affecté par la salinité.

- **Granulométrie**

Le protocole de l'analyse granulométrique est décrit dans la partie caractérisation des sites.

PARTIE II : IDENTIFICATION DES SECTEURS AGRICOLES ET DES DÉCHETS ORGANIQUES

2.1 – L'agriculture dans l'île

Les pentes cantonnent l'agriculture à n'occuper que le sixième des sols réunionnais, soit 43 691 ha de SAU. Depuis la fin des années 1980, cette surface perd 600 ha par an (figure 8) au profit de l'expansion de centre urbain et des infrastructures. Cette tendance a amené d'importantes modifications dans le paysage agricole. En effet, disposant de surfaces restreintes, adéquates pour l'élevage, le choix d'une intensification et donc d'un système de production hors-sol s'est accentué.

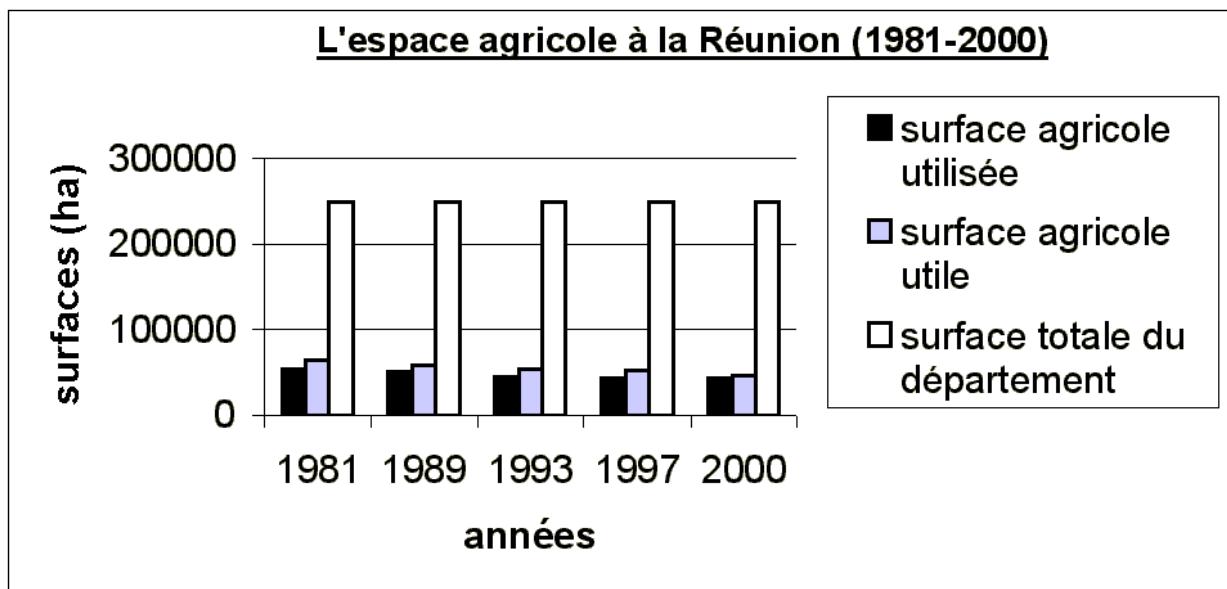


Figure 8 : Evolution de l'occupation de l'agriculture dans l'île (source, Agreste 2000)

Le développement récent des élevages s'est réalisé dans des zones fortement enclavées (Salazie, Plaine des Cafres) et a conduit à une concentration importante d'effluents sur certaines localités.

Dans les conditions actuelles le développement touristique et l'agriculture entre en compétition.

2.1.1 – Exploitants et structures d'exploitation

En 2000, La Réunion comptait 9 272 exploitations pour une SAU de 43 691 ha (données Agreste, 2002). Une partie importante, bien qu'en régression comme le montre le tableau 2, a une taille inférieure à 1 ha, 47 % des exploitations ont une SAU comprise entre 1 et 5 ha et 28 % ont une SAU comprise entre 5 et 20 ha.

Surfaces	Exploitations (%)					SAU (%)				
	1981	1989	1993	1997	2000	1981	1989	1993	1997	2000
Moins de 1ha	50,9	35,6	40,8	37,4	24,2	4,8	3,0	3,0	2,0	2,0
1 à 5 ha	41,6	47,9	38,8	37,5	46,7	36,2	33,0	27,0	23,0	23,0
5 à 20 ha	6,7	15,2	18,7	23,	26,7	20,1	35,0	40,0	45,0	47,0
20 ha et plus	0,8	1,3	1,7	1,9	2,3	38,99	29,0	30,0	30,0	28,0

Tableau 2 : Évolution des structures depuis ces 20 dernières années. (source Agreste 2000)

Le colonage qui représentait 17 % de la SAU en 1989 est en nette régression (6 % en 2000) au profit du fermage (36 %) et du Faire Valoir Direct (58 %).

La moyenne d'âge des exploitants agricoles est plutôt élevée :

Tranche d'âge	% des exploitants
moins de 30 ans	8,9 %
de 30 à 39 ans	29,2 %
de 40 à 49 ans	29,5 %
de 50 à 59 ans	23,6 %
de 60 à 64 ans	5,5 %
65 ans et plus	3,3 %

Tableau 3 : Répartition des exploitants agricoles en fonction de l'âge. (Source Agreste 2000)

2.1.2 – Les principales productions

2.1.2.1 – L'élevage

Il prend une part de plus en plus importante et s'est surtout développé dans les " Hauts " de l'île avec l'appui technique de la métropole et des aides régionales.

➤ **La filière lait et viande bovine**

La production laitière est en nette progression depuis une dizaine d'année. C'est une production très intensive qui, à l'image des élevages " lontan ", s'apparente presque à des productions hors-sol.

Avec une moyenne de 25 vaches par élevage, le cheptel bovin laitier dépasse aujourd'hui les 4 300 têtes.

Cet élevage, qui bénéficie d'une filière bien structurée, d'un marché en hausse et des possibilités de valorisation des sous-produits de la canne, doit faire face à certaines contraintes. Parmi celles-ci, la délocalisation des terres de productions fourragères hors des zones d'élevage génère des surcroûts de production pour les aliments grossiers. Avec un cheptel en phase d'augmentation, les éleveurs sont contraints d'importer des génisses de renouvellement.

Enfin, la faible consommation indigène de fromage (moins 5 kg par habitant, soit le tiers de la métropole) limite les possibilités de transformation.

La production de viande bovine est en nette amélioration : 7 156 têtes en 2000 contre 4 984 en 1989. La zone des plaines se double d'un autre bassin de production dans les hauts de l'ouest. Cependant, la consommation de viande bovine reste faible : moins de 7 kg par an et par habitant, la religion hindoue interdisant toute consommation de viande bovine.

La concurrence extérieure est forte : viande provenant de métropole et d'Afrique (Zimbabwe, Boswana). Les importations représentent près de 80 % de la consommation insulaire. Le potentiel de production local devrait cependant pouvoir, à terme, satisfaire 30 à 40 % de la consommation.

➤ **La filière de viande caprine**

Spéculation très ancienne, elle est pratiquée traditionnellement à titre familial et à des fins cultuelles. C'est donc une production atypique majoritairement destinée à des abattages rituels. La majorité des élevages est située dans la zone sous le vent en raison de la faible tolérance de la chèvre à l'humidité. Si quelques éleveurs spécialisés subsistent, les élevages traditionnels

basés sur un pâturage itinérant, sont en régression (21 594 têtes en 2000, 31 297 têtes en 1989).

L'évolution du mode de vie réunionnais en est la cause. Les enfants qui jadis allaient récolter l'herbe et les fourragères destinées à l'alimentation des caprins, sont aujourd'hui moins impliqués dans ces travaux manuels contraignants car quotidiens et répétitifs. De nombreux foyers ont ainsi abandonné ce type d'élevage proche des habitations et générateur des nuisances, chose qu'un monde de plus en plus urbanisé tolère moins facilement.

➤ **La filière de viande porcine**

Le marché de la viande de porc se décompose en deux parties. D'une part la viande fraîche, d'autre part le marché de la salaisonnerie et de la charcuterie. La filière porcine dont l'effectif en 2000 était de 76 873 têtes, oscille maintenant autour de l'autosuffisance en matière de viande fraîche (96 % de la consommation). Mais il s'agit d'un marché étroit et peu élastique. En revanche, l'autre marché est approvisionné par de la viande congelée importée.

➤ **La filière volaille**

Avec un effectif de 1 928 325 têtes, la filière volaille se porte bien à La Réunion.

La viande de volaille est l'une des quelques viandes qui ne souffre pas d'interdit religieux. C'est un marché porteur avec une consommation de 34 kg par an et par habitant, contre 32,5 kg en métropole, mais confronté aux importations massives de poulets congelés à bas prix. Ainsi, lors de la crise de vache folle, la filière de volaille de La Réunion n'a que très peu profité des modifications alimentaires. Les importations ont comblé la différence. C'est une filière bien structurée qui assure l'autosuffisance mais frôle aujourd'hui la surproduction.

2.1.2.2 – La culture de la canne à sucre

La canne à sucre est cultivée à La Réunion depuis presque 200 ans. Elle y fut introduite après le cyclone de 1806 qui détruisit totalement les plantations de cafiers et de girofliers qui étaient à l'époque les seules spéculations agricoles de l'île.

Bien que le paysage réunionnais ait fortement évolué, la canne à sucre reste le pivot de l'agriculture, voire de l'économie et de la société réunionnaise. La filière cannière représente 59,4 % de la SAU en 2000 (soit 25 923 ha pour 4 777 exploitations) et intéresse près de 20 000 personnes depuis la production jusqu'à la transformation.

La culture de la canne présente des atouts, tant cultureaux qu'économique :

- elle est résistante aux aléas climatiques, maintient la fertilité des sols (apport de résidu) et assure un rôle de protection contre l'érosion ;
- le temps de travail consacré présente une période de pointe pendant la coupe, mais offre par ailleurs une disponibilité à l'agriculteur ;
- Son prix est garanti, il se décompose en 3 fractions :
 - le prix industriel fixé pour une richesse de 13,8 % ajusté en fonction de la canne livrée ;
 - l'aide économique de l'État ;
 - l'aide sociale attribuée aux petits planteurs (livraison <100 tonnes) affiliés à la Mutualité Sociale Agricole.

La filière canne à sucre a une structure bien organisée. Deux bassins canniers approvisionnent les usines du Gol et de Bois Rouge. La collecte des cannes s'organise autour de " balances ", relais où les producteurs regroupent les livraisons. Celles-ci seront ensuite acheminées vers les usines par les cachalots, semi-remorques spécialement aménagés pour le transport de la canne.

2.1.2.3 – Le géranium

Le géranium rosat est introduit à La Réunion en 1880. La culture se développe d'abord sur les hauteurs du sud de l'île, à la Plaine des Cafres, puis au Tampon. Elle s'étend ensuite aux hauts du sud-ouest jusqu'à Saint-Leu, entre 700 et 1 200 mètres d'altitude, puis aux hauts de Saint-Paul.

Aujourd'hui, les surfaces plantées en géranium rosat sont d'environ 400 ha et la production ne dépasse pas les 10 tonnes par an; entre 1920 et 1935, cette culture occupait jusqu'à 15 000 ha, la production d'huile essentielle atteignant plus de 50 tonnes par an.

Bien que le géranium ne représente plus de nos jours qu'un poids très faible dans l'économie de la Réunion (1 % des exportations), son enjeu social reste considérable pour les hauts. Il constitue, en effet, l'une des rares cultures susceptibles de maintenir des emplois agricoles dans une zone où les problèmes d'enclavement sont encore importants.

2.1.2.4 – L'horticulture

Le maraîchage apparaît comme la forme dominante de la diversification végétale.

Cette filière comprenant les légumes frais, les légumes secs et les tubercules, bénéficie d'une relative technicité et d'un savoir-faire des producteurs, malgré la faiblesse des intrants.

La floriculture semble, depuis quelques années, attirer de nouveaux agriculteurs (318 exploitants) sur de petites surfaces (0,3 % de la SAU avec 120 ha).

C'est une filière dynamique mais dont le développement se heurte parfois aux problèmes d'insularité et au coût des transports. Le marché trouve un terrain favorable avec les fêtes traditionnelles et religieuses : fête des mères, Toussaint...

Les déchets épandus sur les parcelles sont généralement issus des régions environnantes. Ainsi, sur le site de Colimaçons, les déchets susceptibles d'être épandus proviendront des hauts de l'ouest. Après une présentation générale de l'agriculture dans l'île, nous évoquerons l'agriculture des hauts de l'ouest et nous identifierons les pratiques agricoles et les déchets organiques susceptibles de présenter un risque pour l'environnement.

2.2 – L'agriculture dans les hauts de l'ouest

La richesse des hauts de l'ouest se caractérise par la diversité :

- **du milieu physique** marqué par un relief accidenté rendant exclusive certaines voies de communication entre les communes des hauts et concentrant les points de passage pour se rendre dans les bas. Cela accentue l'isolement de beaucoup d'exploitations agricoles et limite l'accessibilité des parcelles aux engins mécanisés.

- **du milieu humain** : après un exode massif des élites, on assiste depuis la fin des années 1970 à une reconquête de la région. Suite au plan d'aménagement des hauts (1976), le rééquilibrage avec le littoral doit passer par une politique dynamique en matière d'habitat et de structuration des régions et quartiers des hauts.

- **du milieu biologique** : dans le paysage des hauts de l'ouest, les productions agricoles présentent une stratification altitudinale telle que :

- la canne à sucre qui domine entre 400 et 900 m d'altitude (900 m étant la limite écologique dans l'ouest).
- le géranium qui se mêle à la canne entre 800 et 900 mètres (il peut monter jusqu'à 1 200 mètres).
- au dessus de 800 mètres, on trouve la zone d'élevage.
- les petits ateliers bovins ou caprins ainsi que les productions maraîchères viennent diversifier les systèmes d'exploitation qui abandonnent progressivement la monoculture de canne ou de géranium. On les retrouve donc à des altitudes variables allant de 700 à 1 200 mètres.

L'activité agricole dans les hauts de l'ouest est tributaire du climat des conditions du milieu.

Avant d'évoquer les pratiques agricoles, il est nécessaire de positionner les exploitations dans la diversité des systèmes agraires de la zone.

Mise à part les exploitations spécialisées dans l'élevage, on distingue plusieurs catégories d'agriculteur selon le degrés de diversification de leurs activités (d'après une typologie réalisée dans les hauts de l'ouest, en 1996, par BOSCHER et PERRET).

2.2.1 – Les pratiques agricoles

La connaissance des pratiques agricoles a pour but d'aider à rendre compte des objectifs et des projets de l'agriculture et à apprécier la nature et l'impact des contraintes qui limitent les possibilités de production (VIMEUX L., 1998).

Confrontés au problème de plantation, les agriculteurs doivent réaliser des apports en matières organiques sur leur culture. Leur besoin est en fonction de la surface et des types de culture qu'ils souhaitent mettre en production.

- Pour les cultures exigeantes (pomme de terre, oignon, carotte) en éléments fertilisant, cet apport doit se faire en deux fois (plantation et développement). La quantité de fertilisant importe beaucoup plus que le type.

- Pour les cultures peu exigeantes, on fait l'impasse sur l'amendement organique, en misant sur l'arrière effet d'un apport précédent, l'engrais est aussi apporter en moindre quantité.

Les agriculteurs s'affranchissent de leurs besoins en matière organique soit par la constitution d'un effectif d'animaux adéquat, soit par un approvisionnement extérieur.

Une large majorité des agriculteurs opte pour l'auto production de matière organique : pour des raisons financières (constitution d'un capital sur pied, mobilisable en cas de besoins financiers ou d'autoconsommation ; gain financier lors de la vente d'un animal pour renouvellement).

- différents modes de production de la matière organique dans le cas de l'auto production.

La dimension des cheptels varie d'un exploitant à l'autre. Les troupeaux comptant un nombre assez important d'animaux, présentent l'avantage de laisser un volume de litière important et de représenter une voie de diversification supplémentaire.

Une enquête a été réalisée sur un échantillonnage de 9 agriculteurs qui intègrent bien dans la typologie du système de production variée, qui plus est avec une relative fidélité par rapport à la situation générale.

Le résultat révèle une certaine similitude entre les agriculteurs au niveau de la composition du cheptel. Ceci reflète bien la situation dans la zone : la possession d'un ou deux bovins adultes, fait partie d'une logique d'auto approvisionnement en matière organique afin de mener à bien les cultures vivrières.

La présence de volailles élevées constitue avant tout une diversification, cependant, la litière récupérée est très appréciée des exploitants.

- Différentes sources d'approvisionnement de matières organiques

Les exploitants qui se pourvoient à l'extérieur ont plusieurs sources d'approvisionnement :

- l'écume de sucrerie ;
- litière de poulailler ;
- lisier de bœuf ;
- lisier de lapin.

Ces sources de matières organiques présentent des avantages : elles sont faciles à manipuler et ne coûtent pas trop cher, excepté l'écume dont le prix reste rédhibitoire.

Les déchets produits sur l'exploitation qui viennent s'ajouter aux apports extérieurs sont :

- Fumier de bovin ;
- Fumier de caprin ;
- Fumier de lapin ;
- Lisier de pondeuse ;
- Lisier de canard ;
- Lisier de porcin.

2.3 – Caractérisation des déchets (MVAD 2001)

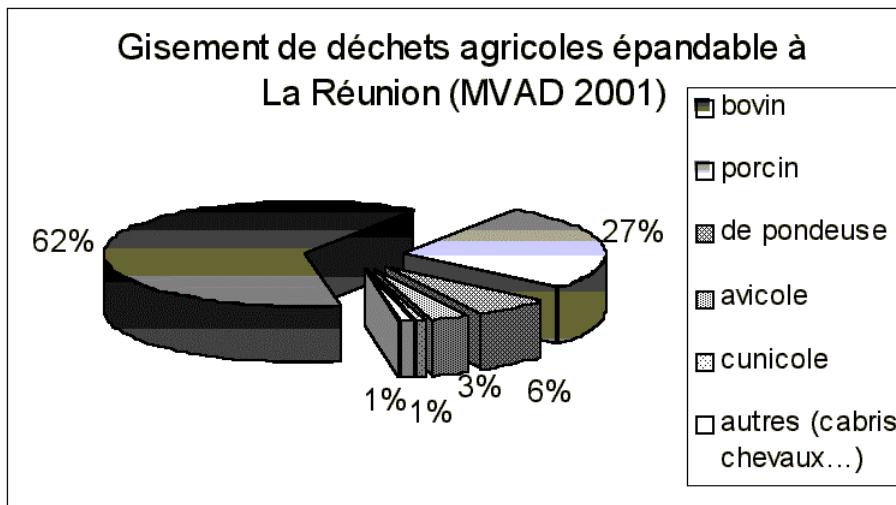


Figure 9 : Gisement des déchets épandables à la Réunion

2.3.1 – Fumier de bovin

- **Origine** : il est constitué de l'ensemble de déjection liquide et solide.

La nature physique du fumier de bovin est influencée par des facteurs tels que l'âge et le régime alimentaire de l'animal.

- **Caractérisation** : pH = 8

CE = 8,01 mS/cm → produit salé qui contient une quantité importante de sels solubles

MO = 45-50 %

- **Réglementation** : Norme NFU 44051 (fumier, amendement organique)
- **Valeur agronomique** : ce fumier est riche en potasse.
- **Quantité** : l'ensemble du Cheptel engendre 204 702 tonnes de matière brute soit 368 467 tonnes de matière sèche. C'est le premier gisement animal en tonnage 52 % du total.
- **Utilisation** : ce produit est utilisé comme amendement organique.
- **Zone de production** : le Tampon, Saint-Joseph, Saint-Paul, Saint-Leu.

2.3.2 – Fumier de Caprin

- **Origine** : Il est obtenu à partir du mélange plus ou moins fermenté, des litières et des déjections de caprin. Sa composition chimique dépend du régime alimentaire.
- **Caractérisation** : pH = 8,5
MO sur 100 g de matière sèche = 74 %.
- **Réglementation** : en règle générale les déjections sont exclues de la réglementation des matières fertilisantes.
- **Valeur agronomique** : la teneur en potasse et en calcium est élevée. C'est un produit intermédiaire ; son comportement dépendra de sa teneur en paille.
- **Quantité** : le tonnage produit reste pour l'instant vague puisque tous les élevages de caprins ne sont pas recensés.
- **Utilisation** : ce fumier contient une grande quantité de potasse. Il pourra donc être utilisé pour les cultures dont la potasse demeure un facteur limitant. Son utilisation est principalement de l'autoconsommation.

2.3.3 – Lisier de lapin

- **Origine** : ce produit est constitué des déjections et des restes d'aliments. Sa composition varie suivant le type d'aliments, l'âge, l'état des animaux, et le système d'élevage.
- **Caractérisation** : pH = 7,4 ➔ pH optimal
- **Réglementation** : en règle générale les déjections sont exclues de la réglementation.
- **Valeur agronomique** : ce produit est riche en azote.

- **Utilisation** : étant donné sa composition biochimique, il est nécessaire d'utiliser ce produit en tenant compte des effets de faim d'azote qu'il peut engendrer.
- **Quantité** : l'ensemble de cheptel engendre un peu plus de 2 000 tonnes de produits bruts.
- **Zone de production** : les effluents d'élevage de lapins sont concentrés dans six communes : Saint-Joseph, Salazie, les Avirons, Le Tampon, Saint-Leu et Saint-Pierre.

2.3.4 – Fumier de canard

- **Origine** : ce produit est obtenu à partir des déjections animales d'élevage de canards. La composition chimique varie selon le régime alimentaire et le type d'animaux.
- **Caractérisation** : pH = 7
MO = 70 % de la matière sèche.
- **La réglementation** : en règle générale le produit est exclu de la réglementation.
- **Valeur agronomique** : riche en azote, phosphore et potassium.
- **Utilisation** : ce produit est utilisé uniquement en auto-consommation.

2.3.5 – Lisier de pondeuse

- **Origine** : le produit est constitué majoritairement de déjections de poules pondeuses. Les fientes sont stockées dans la litière et aboutissent à des produits de composition variables qui dépendent de l'âge, du mode d'élevage, du régime alimentaire, etc.
- **Caractérisation** : pH = 6,9 ➔ proche de l'optimum agronomique
CE = 13,9 mS/cm : produit salé
MO = 64 % de la matière sèche.
- **Réglementation** : en règle générale, les déjections sont exclues de la réglementation.
- **Valeur agronomique** : ce produit est riche en azote, phosphore et potassium.
- **Quantité** : les effluents de pondeuses représentent 31 700 tonnes brutes soient 7 916 tonnes de matière sèche. C'est le troisième gisement animal en tonnage brut.
- **Utilisation** : ce produit est riche en éléments fertilisants. Des variations fertilisantes sont importantes donc les caractéristiques agronomiques du produit changent d'une exploitation à l'autre.
- **Zone de production** : la production d'effluents est concentrée dans trois communes : Le Tampon, Saint-Paul et Salazie.

2.3.6 – Lisier de porcin

➤ **Origine** : ce produit est un mélange de féces et d'urine. Il a une forte charge organique et une composition variable en fonction du type d'alimentation, et de la digestibilité des produits ingérés.

➤ **Caractérisation** : pH : 7,2 à 8,2

MO = 40 à 69 % de la matière sèche.

➤ **Réglementation** : en règle générale, les déjections sont exclues de la réglementation des matières fertilisantes.

➤ **Valeur agronomique** : elle est fonction des conditions de stockage et d'épandage Jusqu'à 50 % de perte en azote par volatilisation.

➤ **Quantité** : l'ensemble du cheptel engendre 228 575 m³ de lisier soit 11 428 tonnes de matière sèche. C'est le premier gisement animal en volume brut (46 % du total) et en azote 40 % du total), mais le troisième en tonnage de matière sèche (16 % du total). Ceci est dû à la teneur élevée du lisier en eau.

➤ **Utilisation** : l'épandage correctement réalisé est le meilleur moyen technique et économique de valorisation. Des essais agronomiques sur cannes à sucre ont montré un effet positif lié à son utilisation. Son utilisation a induit des effets positifs sur le sol.

➤ **Zone de production** : les effluents porcins sont concentrés sur 5 communes : Saint-Joseph, Saint -Pierre, Saint-Paul, Salazie et le Tampon.

PARTIE III : CARACTÉRISATION DU SITE DES COLIMAÇONS

La station des Colimaçons est située dans les hauts de la commune de Saint-Leu. Elle se trouve à une altitude de 780 mètres et à une superficie de près de 3 hectares. La disposition de ses parcelles en terrasse en fait un site original.

3.1 – Historique

La station des Colimaçons appartient au CIRAD depuis 1963.

Une synthèse des données, rassemblées grâce à de la bibliographie, a permis de retracer l'historique des parcelles.

Remarques : Nous disposons de données allant de 1963 à 1984. Depuis 1984, l'occupation des parcelles n'est plus répertoriée. La fin de l'historique a été réalisé à partir des informations récoltées avec les techniciens du Cirad.

L'historique a été réalisé de deux façons :

3.1.1 – Historique des essais par année

cf. Annexe 2

3.1.2 – Historique des essais par courbes de niveau

Les courbes de niveaux correspondent à une dénivellation de trois mètres. La numérotation va de zéro à dix dans le cas de notre étude. La courbe zéro correspond à la première parcelle appelée " parcelle jardin ". (*cf. annexe 3*)

3.2 – Substrat géologique et pédogénèse

Les andosols (« Ando » : sol noir en japonais) sont des sols formés sur des substrats volcaniques et sont assombris par la matière organique.

À La Réunion, les andosols sont rarement formés sur des coulées basaltiques massives, mais sur des projections tuffo-cendreuses, à plus de 600 mètres d'altitude et sous plus de 1 500 mm de pluviométrie annuelle.

On peut classer les andosols en deux sous-classes :

- **les andosols allophaniques** (ou andosols *sensu stricto*) :

Ils sont issus d'un processus d'hydrolyse à partir de matériaux pyroclastique. Ils sont riches en " allophanes ", particules floconneuses très riches en eau.

Cette sous-classe comprend aussi :

- Les andosols vitriques, peu évolués et à propriété de sable volcanique. Leurs facteurs limitants sont d'ordre physique : profondeur restreinte, forte macroporosité, fort drainage et faible retention d'eau. Ceci aura pour conséquence de présenter un risque de lixiviation rapide de certains éléments chimiques, dont l'azote.

- Les andosols saturés, très fertiles et supportant un usage agricole intensif.
- Les andosols désaturés, comprenant les andosols non perhydratés (e. g. sol des Colimaçons) et les andosols perhydratés.

- **Les andosols non allophaniques** ou para-andosols sont issus d'un processus d'acido-complexolyse modéré. Ce sont des sols peu fertiles.

3.3 – Traits morphologiques

3.3.1 – Profil type et description des horizons culturaux

Les andosols sont des sols meubles et sans cailloux. La pierrosité de ces sols est généralement nulle. On peut y trouver des tufs et des reliquats de basaltes. Un profil est constitué de trois horizons successifs.

- **L'horizon A**, d'une épaisseur de 20 à 30 cm présente une couleur brun foncé. Sa structure est caractérisée par des agrégats grumeleux, cohérents et frais et sa texture est limono-sableuse.

- **L'horizon d'altération S** dont l'épaisseur varie de 50 à plus de 100 cm. Il est de couleur brun jaune. Sa texture est constituée à plus de 50 % de particules de dimension inférieure à 2 mm.
- En profondeur, **l'horizon C** est constitué soit d'alternance de lit cendreux, indurés (tufs), soit d'un mélange de cendres en voie d'altération et de basaltes.

3.3.2 – Caractéristiques chimiques des andosols

D'un point de vue chimique, les andosols réunionnais sont acides. En moyenne, le pH_{eau} est de 5,3 à 6,4 en surface et 5,8 à 6,2 en profondeur. Sa conductivité est comprise entre 30 et 85 mS/cm.

Ce pH faible (autour de 5 voire en dessous) peut rendre possible la présence d'aluminium échangeable, toxique pour les plantes cultivées.

Les apports de carbonates de calcium ou de silicium sont parfois nécessaires pour relever le pH au-dessus de 5. Cependant, les andosols ont un fort pouvoir tampon, c'est-à-dire qu'ils résistent à la remontée du pH ; les faibles doses de chaux sont donc souvent inefficaces.

3.4 – Caractérisations physiques du site

Le site des Colimaçons présente huit parcelles étagées (voir photo page suivante) : la parcelle 1 étant la plus basse (780 m d'altitude) et la parcelle numéro 8 la plus haute (830 m d'altitude). Le plan d'échantillonnage est figuré ci-dessous.

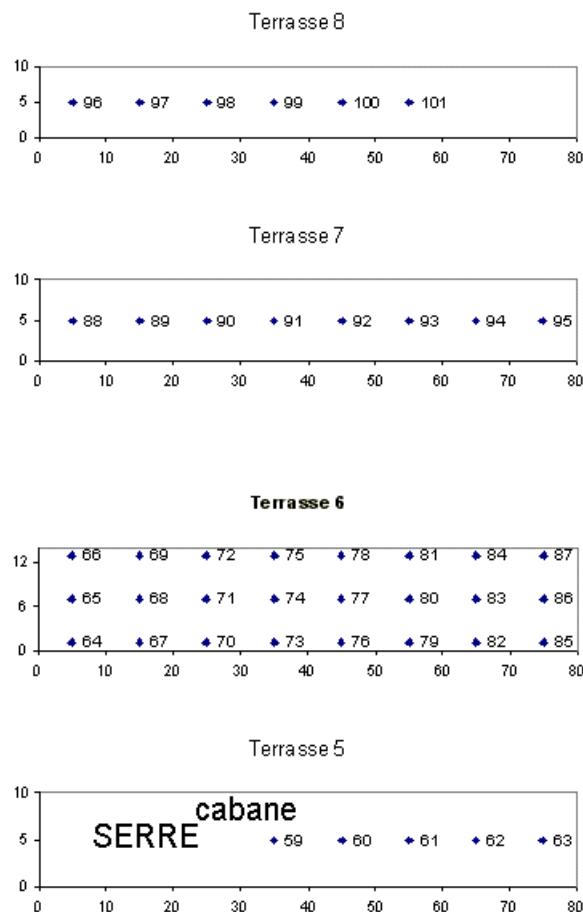
Remarque : Certaines parcelles étant trop étroites, nous avons effectué des prélèvements sur une seule ligne (cas des parcelles 4, 5, 7 et 8).

Pour la parcelle 6 (cultivée en canne à sucre), les prélèvements ont été réalisés dans les interlignes. La maille est alors rectangulaire (10 × 3 m).

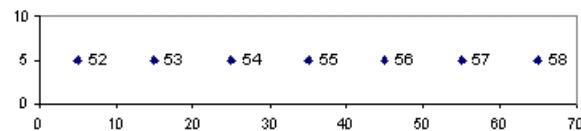
Sur chaque prélèvement, nous avons déterminé la répartition granulométrique des particules, les pH_{eau} et pH_{KCl} ainsi que la conductivité électrique. Les résultats de la granulométrie seront présentés dans le prochain chapitre.



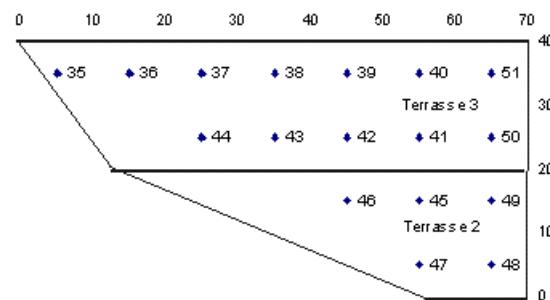
Carte 1 : le site des Colimaçons



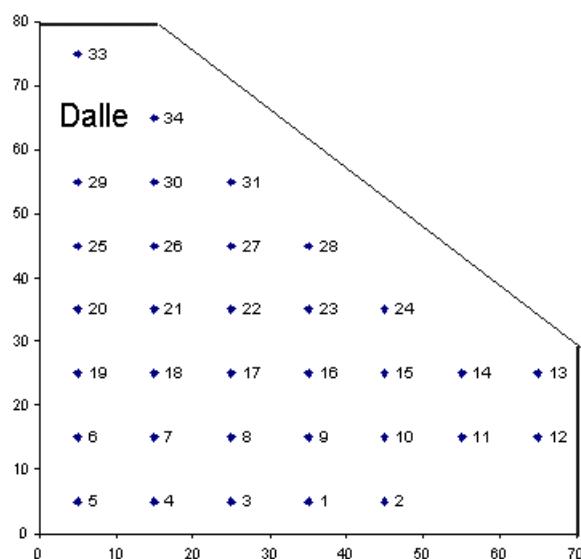
Terrasse 4



Terrasse 2 et 3



Parcelle 1 ou parcelle jardin



3.4.1 – La granulométrie

3.4.1.1 – Le protocole adopté

La granulométrie, ou *texture*, correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseur (en fait, *diamètre*, les particules étant supposées sphériques). Elle met en évidence les classes granulométriques suivantes :

- Sable Grossier (SG) : $0,2 < d < 2$ mm
- Sable Fin (SF) : $0,05 < d < 0,2$ mm
- Limon Grossier (LG) : $0,02 < d < 0,05$ mm
- Limon Fin (LF) : $0,002 < d < 0,02$ mm
- Argile (A) : $d < 0,002$ mm

(où d est le diamètre des particules)

L'objectif de cette analyse est de nous renseigner sur le comportement du sol vis-à-vis de l'eau (sol filtrant, sol imperméable et perméable).

L'analyse granulométrique a été réalisée sur neuf échantillons (un pour le site de la Mare et huit pour le site des Colimaçons) choisi au centre de chaque parcelle. L'objectif de ces analyses granulométriques est, d'une part, de voir s'il existe un lien entre la topographie et la distribution des particules minérales dans le sol (pour le site des Colimaçons) et d'autre part, d'avoir un élément de comparaison entre les deux types de sol.

La méthode employée suit le mode opératoire adapté de celui mis au point par Perret S. (1993).

Mode opératoire :

Les granulométries sont pratiquées sur la terre fine (obtenue par tamisage au tamis à mailles à 2 mm). La prise d'essai pour l'analyse est de 20 grammes. L'analyse granulométrique consiste en un traitement préalable de l'échantillon en vu de le dissocier en ces divers constituants et de détruire les ciments organiques et minéraux. Les différentes fractions sont ensuite obtenues par sédimentation pour les fractions les plus fines (0 à 20 μm) et par tamisage pour les plus grossières (20 μm à 2 mm).

➤ **Destruction des matières organiques**

La destruction de la matière organique se fait au peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) à froid (H_2O_2 110) / 3 volume.

L'ajout d'eau oxygénée pure H_2O_2 110 volume accélère l'attaque. Une fois la solution d'attaque évaporée, l'échantillon est lavé deux fois à l'eau distillée.

➤ **Désaturation et dispersion**

Le produit du traitement est transféré quantitativement dans les allonges, puis de l'eau distillée est ajoutée de façon à atteindre un volume de 800 ml.

➤ **Mise en suspension et sédimentation**

Les allonges sont agitées mécaniquement pendant deux heures. Après mise au repos, et s'il y a flocculation, le surnageant est évacué, mis à l'étuve à 105°C et pesé. Le floculat est ensuite remis dans une solution d'acide chlorhydrique (0,02 N) et agité. Si la flocculation persiste, le floculat est lavé à l'eau distillée puis mise en solution dans de la soude (0,02 N). Après une nouvelle agitation et mise au repos, la dispersion est obtenue. L'ajout de quelques gouttes de soude dans l'allonge permet de parfaire la dispersion (en augmentant légèrement le pH).

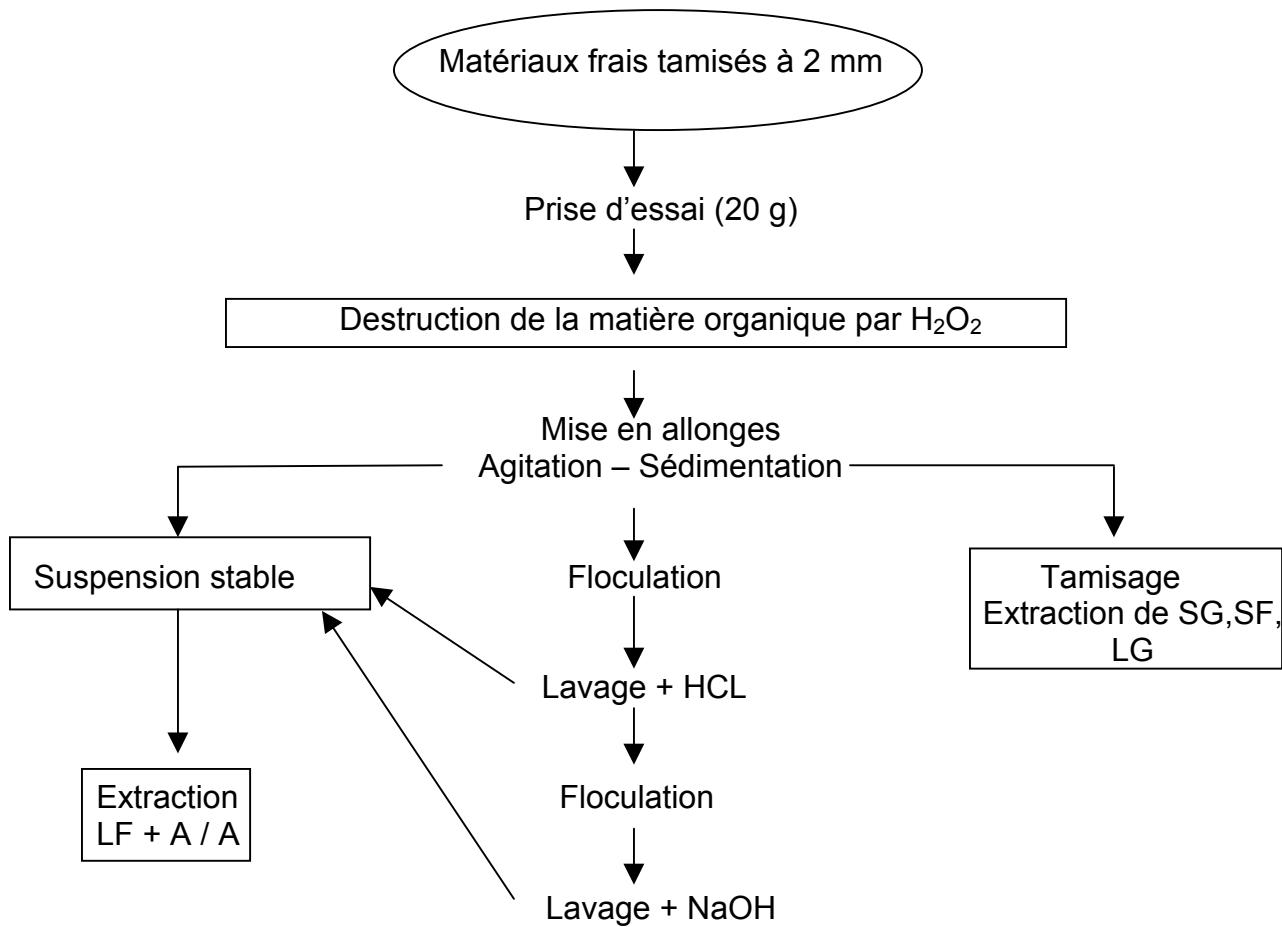
Lorsque la dispersion est obtenue, un premier prélèvement d'aliquote (20 ml par litre de suspension) après agitation permet de quantifier la fraction 0 à 20 μm (*i. e.* argile + limon). Un second prélèvement au temps défini par la loi de STOCKES permet de quantifier la fraction argileuse inférieure à 2 μm .

➤ **Tamisage et extraction**

La solution est passée dans une colonne de tamis (200 μm , 50 μm et 20 μm). Les refus soigneusement lavés sont constitués de :

- gravier fin et de sable (G + SG : 0,2 à 5 mm)
- sable fin (SF : 50 à 200 μm)
- limon grossier (LG : 20 à 50 μm)

Chaque fraction extraite est séchée à l'étuve (à 105°C) et pesée. Notons que le tamisage à 20 µm est délicat, il doit se faire sous vibration (chocs légers et vibrations répétées sur le bord du tamis) pour permettre le passage de la solution dans les mailles, dont le rinçage doit être soigné.



3.4.1.2 – Présentation des résultats

L'analyse granulométrique a été réalisée sur neuf échantillons : les prélèvements ont été réalisés au centre de chacune des huit parcelles (afin d'éviter les éventuels effet de bordure). Les résultats de cette analyse figurent dans le tableau ci-après.

Échantillons	Sables grossiers	Sables fins	Limon grossier	Limons fins	Argiles	Total
23A	1,443	2,878	2,423	3,050	7,150	16,944
41A	2,173	2,671	1,768	3,300	8,650	18,562
46A	2,536	3,627	1,666	3,900	4,300	16,029
55A	2,187	3,537	2,126	3,550	5,500	16,900
61A	3,838	3,124	1,561	2,700	6,900	18,123
77A	3,801	4,186	0,994	4,500	5,400	18,881
92A	3,082	3,284	1,270	5,400	5,950	18,986
99A	3,056	3,772	1,054	4,200	4,700	16,782
7A	0,406	1,076	5,249	2,000	10,900	19,631
témoin T5	0,643	2,065	1,750	3,000	8,250	15,708

Échantillons	Sables (g)	Limons (g)	Argiles (g)	Total
23A	4,32	5,47	7,15	16,94
41A	4,84	5,07	8,65	18,56
46A	6,16	5,57	4,30	16,03
55A	5,72	5,68	5,50	16,90
61A	6,96	4,26	6,90	18,12
77A	7,99	5,49	5,40	18,88
92A	6,37	6,67	5,95	18,99
99A	6,83	5,25	4,70	16,78
7A	1,48	7,25	10,90	19,63
témoin T5	2,71	4,75	8,25	15,71

Analyse granulométrique exprimée en grammes

Échantillons	Sables grossiers	Sables fins	Limon grossier	Limons fins	Argiles	Total
23A	8,52%	16,99%	14,30%	18,00%	42,20%	100%
41A	11,71%	14,39%	9,52%	17,78%	46,60%	100%
46A	15,82%	22,63%	10,39%	24,33%	26,83%	100%
55A	12,94%	20,93%	12,58%	21,01%	32,54%	100%
61A	21,18%	17,24%	8,61%	14,90%	38,07%	100%
77A	20,13%	22,17%	5,26%	23,83%	28,60%	100%
92A	16,23%	17,30%	6,69%	28,44%	31,34%	100%
99A	18,21%	22,48%	6,28%	25,03%	28,01%	100%
7A	2,07%	5,48%	26,74%	10,19%	55,52%	100%
témoin T5	4,09%	13,15%	11,14%	19,10%	52,52%	100%

Échantillons	Sables (%)	Limons (%)	Argiles (%)	Total
23A	25,50	32,30	42,20	100
41A	26,10	27,30	46,60	100
46A	38,45	34,72	26,83	100
55A	33,87	33,59	32,54	100
61A	38,42	23,51	38,07	100
77A	42,30	29,10	28,60	100
92A	33,53	35,13	31,34	100
99A	40,69	31,31	28,01	100
7A	7,55	36,93	55,52	100
témoin T5	17,24	30,24	52,52	100

Analyse granulométrique exprimée en pourcentage

3.4.1.3 – Analyse des résultats

L'analyse de l'horizon A permet de définir le type de texture du sol en se référant au diagramme de texture (diagramme de USDA-USA) (figure.10). Le résultat s'obtient à partir de trois points : valeur du sable (SG + SF), du limon (LG + LF) et de l'argile (A).

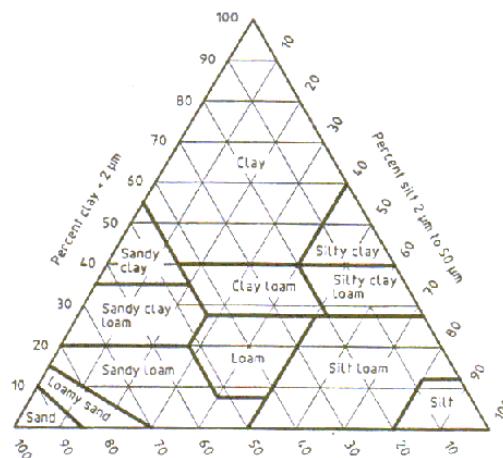


Figure 10 : exemple de triangle équilatéral avec séparation entre limon et sable à 50 µm (USDA – USA)

L'échantillon 23A de la parcelle 1 présente une texture **argilo-limoneuse**.

Les échantillons 46A, 61A, 77A correspondant respectivement aux parcelles 4, 5 et 6 ont une texture **sablo-argileuse**.

Les échantillons 41A, 55A, 92A et 99A, appartenant respectivement aux parcelles 2, 3, 7 et 8, ont une texture **argilo-sablo-limoneuse** (texture dite équilibrée, qui correspond à l'optimum puisqu'elle intègre les trois types de structures). Cette texture est favorable à l'agriculture.

Cette répartition des textures semble logique. En effet, les textures les moins sableuses correspondent aux parcelles se situant en aval. Ceci s'explique par le fait que, lors du lessivage des sols, les particules les plus fines (*i. e.* les argiles et les limons) soient davantage entraînées vers le bas, par les eaux de ruissellement, que les particules sableuses, plus lourdes et de tailles plus importantes.

3.5 – Caractérisations chimiques des sites

Une carte de répartition permet de visualiser rapidement les gradients d'hétérogénéité existants sur chaque parcelle. Ces données apportent une meilleure connaissance du terrain du point de vue de la qualité chimique des parcelles et pourront constituer un critère de décision pour leur aménagement.

Pour l'interprétation des parcelles, les données de la parcelle 2 et 3 ont été regroupées afin d'avoir une parcelle plus représentative (parcelle 2').

Dans cette étude, seules les parcelles 1,2' et 6 ont été interprétées. Les parcelles 4,5,7 et 8 sont de trop petites tailles.

3.5.1 – Interprétation de la parcelle 1

Les cartes de variabilité du pH_{eau} montrent d'une part, une augmentation de l'homogénéité avec la profondeur et d'autre part, une augmentation du pH avec la profondeur.

La valeur moyenne traduit un état d'équilibre entre la production de H⁺ qui intervient en cours d'humidification et l'apport d'ions basiques. La valeur basse du pH dans l'horizon labouré peut être liée à l'activité biologique de la faune et la flore du sol. Ainsi, la production de CO₂ par ces micro-organismes acidifie le sol. La diminution de l'activité de la microflore et faune en profondeur pourrait expliquer l'augmentation du pH observée.

Les cartes de variabilité de la conductivité montrent une décroissance des valeurs de la conductivité avec la profondeur. Ceci peut s'expliquer par la présence, en surface, d'une plus grande concentration en sels solubles que dans les horizons profonds.

Les variations spatiales de pH et de conductivité sur cette parcelle montrent deux structures de forme ovale qui se reproduisent en profondeur (cf. figures 11 à 16). Des analyses complémentaires (mesure d'éléments totaux et capacité d'échange cationique) seront effectuées au milieu et en dehors de ces structures pour affiner la caractérisation de la parcelle. Les résultats de ces analyses ne nous ont pas encore été communiqués.

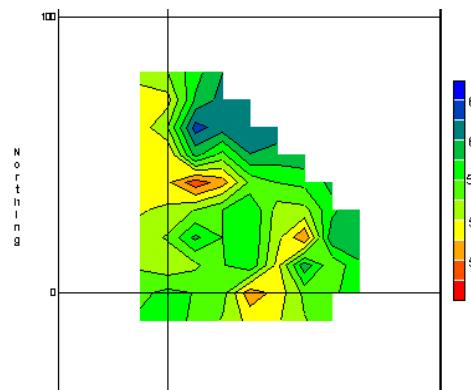


Figure 11 : Carte de variabilité du pH_{eau} de la parcelle 1 (A)

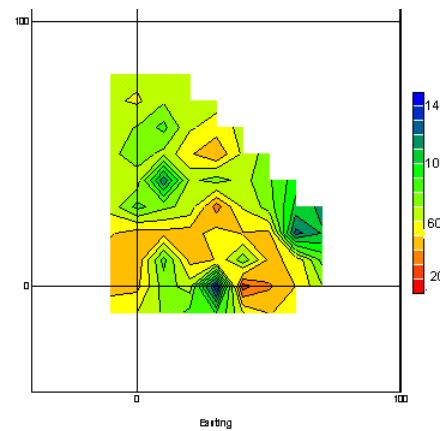


Figure 14 : Carte de variabilité de la conductivité électrique (en µS/cm) de la parcelle 1 (A)

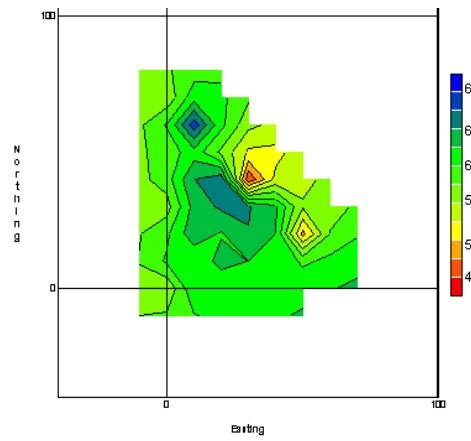


Figure 12 : carte de variabilité du pH_{eau} de la parcelle 1 (C)

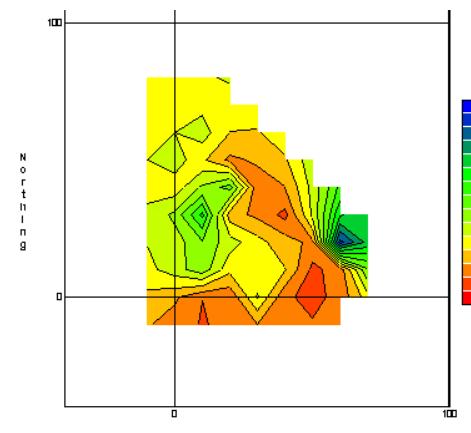


Figure 15 : Carte de variabilité de la conductivité électrique (en µS/cm) de la parcelle 1 (C)

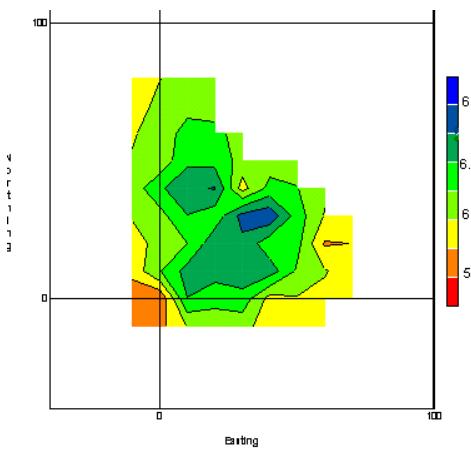


Figure 13 : Carte de variabilité du pH_{eau} de la parcelle 1 (E)

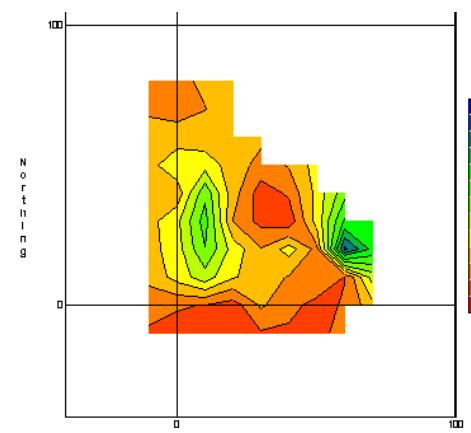


Figure 16 : Carte de variabilité de la conductivité électrique (en µS/cm) de la parcelle 1 (E)

3.5.2 – Interprétation de la parcelle 3

Les cartes de variabilité du pH_{eau} (figure 17 à 19) montrent, une augmentation du pH avec la profondeur. Cependant, en profondeur les valeurs ne sont pas homogènes. On peut distinguer 3 formes en losange.

Au sud de la parcelle, les pH sont plus élevés (structure en forme de losange) pour les profondeurs A (0 à 20 cm) et C (40 à 60 cm). Sur le terrain, on a remarqué que la terre était plus humide à cet endroit. Ceci est probablement dû à la circulation de fluide en profondeur (ceci reste à confirmer via le creusement de fosses).

Les cartes de variabilité de la conductivité (figures 20 à 22) montrent une croissance des valeurs de la conductivité avec la profondeur. Cette parcelle présente une répartition spatiale hétérogène des conductivités pour les trois profondeurs (A, C et E).

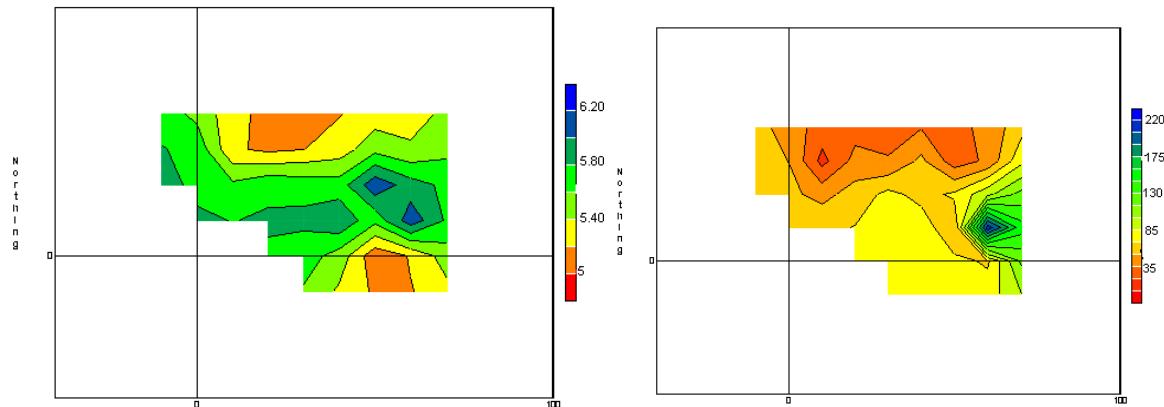


Figure 17 (à gauche) et figure 20 (à droite) : Carte de variabilité du pH_{eau} et de la conductivité électrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) de la parcelle 2' (A).

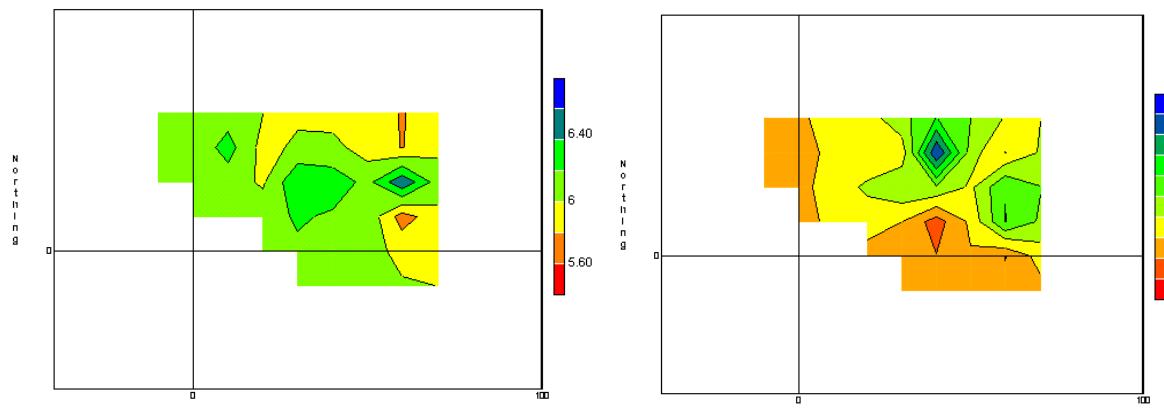


Figure 18 (à gauche) et figure 21 (à droite) : Carte de variabilité du pH_{eau} et de la conductivité électrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) de la parcelle 2' (C).

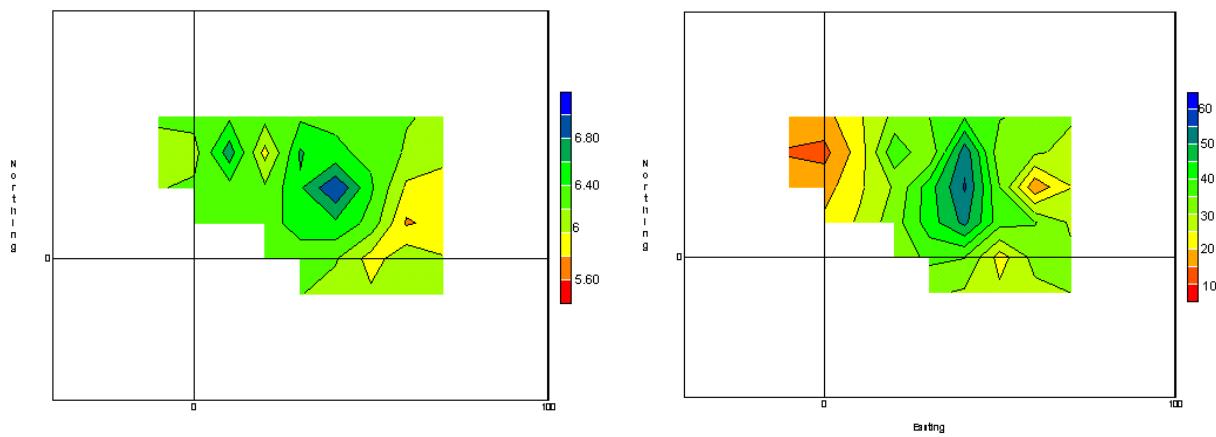


Figure 19 (à gauche) et figure 20 (à droite) : Carte de variabilité du pH_{eau} et de la conductivité électrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) de la parcelle 2' (E).

3.5.3 – Interprétation de la parcelle 6

Les cartes de variabilité du pH_{ea} et de la conductivité électrique montrent toutes l'existence d'un effet de bordure. En effet, les valeurs de pH et de conductivité diffèrent sensiblement du centre de la parcelle vers les bords. Cela peut s'expliquer par le lessivage du sol plus important sur les bordures qu'au centre. En effet, cette parcelle est recouverte de canne, l'érosion des sols y est donc moins importante au centre que sur les bordures.

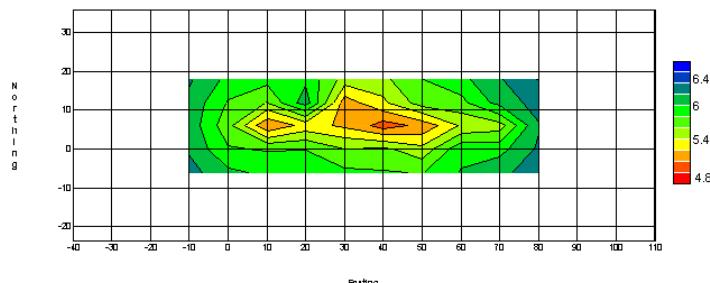


Figure 23 : Carte de variabilité du pH de la parcelle 6 (A)

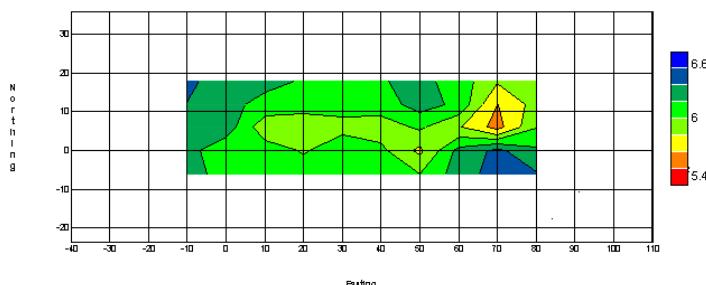


Figure 24 : Carte de variabilité du pH de la parcelle 6 (C)

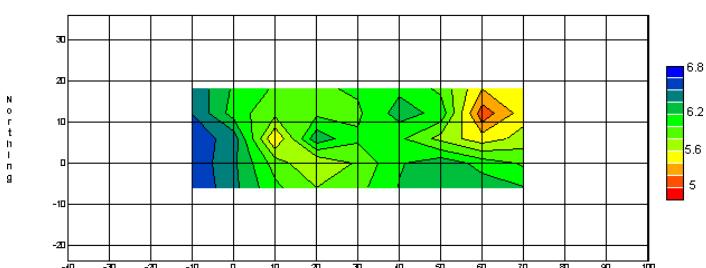


Figure 25 : Carte de variabilité du pH de la parcelle 6 (E)

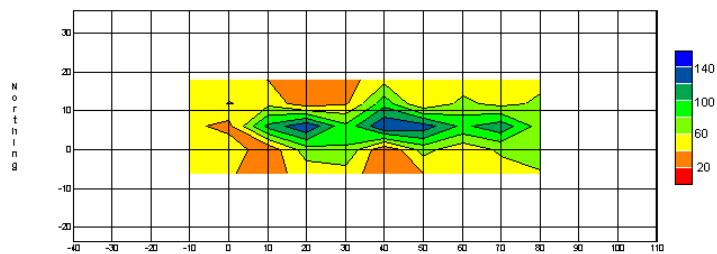


Figure 26 : Carte de variabilité de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la parcelle 6 (A)

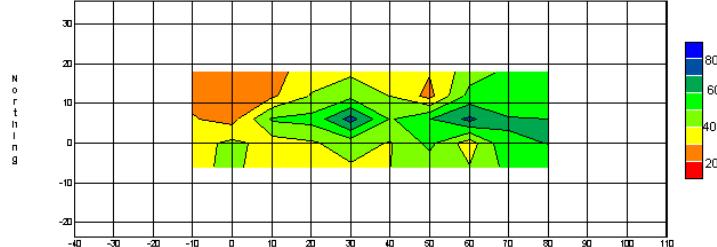


Figure 27 : Carte de variabilité de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la parcelle 6 (C)

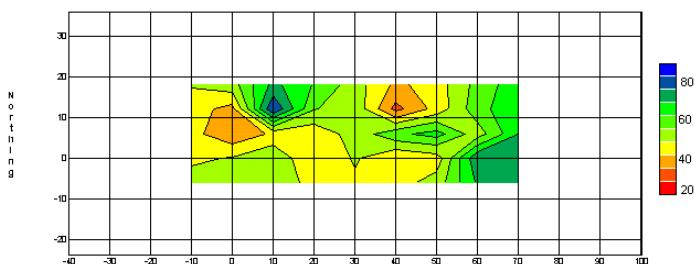


Figure 28 : Carte de variabilité de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la parcelle 6 (E)

3.5.4 – Analyse géostatistique

Une analyse géostatistique utilisant les variogrammes nous permet de préciser ces cartes. Le logiciel « variowin » a été utilisé pour réaliser ces variogrammes.

Le variogramme est représenté par l'équation (1) :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

où $N(h)$ est le nombre de paires séparées par l'espace de distance h ;

$Z(x_1), Z(x_2) \dots Z(x_n)$ sont les valeurs des données mesurées au point $x_1, x_2 \dots$

Et h la distance entre le point X et $X+h$

Le variogramme $\gamma(h)$ ne dépend pas de la localisation x , mais seulement de h (soit en module, soit en module et en direction).

La fonction $\gamma(h)$ est habituellement croissante en fonction de h . Elle synthétise beaucoup d'information concernant le comportement conjoint des variables aléatoires et concernant la "continuité" des données.

Les modèles de variogrammes montrant un seuil sont caractérisés par:

- i) la portée : distance où deux observations ne se ressemblent pas tout en moyenne.
- ii) le palier : écarts les plus grands, en moyenne, entre deux variables.
- iii) effet de pépite : variation à très courte échelle, erreurs de localisation, erreurs d'analyse et précision analytique.

Les modèles de variogrammes ont été réalisés pour trois profondeurs :

- A (0 – 20 cm) *horizon labouré*,
- C (40 – 60 cm),
- E (80 – 100 cm).

3.5.4.1 – Interprétation de la parcelle 1

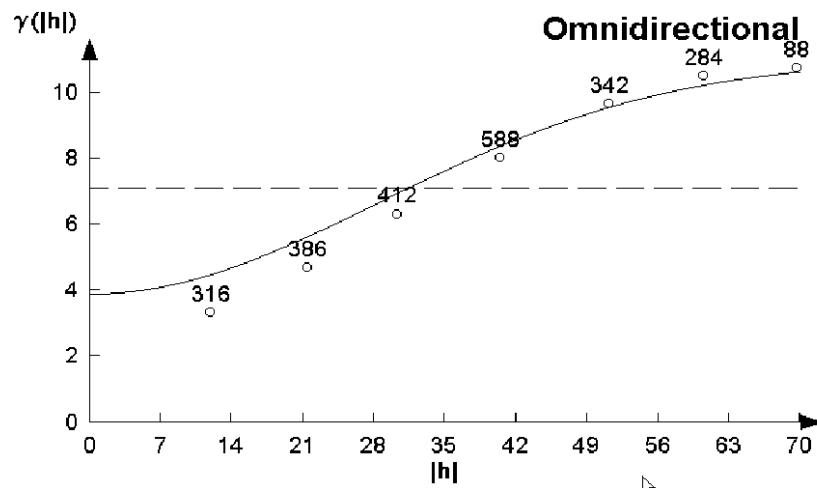


Figure 23 : Variogramme du pH_{eau} de la parcelle 1(A) des Colimaçons

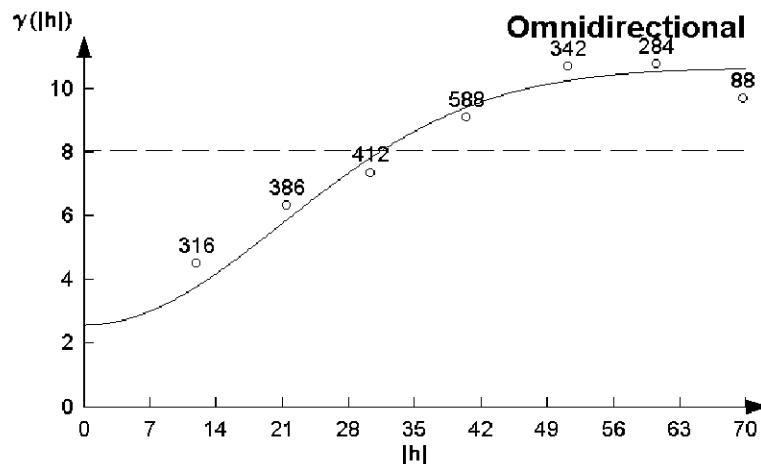


Figure 24 : Variogramme du pH_{eau} de la parcelle 1(E) des Colimaçons

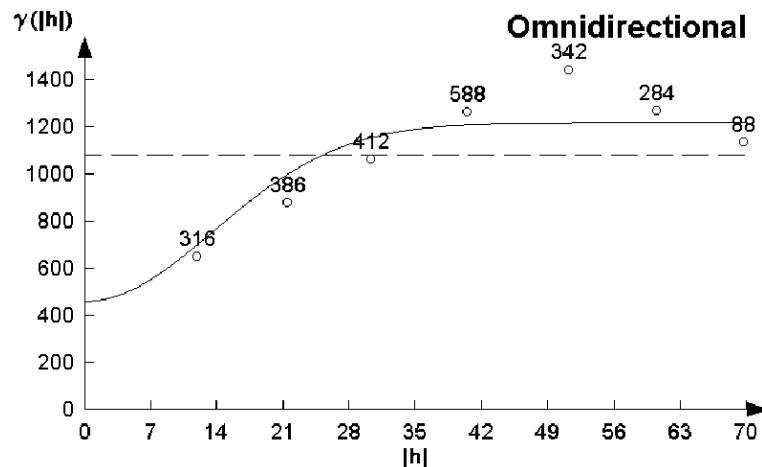


Figure 25 : Variogramme de la conductivité électrique de la parcelle 1(A) des Colimaçons

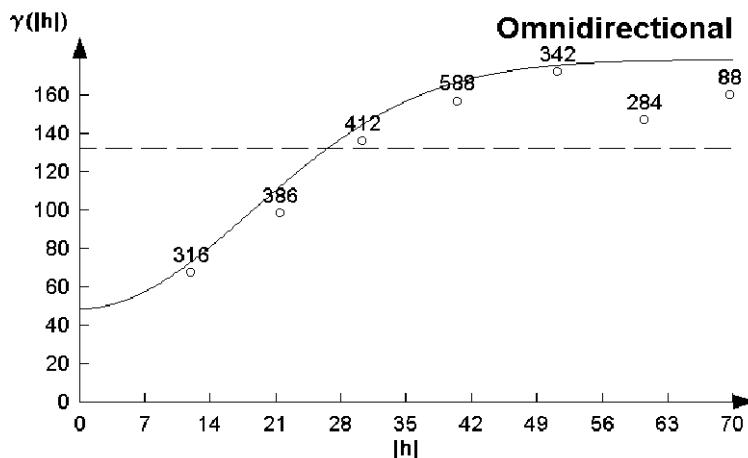


Figure 26 : Variogramme de la conductivité électrique de la parcelle 1(E) des Colimaçons

Ces variogrammes présentent une discontinuité à l'origine. Cette discontinuité est appellé "effet pépite". La variable $Z(x)$ est très irrégulière car non continue en moyenne quadratique. Cette discontinuité s'interprète par l'existence d'une micro-régionalisation d'échelle inférieure à celle de h . Sur un plan pratique, l'effet pépite pose le problème de la représentativité de l'échelle d'échantillonnage adoptée et / ou de l'incertitude qui affecte les mesures.

PARTIE IV : CARACTÉRISATION DU SITE DE LA MARE

Le site de la Mare se situe dans la commune de Sainte-Marie, au nord de l'île.

4.1 – Présentation

4.1.1 – Historique du site

La station de la Mare est louée par le CIRAD au sucrerie de Bourbon depuis 1982. Les besoins génétiques de l'époque était de 7 hectares.

De 1982 à 1996, l'utilisation du site fut la suivante :

1982 : 7 hectares, essais génétiques et pathologiques

1985 : 1 hectare, essais agronomiques : essais de fertilisation de longue durée

1987 : Fin du programme création variétale / culture *in vitro*

1991 : Essais de fertilisation

1992 : Essais sur la croissance de la canne à sucre

1993 : Essais de phytopathologie sur de petite surface

1994 : Un plan parcellaire a été défini après une étude pédoclimatique (C. Lacroix, 1994). À la fin de l'année 1994, tout le système d'irrigation a été refait. La station a été équipée de deux systèmes d'irrigation : l'aspersion et le « goutte à goutte »

1995 : Essai d'irrigation, essai de croissance sur la canne à sucre

1996 : Essai de fertilisation en utilisant les deux systèmes d'irrigation

- Fertilisation par le goutte à goutte : essai de différentes formulations associant des engrains solubles ou non
- Fertilisation en aspersion : trois types de fertilisation répondant à une simplification et une évolution des plans d'utilisation vers l'utilisation future des sous-produits

Depuis 1996, les essais sont plus rares.

4.1.2 – Présentation de la parcelle étudiée

D'une longueur de 118 mètres et de largeur 48 mètres, sa superficie est de 0,44 ha. La parcelle, dédiée à l'étude des risques environnementaux des pratiques agricoles, est localisée par 55°53 E et 20°89 S. Sur la photographie ci-dessous, elle est représentée par la lettre B et le chiffre 8. Elle est irriguée par un aspergeur (Rotator, modèle américain) dont le diffuseur permet d'obtenir une uniformité de l'arrosage. Actuellement, la parcelle est occupée par de la canne.



Carte 2 : le site de La Mare

La figure ci-dessous présente le plan d'échantillonnage de cette parcelle

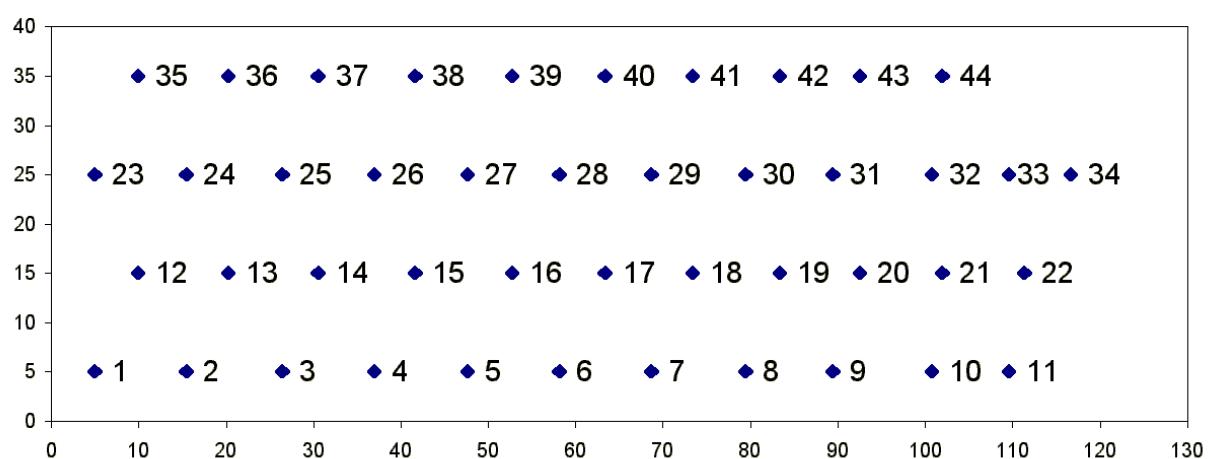


Figure 27 : Plan d'échantillonnage de la parcelle B8

4.2 – Substrat pédologique et pédogenèse

Les coulées de la phase III du Piton des Neiges sont à l'origine des sols de la région de Sainte-Marie. Ces coulées n'ont pas été recouvertes par celles de la phase IV et sont altérées en sols ferrallitiques.

Les sols ferrallitiques sont généralement les plus vieux sols. Ils représentent la phase terminale de l'évolution des sols qui sont soumis à un climat chaud et humide et qui bénéficient d'un drainage suffisant.

Leur genèse passe par une hydrolyse totale des minéraux primaires des roches. Ils se forment des métahalloysites, alumino-silicates secondaires argileux de la famille des kaolinites. Le fer libéré donne de l'hématite et de la goethite, une partie de l'aluminium s'individualise en gibbsite.

4.3 – Traits morphologiques (Profil type et description des horizons cultureaux)

Les sols ferrallitiques présentent une certaine hétérogénéité morphologique dans l'espace. Les vrais sols ferrallitiques complets ne se rencontrent plus que sur les vieilles planèzes de la phase II de Piton des Neiges, et les planèzes plus récentes des phases III et IV.

Les profils pédologiques réalisés sur la partie basse de la station montrent un profil de type A/B BC/C.

- **L'horizon A**, d'une profondeur de 25 cm, présente une couleur brun foncé. La structure est polyédrique arrondi, fine à moyenne. Sa texture est argileuse (50 % d'argile). C'est l'horizon labouré.
- **L'horizon B** montre une épaisseur qui varie selon l'importance de la remontée basaltique. Cet horizon structural est de couleur brun rougeâtre et a une structure polyédrique moyenne. La texture est argileuse (52 % d'argile) : halloysite-metahalloysite (2/3) et kaolinites.
- **L'horizon BC** : horizon d'altération dont l'épaisseur fluctue beaucoup. La couleur ocre ou rouge est due à la présence d'oxyde de fer.
- **Horizon C** : basaltes à feldspath appartenant à la phase III. En profondeur, il forme une dalle

La limite entre les horizons A et B est assez nette du fait du travail du sol. La distinction se fait au changement de structure (polyédrique arrondi à polyédrique moyen).

Entre les horizons B et BC, la transition est plus graduelle et se remarque essentiellement grâce au changement de couleur (l'horizon BC est rouge vif).

4.4 – Caractéristique physique du sol

Une analyse granulométrique a été réalisée sur un échantillon.

À partir d'un seul échantillon, les possibilités d'interprétation sont réduites. L'analyse de l'horizon A permet de définir le type de texture du sol en se référant au diagramme de texture. Le résultat s'obtient à partir de trois points : valeur du sable (SG + SF), du limon (LG + LF) et de l'argile (A).

Le sol présente donc une texture argileuse. Les agrégats élémentaires sont polyédriques anguleux. Les propriétés physiques sont bonnes : les racines explorent bien le sol et le drainage est toujours excellent

4.5 – Analyses de la composition chimique des sols

Des prélèvements ont été faits selon le plan d'échantillonnage (cf. figure 27). Sur chaque prélèvement, des mesures de pH et de conductivité électrique ont été faites selon des protocoles normalisés (cf. annexe 1). Les résultats de ces analyses sont regroupés dans l'annexe 4.

4.5.1 – Interprétation des cartes de variabilité spatiale du pH et de la conductivité électrique

Des cartes de répartition des éléments chimique sont réalisées à l'aide d'un logiciel de krigeage : « easymapping ». Ces cartes permettent de visualiser rapidement les grandes hétérogénéités existantes sur la parcelle. Ces données apportent une meilleure connaissance de la parcelle.

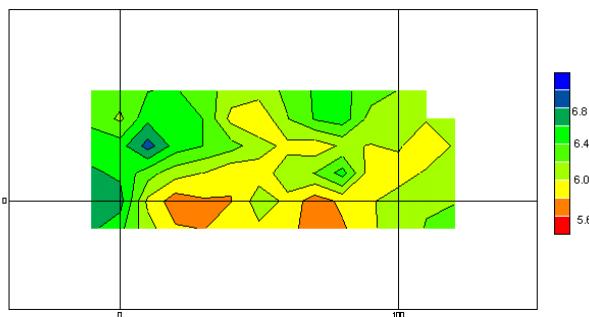


Figure 28 : Carte de variabilité de pH_{eau} (A) de la parcelle B8

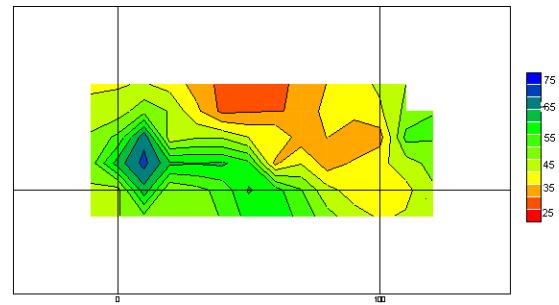


Figure 31 : Carte de variabilité de la conductivité électrique (A) de la parcelle B8

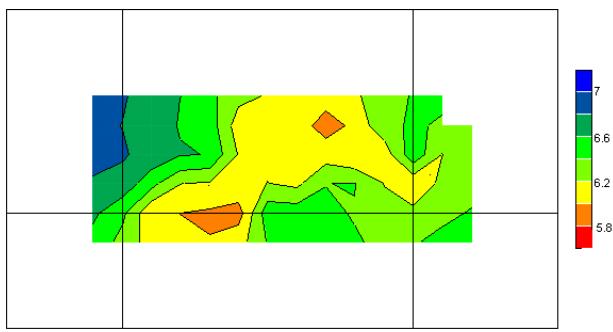


Figure 29 : Carte de variabilité de pH_{eau} (C) de la parcelle B8

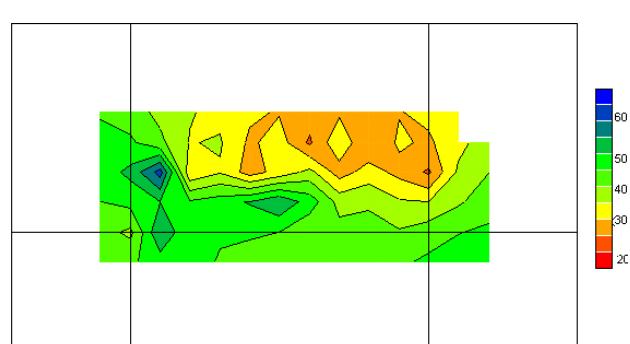


Figure 32 : Carte de variabilité de la conductivité électrique (C) de la parcelle B8

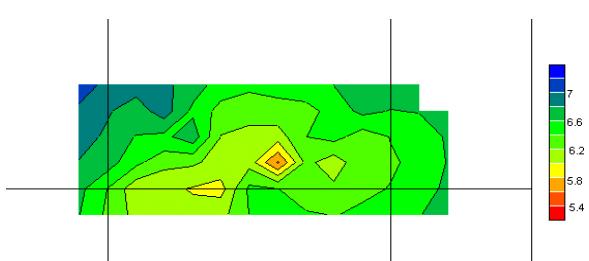


Figure 30 : Carte de variabilité de pH_{eau} (E) de la parcelle B8

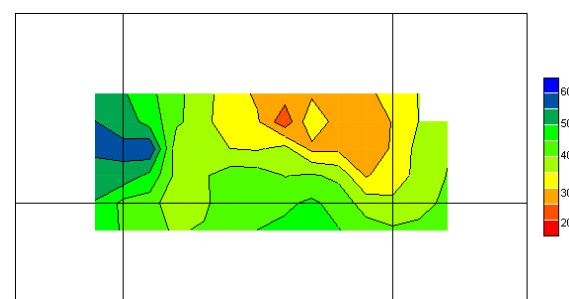


Figure 33 : Carte de variabilité de conductivité électrique (E) de la parcelle B8

Les cartes de répartition des pH montrent qu'à la profondeur A (0-20 cm), les mesures sont presque homogènes pour l'échelle étudiée ; excepté pour un seul point, de coordonnées (0 ; 5). Ce point sur le terrain nous a posé des problèmes de prélèvement, il est anormalement faible (20 cm). Cette anomalie pourrait être retirée de la carte.



Les cartes de répartition de la conductivité électrique fait apparaître une bonne homogénéité de ces mesures pour les trois profondeurs.

À la profondeur A (0-20), les mesures de la conductivité électrique paraissent homogène à l'échelle étudiée ; excepté au point (10 ; 10°) qui pourrait être éliminé parce qu'il correspond à une extrapolation réalisée par le logiciel.

Sur les profondeurs étudiées, on note la présence de structures logiques dans la répartition des mesures de conductivités électriques. La conductivité décroît de l'ouest vers l'est et du nord vers le sud. Au nord de la parcelle, les valeurs sont élevées, probablement à cause d'un effet de bordure. Toutefois, pour chaque profondeur, il apparaît des points exceptionnels qui se retrouvent à toute les profondeurs. Les courbes sont de moins en moins marquées lorsque l'on descend en profondeur. En surface, les gradients se resserrent ; ceci est probablement lié au travail du sol.

4.5.2 – Interprétation des variogrammes

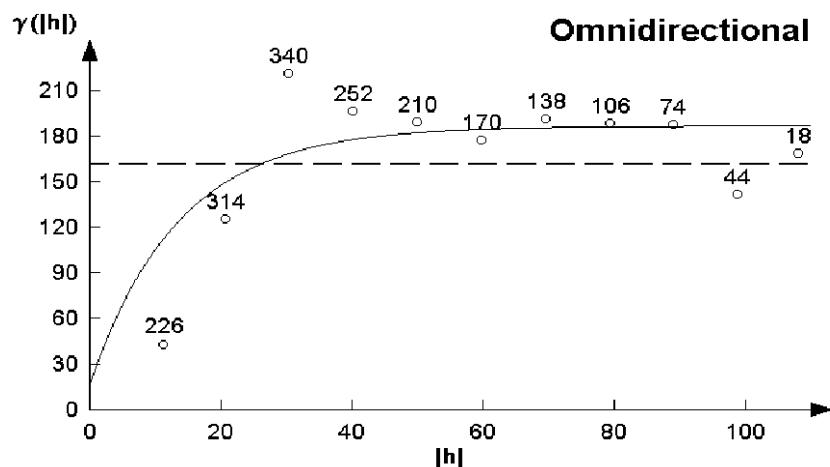


Figure 34 : Variogramme pH_{eau} (profondeur A) de la parcelle B8

Les variogrammes présentent une discontinuité à l'origine (effet pépite). La variable Z(x) est très irrégulière parce que non-continue en moyenne quadratique. L'effet pépite pose le problème de la représentativité de l'échelle de l'échantillonnage adoptée et / ou de l'incertitude affectant les mesures.

Partie V : Aménagement des parcelles destinées au suivi environnemental

À La Réunion, les sols sont riches en oxyde de fer, ce qui est un contexte favorable pour le suivi de leur évolution à long terme sous apport de déchets organiques.

Les sols des deux stations étudiées présentent une variabilité pédologique et climatique, largement représenté sur l'île. Sur ces sites seront mis en place des expérimentations telles que l'épandage des déchets organiques et des dispositifs qui permettront de suivre l'évolution de la mobilité des produits organiques dans le sol (fosses pédologiques, bougies poreuses, sondes TDR (Time Domain Reflectometry), tensiomètres, etc.).

5.1 – Le choix des sites expérimentaux

Nous allons rappeler brièvement les caractéristiques afin de comprendre les raisons qui ont motivées le choix des plateformes expérimentales.

5.1.1 – La Mare

La station de la Mare est située dans la zone au vent (Sainte-Marie). Elle bénéficie d'une pluviométrie de 1 700 mm/an et d'une température avoisinant les 24,1°C. La végétation dans cette région est de type mégatherme semi-xérophile, représentée par la savane arbustive. Les sols ferrallitiques de La Mare, cultivés en canne à sucre, reposent sur une coulée de phase III et IV.

Les sols ferrallitiques présentent tous de bonnes propriétés physiques : ils sont moins profonds, grossiers et présentent une bonne structuration. Cependant, ce sont des sols érodibles.

Les cartes de répartition des mesures de pH et de conductivité électrique présentées dans le chapitre 4 montrent un gradient du nord au sud dans le sens de la largeur. Ce comportement général se retrouve pour chaque profondeur. La structuration est cohérente et ne présente que peu de variabilité. Nous pourrons noter que l'on retrouve des valeurs élevées de la conductivité électrique et du pH au niveau de la bordure nord de la parcelle ; ceci correspond à des extrapolations du logiciel de krigage.

5.1.2 – Les Colimaçons

La station des Colimaçons est localisée dans la commune de Saint-Leu, située dans la région de la côte sous le vent. Elle bénéficie tout de même des conditions climatiques relativement humides (1 280 mm/an) et fraîches (18,8°C). À cette altitude, 780 mètres, on trouve des l'andosols perhydratés non saturés. Les andosols possèdent des propriétés physico-chimiques particulières ; ils sont très filtrants et stables en conditions naturelles. Ils perdent leurs propriétés au cours de leurs mise en culture: en effet ils deviennent érodibles et difficiles à régénérer.

Après l'étude des cartes de variabilités, on observe que l'horizon superficiel labouré présente une structure hétérogène et ce, sur l'ensemble des parcelles. Les pH sont plus acides dans l'horizon superficiel et augmentent avec la profondeur. Ceci peut être relié aux propriétés intrinsèques du sol ; cependant, la présence de cultures peut également avoir un effet sur cette augmentation.

5.2 – Découpage des parcelles expérimentales sur le site de La Mare

Le découpage des parcelles, réalisé dans le but d'y épandre des déchets et d'y effectuer des essais, sera homogène.

La taille des micro-parcelles, devra tenir compte d'une part, de la surface de la parcelle et du gradient d'hétérogénéité des mesures de pH, de conductivité et d'autre part, du nombre de déchets, des doses et de répétitions prévus. Nous avons découper les parcelles en forme de carré de 15 mètres de coté.

Voici un plan possible du découpage de la parcelle B8. Cinq à six parcelles sont identifiées dans le sens de la longueur avec, entre chacune d'elles, une bande d'environ 5 mètres.

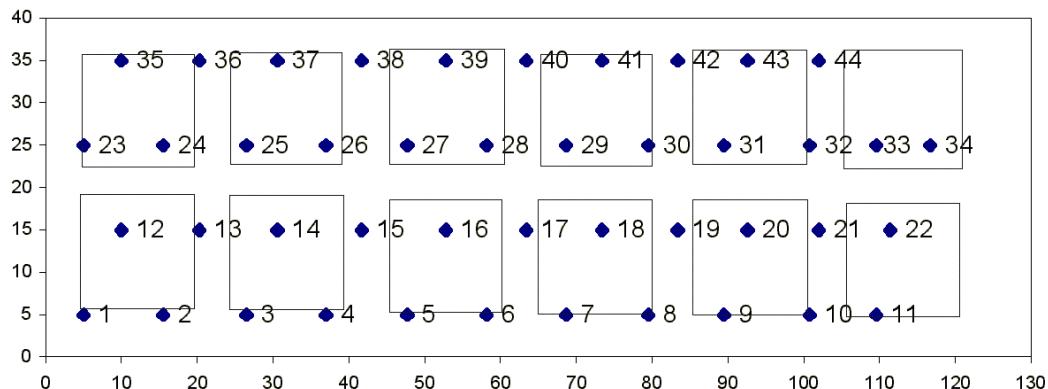


Figure 35 : exemple d'un plan de découpage des parcelles de La Mare

5.3 – Un exemple de plan d'expérimentation pour évaluer les risques liés à la valorisation de déchets

Les premiers déchets organiques liquides qui pourront être utilisés sur la parcelle de La Mare seront les vinasses de distillerie ainsi que les lisiers de porc. Les vinasses apportent essentiellement du potassium et sa minéralisation se fait normalement dans le sol. Les lisiers sont bien équilibrés en éléments minéraux et ces derniers sont facilement mobilisables par les cultures.

Les déchets solides qui pourront être utilisés seront des boues de station d'épuration ou des composts d'origine variée (amendement organique de bonne qualité). Ces derniers sont cependant soumis à une réglementation particulière qui impose un enfouissement pour palier aux nuisances olfactives. Pratiquement, sur une culture de canne à sucre, ces déchets solides ne pourront être utilisé qu'au cours de la replantation, c'est-à-dire environ tous les 6 ou 7 ans. Par contre, sur d'autres types de cultures, l'utilisation de composts ou de déchets solides au sens large, pourrait être plus facile à gérer.

Le découpage des parcelles tel que proposé ci-dessus permettra de conserver par exemple, deux parcelles témoins sur lesquels aucun épandage ne sera réalisé. Les huit autres parcelles pourront servir à deux déchets avec deux doses différentes et deux répétitions ; soit au total cinq parcelles (avec les témoins) pour chaque déchets épandus.

Sur la station des Colimaçons, le découpage est contraint par la disposition des terrasses et par la présence sur les parcelles de la station météorologique, de la serre, etc.

La typologie des déchets réalisée dans la zone géographique des hauts de l'ouest nous a permis de classer les différents déchets produits par ordre d'importance et de qualité agronomique voire de risques potentiels de pollutions minérales. En l'occurrence, les lisiers de bovins et de porcins représentent la première source de déchets organiques dans les hauts de l'ouest.

Les principales cultures répertoriées dans les hauts sont le maraîchage, la canne à sucre et le géranium (dont la production ne cesse de diminuer).

Afin de proposer un dispositif cohérent d'études des impacts environnementaux, il est indispensable que les différents déchets soient associés aux systèmes de cultures qui leurs correspondent. Ainsi, nous pouvons proposer, sur le site des Colimaçons, un suivi des risques liés à l'épandage de deux types de lisiers sur la canne à sucre. Par contre, pour les autres systèmes de cultures présents fréquemment dans les hauts de l'ouest, nous proposons d'orienter l'étude sur les interactions avec les composts de diverses origines.

5.4 – Conclusion

Les contraintes géographiques de production des déchets et la répartition des systèmes de cultures (aussi bien dans les bas que dans les hauts) imposent un plan d'expérimentation qui tiennent compte également de la nature des sols. Ainsi, les systèmes de productions contraignent la valorisation d'un certain type de déchets dans un contexte bien déterminé (proximité géographique, contraintes pédo-climatiques, etc.).

CONCLUSION GÉNÉRALE

La production croissante des déchets d'origine agricole ou urbaine impose un suivi et une évaluation des risques pour l'environnement. Dans un contexte de développement durable, ces risques doivent être mieux étudiés et compris afin d'éviter les impacts à moyen et long terme sur les écosystèmes, et ce, particulièrement à La Réunion où l'insularité joue un rôle prépondérant.

La création de dispositifs expérimentaux par le CIRAD cherche à répondre à ces préoccupations. Nous avons montré que les deux sites choisis étaient suffisamment contrastés et représentatifs de la variabilité pédo-climatique et agronomique rencontrée sur l'île.

La caractérisation de ces sites a permis d'établir une cartographie des propriétés physiques et chimiques avec pour objectif final de définir un plan d'aménagement en parcelles expérimentales.

La connaissance des pratiques agricoles, des cultures et des différents types de déchets produits nous ont permis de préciser quelles étaient les couples déchets / cultures les plus pertinents à suivre selon leur répartition géographique.

Références Bibliographiques

A.F.N.O.R. (1987). Mesure de la conductivité électrique. Norme X31.113. Analyse granulométrique par sédimentation. Méthode de la pipette. Norme X31. in : Association Française de Normalisation. Qualité des sols. Méthodes d'analyse. 1^{ère} édition, 1987. 135p.

Bachelery P (1981). Le Piton de La Fournaise (Île de La Réunion). Étude volcanologique , structurale et pétrologique. Thèse 3^{ème} cycle Université Clermont-Ferrand II, 262p.

Chevallier L. (1979). Structure et évolution du Piton des Neiges. Île de La Réunion. Leurs relations avec les structures du Bassin des Mascareignes. Océan Indien Occidental. Thèse 3^{ème} cycle Université Grenoble, 187 p. + carte.

Direction de l'Agriculture et de la Forêt (2002). Annuaire statistique agricole. Données de l'année 2000. Ministère de l'agriculture et de la forêt D.A.F. Service de statistique agricole, Saint-Denis. 26p.

Duchaufour P. (1997). Abrégé de pédologie : sol, végétaux, environnement. Masson 5^{ème} édition (1997). 278p.

Lacroix C. (1994). Étude pédoclimatique et aménagement d'une station expérimentale pour la canne à sucre à La Réunion; mémoire de fin d'études, ISTOM, 1994. 127p.

Lozet J. et Mathieu C. (1997). Dictionnaire de sciences du sol, 3^{ème} édition Lavoisier TEC & DOC, (1997). 488p.

Mathieu C. et Pieltain F. (1997). Analyse physique des sols. 3^{ème} édition Lavoisier TEC & DOC, (1997). 262p.

McDougall I. (1971). The geochronology and evolution of the young volcanic Island Reunion (Indian Ocean). Geochim. Cosmochim. Acta., 35, p. 261-288.

Montaggioni L.F. (1978). Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental). Thèse doctorat d'État. Université Aix – Marseille, 2 vol : vol.1, 271 p. ; vol. 2, fig. + annexe.

MVAD (Mission de Valorisation Agricole des Déchets) (2001). Caractérisation des déchets organique à la Réunion, rapport technique. Saint-Denis de La Réunion, février 2001.

Native P. (1978). Volcans de La Réunion, Pétrologie – faciès zéolites (Piton des Neiges), sublimés (La Fournaise). Thèse doctorat d'État. Université Paris IX, Orsay, 2 vol., 510 p.

Perret S. (1993). Propriétés physiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de la Réunion. Facteurs d'évolution des horizons culturaux, implications agronomiques et écologiques. Thèse, CIRAD Réunion, janvier 1993. 273p. + annexes.

Raunet M. (1991). Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion. Conséquence pour la mise en valeur agricole. CIRAD-IRAT / Région Réunion. 468p.

Upton B.G.J. et Wadsworth W.J. (1972). Aspects of magmatic evolution on Reunion Island. Phil. Trans. R. Soc. London A, 271, p. 105 - 130.

Vimeux L. (1998). La gestion de la matière organique dans les exploitations en diversification maraîchère des Hauts de l'ouest de l'île de La Réunion, 1998. 62 p + annexes

Références Web

<http://www.meteo.fr>

<http://www.cirad.fr>

Table des matières

Avant-propos	2
REMERCIEMENTS	5
RÉSUMÉ	7
SUMMARY	8
INTRODUCTION	9

PARTIE I : CONTEXTE ET PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

1.1 - L'île de la Réunion : terre de contrastes	13
1.1.1 - Situation géographique et morphologique générale	13
1.1.2 - Contexte géologique	15
1.1.2.1 - Le massif du Piton des Neiges	15
1.1.2.2 - Le massif du Piton de la Fournaise	16
1.1.3 – Contexte climatique	17
1.1.3.1 - Les températures	17
1.1.3.2 – Les pluies	18
1.1.3.3 – Les vents	19
1.1.3.4 - Les dépressions et cyclones tropicaux	19
1.1.4 – Contexte pédologique	20
1.1.4.1 – Définitions et généralités	20
1.1.4.2 – Complexité des sols réunionnais	21
1.1.5 – Contexte végétal	22
1.1.5.1 – La végétation naturelle	22
1.1.5.2 – Agriculture	24
1.2 – Généralités sur les déchets organiques	25
1.2.1 – Les principaux gisements de matière organique	25
1.2.2 – La matière organique	25
1.2.2.1 – Dans le sol	25
1.2.2.2 – Dans les déchets	26

1.3 – Caractérisation des sols	27
1.3.1 Le choix des sols	27
1.3.2 – Le prélèvements	28
1.3.3 – La préparation des sols	29
1.3.4 – Les analyses physico-chimiques	29

PARTIE II : IDENTIFICATION DES SECTEURS AGRICOLES ET DES DÉCHETS ORGANIQUES

2.1 – L'agriculture dans l'île	31
2.1.1 – Exploitants et structures d'exploitation	32
2.1.2 – Les principales productions	33
2.1.2.1 – L'élevage.....	33
2.1.2.2 – La culture de la canne à sucre	34
2.1.2.3 – Le géranium	35
2.1.2.4 – L'horticulture	36
2.2 – L'agriculture dans les hauts de l'ouest.....	36
2.2.1 – Les pratiques agricoles.....	37
2.3 – Caractérisation des déchets (MVAD 2001)	39
2.3.1 – Fumier de bovin	39
2.3.2 – Fumier de Caprin	40
2.3.3 – Lisier de lapin	40
2.3.4 – Fumier de canard.....	41
2.3.5 – Lisier de pondeuse	41
2.3.6 – Lisier de porcin	42

PARTIE III : CARACTÉRISATION DU SITE DES COLIMACONS

3.1 – Historique.....	43
3.1.1 – Historique des essais par année	43
3.1.2 – Historique des essais par courbes de niveau	43
3.2 – Substrat géologique et pédogenèse	44
3.3 – Traits morphologiques	44
3.3.1 - Profil type et description des horizons culturaux	44
3.3.2 – Caractéristiques chimiques des andosols.....	45
3.4 –Caractéristique physique des sites	45
3.4.1 – La granulométrie	48
3.4.1.1 – Le protocole adopté	48
3.4.1.2 – Présentation des résultats.....	50
3.4.1.3 – Analyse des résultats	52
3.5 – Caractérisations chimiques des sites	53
3.5.1 – Interprétation de la parcelle 1	53
3.5.2 – Interprétation de la parcelle 3	55
3.5.3 – Interprétation de la parcelle 6	57
3.5.4 – Analyse géostatistique.....	59

PARTIE IV : CARACTÉRISATION DU SITE DE LA MARE

4.1 – Présentation.....	63
4.1.1 – Historique du site	63
4.1.2 – Présentation de la parcelle étudiée	64
4.2 – Substrat pédologique et pédogenèse	65
4.3 – Traits morphologiques (Profil type et description des horizons culturaux)....	65
4.4 – Caractéristique physique du sol	66
4.5 – Analyses de la composition chimique des sols	66
4.5.1 – Interprétation des cartes de variabilité du pH et de la conductivité	66
4.5.2 – Interprétation des variogrammes.....	68

PARTIE V : Aménagement des parcelles destinées au suivi environnemental

5.1 – Le choix des sites expérimentaux	69
5.1.1 – La Mare	69
5.1.2 – Les Colimaçons	70
5.2 – Découpage des parcelles expérimentales sur le site de La Mare	70
5.3 – Un exemple de plan d'expérimentation pour évaluer les risques	71
5.4 – Conclusions.....	72
CONCLUSIONS GENERALES	73
Bibliographie.....	75
Table des matières.....	77
Liste des figures	81
Liste des tableaux et cartes.....	81
Liste des abréviations.....	82
ANNEXE 1	83
ANNEXE 2	87
ANNEXE 3	91
ANNEXE 4	99

Liste des figures

- Figure 1** : Localisation de la Réunion dans l'Océan Indien
Figure 2 : Carte de l'île de la Réunion
Figure 3 : Carte de pluviométrie annuelle (source météo France)
Figure 4 : Profil d'un sol
Figure 5 : Les gisements de déchets organiques à la Réunion.
Figure 6 : Fractionnement biochimique de la matière organique
Figure 7 : Plan d'échantillonnage à maille carrée de 10 mètres
Figure 8 : Evolution de l'occupation de l'agriculture dans l'île (source, Agreste 2000)
Figure 9 : Gisement des déchets épandables à la Réunion
Figure 10 : Exemple de triangle équilatéral avec séparation entre limon et sable à 50µm (USDA – USA)
Figure 11 : Carte de variabilité du pH eau de la parcelle 1 (A)
Figure 12 : Carte de variabilité du pH eau de la parcelle 1 (C)
Figure 13 : Carte de variabilité du pH eau de la parcelle 1 (E)
Figure 14 : Carte de variabilité de la conductivité de la parcelle 1 (A)
Figure 15 : Carte de variabilité de la conductivité de la parcelle 1 (C)
Figure 16 : Carte de variabilité de la conductivité de la parcelle 1 (E)
Figure 17 : Cartes de variabilité du pH de la parcelle 2' (A)
Figure 18 : Carte de variabilité du pH de la parcelle 2' (C)
Figure 19 : Cartes de variabilité du pH de la parcelle 2' (E)
Figure 20 : Carte de variabilité de la conductivité de la parcelle 2' (A)
Figure 21 : Carte de variabilité de la conductivité 2' de la parcelle 2' (C)
Figure 22 : Cartes de variabilité de conductivité de la parcelle 2' (E)
Figure 23 : Cartes de variabilité du pH de la parcelle 6 (A)
Figure 24 : Cartes de variabilité du pH de la parcelle 6 (C)
Figure 25 : Cartes de variabilité du pH de la parcelle 6 (E)
Figure 26 : Carte de variabilité de la conductivité de la parcelle 6 (A)
Figure 27 : Carte de variabilité de la conductivité de la parcelle 6 (C)
Figure 28 : Cartes de variabilité de conductivité de la parcelle 6 (E)
Figure 29 : Variogramme du pH eau de la parcelle 1(A) des Colimaçons
Figure 30 : Variogramme du pH eau de la parcelle 1(E) des Colimaçons
Figure 31 : Variogramme de la conductivité de la parcelle 1(E) des Colimaçons
Figure 32 : Variogramme de la conductivité de la parcelle 1(E) des Colimaçons
Figure 33 : Plan d'échantillonnage de la parcelle B8
Figure 34 : Carte de variabilité de pH KCl (A) de la parcelle B8
Figure 35 : Carte de variabilité de pH KCl (C) de la parcelle B8
Figure 36 : Carte de variabilité de pH KCl (E) de la parcelle B8
Figure 37 : Carte de variabilité de la conductivité (A) de la parcelle B8
Figure 38 : Carte de variabilité de la conductivité (C) de la parcelle B8
Figure 39 : Carte de variabilité de conductivité (E) de la parcelle B8
Figure 40 : Variogramme pH eau (A) de la parcelle B8
Figure 41 : Plan de découpage des parcelles de La Mare

Liste des tableaux

- Tableau 1** : Présentation des deux sites
Tableau 2 : Évolution des structures depuis ces 20 dernières années. (source Agreste)
Tableau 3 : Répartition des exploitants agricoles en fonction de l'âge. (Source Agreste 2000)

Liste des cartes

- Carte 1** : Le site des Colimaçons
Carte 2 : Le site de La Mare

Liste des abréviations

- **ADEME** : Agence de l'environnement pour la maîtrise de l'énergie
- **CEEMAT** : Centre d'Étude et d'Expérimentation en Mécanisation Agricole et Technologique Alimentaire.
- **CERF** : Centre d'Essai, de Recherche et de Formation.
- **CIRAD** : Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement.
- **CTFT** : Centre Technique Forestier Tropical.
- **IEMVT** : Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux.
- **INRA** : Institut National de Recherche Agronomique.
- **IRAT** : Institut de Recherche Agronomique Tropicale et des cultures vivrières.
- **IRCA** : Institut de Recherche sur le Caoutchouc.
- **IRCC** : Institut de recherche du Café et du Cacao.
- **IRFA** : Institut de Recherche sur les Fruits et les Agrumes.
- **IRHO** : Institut de Recherche des Huiles et Oléagineux.
- **MVAD** : Mission de valorisation agricole des déchets
- **SAFER** : Société d'aménagement Foncier et d'Établissement Rural.
- **SAPHIR** : Société d'aménagement des Périmètre Hydroagricole de la Réunion.
- **SUAD** : Service d'utilité agricole de développement.

ANNEXE 1

LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

1) Principe

- Extraction des sels d'un échantillon de terre, soluble dans l'eau, dans des conditions bien définies et dans un rapport terre sèche / eau = 1/5 (M/M)
- Mesure conductimétrique du courant induit par les ions présents dans une colonne d'extrait aqueux de terre délimité par deux électrodes en platine maintenues en parallèles.
- La conductivité électrique s'exprime en Siemens par centimètre ($S \cdot cm^{-1}$)

$$1/\rho = \frac{l}{R * s}$$

Avec :

R : Résistance de la colonne d'extrait aqueux de terre

s : Section en cm^2

l : longueur en cm

ρ : résistivité électrique

$\frac{1}{S}$: constante de l'élément de mesure (exprimé le plus souvent en cm^{-1})

La conductivité électrique varie avec :

- La concentration en ions
- La nature des ions
- La température de la solution
- La viscosité de la solution.

Une eau pure $C = 5,483 \mu S/m$

2) Appareillage

- Tamis de diamètre 8 mm
- Balance analytique (précision 0,05 g, portée 1 kg)
- Flacons à agitation (250 ml)
- Agitateur, pour assurer les conditions optimales de solubilisation
- Papier filtre, non contaminant, à filtration lente, de diamètre min. 125 mm
- électrode
- centrifugeuse
- Conductimètre.
- Bain thermorégulé réglable à $25^\circ C \pm 0,1^\circ C$

3) Mode opératoire

Détermination de l'humidité résiduelle

On pèse une masse d'échantillon de sol (m_0) et on la met dans une étuve isotherme à chauffage électrique à $105^\circ C$ pendant $24 \text{ h} \pm 2\text{h}$.

La masse de la prise d'essai après séchage est notée m_1 .

L'humidité résiduelle est donnée par la relation suivante :

$$H = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

Poids prise d'essai avant séchage – masse après séchage = masse eau

D'où $H = \frac{m_{eau}}{m_0} (\%)$

4) Détermination de la conductivité

1) Préparation

- Prélever $50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$ d'échantillon (m_0)
- Placer m_0 dans un flacon à agitation (capacité 500 ml)
- Boucher hermétiquement

Soit H exprimée en % en masse de prise avant séchage

$$\text{Soit } m_1 = \frac{(100 - H)m_0}{100}$$

$$V = 5m_1 = \frac{5(100 - H)m_0}{100}$$

- Verser cette quantité d'eau dans le flacon contenant la prise d'essai
- Boucher hermétiquement et agiter pendant 1 heure à l'aide de l'agitateur
- Filtrer aussitôt l'extrait sur papier filtre jusqu'à obtention de 50 ml
- Effectuer la mesure

2) Mesure

S'assurer que l'appareil est équipé d'une cellule de mesure dont la constante est appropriée à une gamme de mesure

Solution étalon : KCl (0,01M)

La conductivité est fonction de la température.

La conductivité spécifique d'une solution étalon est donnée par l'équation suivante

$$K = K_0 + A \cdot L$$

K : conductance spécifique

K_0 : conductance spécifique de l'eau

L : conductance équivalente à dilution infinie

A : coefficient d'activité de la solution

Mesure du pH dans les sols

Ces mesures s'appliquent à des échantillons de sol préparés pour essai selon PO-001-01 NF ISO 10390 « qualité du sol , détermination du pH ».

Matériel

- Distillateur péristaltique
- pH mètre au 1/100 de pH
- Béchers de 100 ml
- Cuillère à mesurer de 10 ml pour échantillon
- Cuillère à mesurer réglable permettant de délivrer des doses unitaires $3,7 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$ de KCl.

Réactif

- Eau distillée ($C < 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C)
- KCl pour analyse
- Solution tampon

Rapport-gratuit.com 

Mode opératoire

1. Prélever 10 ml de sol et les transvaser dans un bêcher de 100 ml.
2. Ajouter 50 ml d'eau distillée au distributeur péristaltique.
3. Agiter soigneusement à l'aide d'une baguette de verre et laisser les équilibres s'établir au moins une heure.
4. Agiter à nouveau la suspension juste avant d'y plonger l'électrode de pH et effectuer la mesure après stabilisation de la lecture (entre 30 s et 1 min). Noter cette valeur au 1/100^e de pH près.
5. Ajouter à la cuillère : une dose de KCl et agiter à l'aide d'une baguette de verre et laisser à nouveau les équilibres s'établir au moins une heure.
6. effectuer les mesures du pH KCl dans les mêmes conditions que pH eau.

ANNEXE 2

Année	Expériences	Canne à sucre	Fourrages Chloris gayana	Géranium	Maïs	Divers	
						Patates douces	Pommes de terre
1967	Essais de fertilisation Essais variétaux Autre	$X^{N,PK}_1$					
1968	Essais de fertilisation Essais variétaux Autre	$X^{N,PK}_2$	$X^P_1 \ X^K_1$				
1969	Essais de fertilisation Essais variétaux Autre	$X^{N,PK}_3$	$X^P_2 \ X^K_2$	⁽¹⁾ X^N			
1970	Essais de fertilisation Essais variétaux Autre	$X^{N,PK}_4$	$X^P_3 \ X^K_3$	X^N_1	$X^{densité \times N}_1$	X_1	
1971	Essais de fertilisation Essais variétaux Autre	$X^{N,PK}_5$	$X^P_4 \ X^K_4$	$X^{N \times M_0}_1$	X^N_2	$X^{densité \times N}_1$	X_2
1972	Essais de fertilisation Essais variétaux Autre	$X^{N,PK}_6$	$X^P_5 \ X^K_5$	$X^{N \times M_0}_2$	$X^N_1 \ X^{Ca}_1$		X_3
1973	Essais de fertilisation Essais variétaux			$X^{N \times M_0}_3$	X^{Ca}_2	X_4	X^{Ca}_1 X_1

X : essai expérimental ; X_N : nombre d'année ; $X_{N[n]}$: courbes de niveau.

N : azote ; P : phosphore ; K : potassium ; Ca : calcium.

(1) : essai détruit par le cyclone « Hermine » en janvier 1970.

Année	Expériences	Canne à sucre	Fourrages			Géranium	Divers					
			Chloris gayana	Glycine	Luzerne		P. de terre	Vétiver	Asperge	Haricot	Riz	Soj a
1974	Essais de fertilisation	$X^{N \times CaO}_1$	$X^{N \times M_0}_4$	$X^{Ca}_1 [9]$	X^{Ca}_1	X^{Ca}_3	X_2					
	Essais variétaux	X_1										
	Autre											
1975	Essais de fertilisation	$X^{N \times CaO}_2$	$X^{N \times M_0}_5$	$X^{Ca}_2 [9]$	X^{Ca}_2	X^{Ca}_4	X_1					
	Essais variétaux	X_2										X_1
	Autre											
1976	Essais de fertilisation	$X^{N \times CaO}_3$		$X^{Ca}_3 [9]$	X^{Ca}_3	X^{Ca}_5 ⁽²⁾ $X_1 [5]$						
	Essai variétaux	X_3					$(5)X_1$					
	Autre											
1977	Essais de fertilisation	$X^{N \times CaO}_4$		X^{Ca}_4	X^{Ca}_3	X_2		X_1				
	Essais variétaux	X_4						X_2				
	Autre											
1978	Essais variétaux					X_3	$X_1 [7-8]$	$X_1 [9]$	$X_1 [0]$			
	Autre						X_3					

(2): comportement de divers clones de géranium rosat (essai perturbé par le cyclone « Fifi » en 1977

(3): observation de variétés de pommes de terre.

Année	Expériences	Fourrage <i>Desmodium inortum</i>	Géranium	Divers								
				Oignon	Asperge	Vétiver	Pommes de terre	Haricot	Endives	Artichauts	Tomate	Ail
1979	Essais de fertilisation Essais variétaux Autre	X ^{Ca} 1	X ₄		X ₂ [0]	X ₂ [7]	X ₄		⁽⁴⁾ X ₁			
1980	Essais variétaux Autre						X ₅		X ₂	⁽⁵⁾ X ₁ [0]	X ₁ [5]	
1981	Essais variétaux Autre				X ₄ [0-14]	⁽⁶⁾ X ₁ (8)	X ₆				X ₂ [5]	
1982	Essais variétaux Autre				X ₅ [0-14]		X ₆					X ₁ [0]
1983	Essais variétaux Autre			X ₁ [0]	X ₆ [0-14]							X ₂ [0]

Après 1983 peu d'essais sont réalisés.

De 1984 à 1996 : fertilisation des semences de haricots (courbe de niveau 0), collection de plantes fourragères : lotier, arachis spintoi (courbe de niveau 6).

De 1996 à 1999 : collection de plantes fourragères (Graminées), essai variétal d'haricot et de riz (courbe de niveau 7).

En 2000 : Essai de cannes à sucre (courbe de niveau 7).

(4) : comparaison de variété et technique de forçage d'endives.

(5) : observation sur le comportement de clones d'artichauts.

(6) : comparaison de 2 clones de vétiver.

ANNEXE 3

Courbe n°	Superficie (m ²)	Avant 1964	1964	1965	1966	1967
1	177	-	antiques	antiques	<i>Desmodium inortum</i>	Desmodium inortum
2	588	-	antiques	Antiques patates douces	patates douces	patates douces
3	1055	-	guatemala Arachides	guatemala patates douces	guatemala divers	Essais mensuels (pomme de terre maïs, haricots)
4	809	-	Collection de légumineuses	Collection de légumineuses	Collection de légumineuses	Collection de légumineuses
5	905	-	Collection de légumineuses	Collection de légumineuses	Collection de légumineuses	Collection de légumineuses
6	1053	géranium (essai)	géranium	géranium	Essais mensuels (pomme de terre maïs, haricots)	Essais mensuels (pomme de terre maïs, haricots)
7	880	géranium (essai)	géranium	géranium		
8	830	géranium (essai)	géranium	géranium		
9	887	géranium (essai)	géranium	géranium		
10 chemin	963	géranium (essai)	géranium	Hangar	hangar	Hangar

Courbe n°	Superficie (m ²)	1968	1969	1970	1971
1	177	Desmodium intortum	-	-	-
2	588	<i>Chloris gayana, Desmodium intortum</i>	<i>Chloris gayana, Desmodium intortum</i>	Chloris gayana	Chloris gayana
3	1055	Essais mensuels (pomme de terre, Maïs, haricots)	Patates douces	Patates douces	Variétés légumineuses
4	809	maïs	maïs	pomme de terre, maïs, haricots	Pommes de terre, maïs, haricots
5	905	maïs	maïs	Patates douces haricots	Patates douces haricots
6	1053	Collection de fourragères	Collection de fourragères	Collection de fourragères	Collection de fourragères
7	880	Essais mensuels (pomme de terre, Maïs, haricots)	Dynamique azote (Haricots, maïs, pommes de terre)	Dynamique azote (Haricots, maïs, pommes de terre)	Dynamique azote (Haricots, maïs, pommes de terre)
8	830				
9	887				
10 chemin	963	hangar	hangar	hangar	hangar

Courbe n°	Superficie (m ²)	1972	1973	1974	1975
1	177	-	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>
2	588	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>
3	1055	Variétés de légumineuses	Variétés de légumineuses	Variétés de légumineuses	Variétés de légumineuses
4	809	Fertilisation de patates douces	Fertilisation de patates douces	haricots	Pommes de terre
5	905	Patates douces	Patates douces	Collection de géranium	Collection de géranium
6	1053	Collection de fourragères	Collection de fourragères	Collection de fourragères	Collection de fourragères
7	880	Dynamique azote (Harcots, maïs, pommes de terre)	Dynamique azote (Harcots, maïs, pommes de terre)	Essai de chaulage sur luzerne Mireille	Essai de chaulage sur luzerne Mireille
8	830	Dynamique azote (Harcots, maïs, pommes de terre)	Dynamique azote (Harcots, maïs, pommes de terre)	Essai azoté sur la fétuque Manade	Haricots
9	887	Dynamique azote (Harcots, maïs, pommes de terre)	Dynamique azote (Harcots, maïs, pommes de terre)	de chaulage sur la glycine Tinaroo	Essai de chaulage sur la glycine Tinaroo
10 chemin	963	hangar	hangar	hangar	hangar

Courbe n°	Superficie (m ²)	1976	1977	1978	1979	1980
1	177	<i>Chloris gayana</i>				<i>Chloris gayana</i>
2	588	<i>Chloris gayana</i>			<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>
3	1055	Légumineuses			Pomme de terre	géranium
4	809	<i>Chloris gayana</i> Géranium Essai variétal	Géranium Essai variétal	-	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>
5	905	Collection de géranium	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris gayana</i>	Collection de géranium	Collection de géranium
6	1053	géranium	géranium	géranium	géranium	Essai (menthe basilic, fenouil)
7	880	Ca/luzerne Mireille	Haricots Pomme de terre	Maïs vétivers	vétiver	endives
8	830	Essai variétal sur géranium	Essai variétal sur géranium	Haricots endives	endives	Vétiver Pommes de terre
9	887	Ca/ glycine Tinaroo	vétiver	Vétiver haricots	Oligo-élément sur géranium	Oligo-élément sur géranium
10 chemin	963	hangar	hangar	Patates douces	Patates douces	Patates douces

Courbe n°	Superficie (m ²)	1981	1982	1983	1984	1985	1986
1	177	Chloris gayana	Chloris gayana Légumineuses	Chloris gayana Légumineuses	Chloris gayana Légumineuses	<i>Desmodium intortum</i>	<i>Desmodium intortum</i>
2	588	<i>Chloris gayana</i>	Chloris gayana Légumineuses	Chloris gayana Légumineuses	Chloris gayana Légumineuses)	<i>Desmodium intortum</i> , maïs	<i>Desmodium intortum</i> , maïs
3	1055	géranium	Chloris gayana Légumineuses)	Chloris gayana Légumineuses	Chloris gayana Légumineuses	<i>Desmodium intortum</i> , maïs	<i>Desmodium intortum</i> , maïs
4	809	Chloris gayana	Chloris gayana Collection de géranium	maïs	Irrigation de la canne à sucre	Irrigation de la canne à sucre	Irrigation de la canne à sucre
5 serre	905	Collection de géranium	Collection de géranium	<i>Desmodium intortum</i> <i>Chloris gayana</i>	<i>Desmodium intortum</i> <i>Chloris gayana</i>	<i>Desmodium intortum</i> <i>Chloris gayana</i>	<i>Desmodium intortum</i>
6	1053	Essai (menthe Basilic, fenouil)	Collection de géranium	Collection de géranium	Collection de géranium	Collection de plantes fourragères (lotier, arachis spintoï)	Collection de plantes fourragères (<i>Educassia rothondifa</i>)
7	880	vétiver	Vétiver haricots	haricots	Irrigation de la canne à sucre	Irrigation de la canne à sucre	Irrigation de la canne à sucre
8	830	endives	Maïs (écotype) géranium	géranium	géranium	géranium	géranium
9	887	haricots	Vétiver Patate douce	Patates douces	Irrigation de Canne à sucre	Irrigation de la canne à sucre	Irrigation de la canne à sucre
10 hangar	963	Patates douces	Patates douces	Patates douces	artichauts		

Courbe n°	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000										
1		<u>Jachère</u>																						
2																								
3																								
4																								
5	Desmodium inortum <i>Chloris gayana</i>	Desmodium inortum <i>Chloris gayana</i>	<u>Jachère</u>						Haricots riz															
6	Collection fourragère						Riz pluvial																	
7	Irrigation de la canne à sucre		<u>Jachère</u>																					
8																								
9	Irrigation de la canne à sucre																							
10																								

ANNEXE 4

4.1) Mesures de pH et de conductivité du site des Colimaçons

4.2) Mesures de pH et de conductivité du site de La Mare

pH et conductivités de la terrasse 1 des Colimaçons

pH et conductivités de la terrasse 4 des Colimaçons

N° échantillon	pH eau	pH KCl	Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	N° échantillon	pH eau	pH KCl	Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)
1A	5,07	4,27	138,0	52A	5,85	5,09	13,7
1B	5,61	4,56	42,8	52B	5,27	4,20	30,7
1C	6,09	5,03	50,9	52C	6,16	5,68	21,0
1D	6,15	5,36	39,1	52D	6,28	5,79	25,1
1E	6,34	5,80	47,6	52E	6,31	5,89	26,3
2A	5,27	4,17	25,7	53A	5,26	4,53	20,3
2B	5,75	4,89	22,4	53B	5,67	4,66	12,5
2C	7,97	5,21	21,9	53C	5,67	5,06	14,8
2D	6,01	5,37	36,7	53D	6,06	5,63	22,2
2E	5,92	5,29	32,9	53E	6,33	5,88	32,0
3A	5,69	4,71	65,2	54A	5,94	4,72	28,7
3B	5,41	4,72	28,3	54B	5,95	4,98	17,6
3C	6,01	5,27	21,9	54C	6,15	5,51	19,5
3D	6,15	5,54	20,5	54D	6,18	5,71	31,1
3E	6,26	5,60	22,3	54E	6,25	5,88	32,7
4A	5,79	4,80	75,1	55A	5,36	4,42	27,7
4B	5,97	5,19	33,8	55B	5,58	4,66	19,1
4C	6,15	5,75	20,1	55C	5,99	5,39	21,1
4D	6,25	5,97	28,8	55D	6,06	5,64	24,4
4E	6,40	5,86	29,1	55E	6,22	5,88	32,2
5A	5,86	4,70	47,0	56A	5,49	4,43	21,4
5B	5,87	4,73	28,7	56B	5,49	4,50	21,0
5C	5,63	4,97	32,0	56C	5,54	4,81	19,6
5D	5,67	5,21	28,5	56D	5,97	5,35	22,6
5E	5,62	5,30	32,2	56E	6,09	5,62	26,4
6A	5,45	4,38	43,0	57A	5,49	4,54	22,8
6B	5,78	4,75	55,4	57B	5,91	5,07	17,8
6C	6,03	5,51	55,7	57C	6,13	5,55	22,7
6D	6,05	5,73	45,3	57D	6,09	5,72	25,6
6E	6,19	5,88	65,9	57E	5,89	5,74	27,9
7A	5,56	4,39	83,2	58A	4,93	4,97	25,8
7B	5,69	4,93	68,1	58B	5,57	4,98	17,5
7C	6,01	5,53	66,4	58C	5,58	5,33	26,1
7D	6,28	5,96	77,0	58D	5,54	5,32	33,0
7E	6,48	6,06	83,6	58E	5,53	5,41	37,2
8A	5,78	4,74	46,8	pH et conductivités de la terrasse 5 des Colimaçons			
8B	6,16	5,60	32,1	pH et conductivités de la terrasse 5 des Colimaçons			
8C	6,29	5,86	42,6	pH et conductivités de la terrasse 5 des Colimaçons			
8D	6,29	5,89	43,8	pH et conductivités de la terrasse 5 des Colimaçons			
9A	5,96	4,98	50,4	59A	6,48	5,51	67,8
9B	6,16	5,05	39,5	59B	6,45	5,32	45,9
9C	6,20	5,39	44,8	59C	6,34	5,49	57,8
9D	6,49	5,84	53,8	59D	6,40	5,87	48,0
9E	6,50	5,83	56,4	59E	6,37	5,81	60,4
10A	5,34	4,35	76,5	60A	6,08	5,16	50,5
10B	5,75	4,95	35,3	60B	6,02	5,30	35,9
10C	6,17	5,37	40,5	60C	6,16	5,73	27,9
10D	6,25	5,55	52,4	60D	6,16	5,80	39,2
10E	6,50	5,73	43,5	60E	5,85	5,63	37,9
11A	6,13	4,65	47,8	61A	5,74	4,84	48,4
11B	5,69	5,30	23,8	61B	5,48	4,59	36,0
11C	5,96	5,66	17,5	61C	5,87	4,86	30,0
11D	6,02	5,64	21,9	61D	5,96	5,25	23,9
12A	5,63	4,72	52,1	61E	5,86	5,49	39,1
12B	6,00	5,00	24,3	62A	5,85	5,06	35,7
12C	6,05	4,95	24,4	62B	5,95	4,89	24,8
12D	6,06	5,00	25,4	62C	5,76	4,95	23,5

DESS Études d'impacts environnementaux 2001-2002

12E	6,02	5,05	29,7	62D	6,06	5,51	26,2	
13A	6,15	5,11	123,8	62E	5,98	5,55	35,4	
13B	5,79	5,27	96,4	63A	5,66	4,42	20,0	
13C	5,82	5,26	134,0	63B	5,82	4,95	16,7	
13D	5,78	5,16	148,5	63C	5,98	5,40	15,9	
13E	5,78	5,27	168,6	63D	6,29	5,64	17,7	
14A	5,01	4,07	47,2	63E	6,41	5,84	19,4	
14B	5,80	4,75	21,2	pH et conductivités de la terrasse 6 des Colimaçons				
14C	5,14	4,20	27,2	N° échantillon				
14D	6,20	5,44	33,3	pH eau				
14E	6,27	5,47	40,6	pH KCl				
15A	5,47	4,50	49,3	Conductivité (µS.cm-1)				
15B	5,86	5,11	29,4	64A	5,82	4,77	74,7	
15C	6,20	5,76	34,5	64B	5,88	4,81	57,3	
15D	6,29	5,97	63,5	64C	6,01	5,00	42,7	
15E	6,28	6,11	66,6	64D	6,37	5,69	50,2	
16A	5,98	4,97	54,4	64E	6,44	5,92	61,1	
16B	6,15	4,44	46,1	65A	5,68	4,89	53,1	
16C	6,39	5,91	43,4	65B	6,26	5,59	27,6	
16D	6,46	5,84	38,5	65C	6,33	5,83	26,0	
16E	6,54	5,91	46,4	65D	6,43	5,96	32,0	
17A	5,80	4,54	45,2	65E	6,53	5,99	32,6	
17B	6,02	5,25	46,3	66A	5,78	4,94	80,9	
17C	6,18	5,63	54,6	66B	6,08	5,35	38,0	
17D	6,32	5,02	71,8	66C	6,24	5,61	24,8	
17E	6,55	6,11	69,4	66D	6,28	5,65	24,6	
18A	6,05	5,78	46,6	67A	5,78	4,80	44,9	
18B	5,56	4,45	64,4	67B	5,90	5,02	66,2	
18C	6,33	5,99	68,5	67C	6,11	5,37	35,9	
18D	6,20	5,94	98,2	67D	6,12	5,51	27,6	
18E	6,20	5,92	104,3	67E	6,11	5,61	39,7	
19A	5,62	4,51	44,8	68A	5,02	4,76	124,9	
19B	5,75	4,77	44,1	68B	5,22	4,82	59,8	
19C	5,96	5,29	54,8	68C	5,85	5,49	51,1	
19D	5,99	5,43	57,0	68D	5,90	5,65	70,8	
19E	6,05	5,71	67,9	68E	5,91	5,68	73,4	
20A	5,45	4,30	83,7	69A	5,59	5,07	73,7	
20B	5,49	4,56	66,5	69B	5,90	5,49	48,7	
20C	5,71	4,80	62,7	69C	6,16	5,83	28,0	
20D	5,94	5,23	57,5	69D	6,13	5,85	35,7	
20E	6,12	5,52	71,6	70A	5,80	4,95	90,1	
21A	5,61	4,32	72,5	70B	6,01	5,00	50,9	
21B	5,97	4,91	63,6	70C	5,98	5,28	38,7	
21C	6,28	5,77	92,1	70D	5,57	5,36	55,5	
21D	6,39	5,97	114,5	70E	5,39	5,37	48,0	
21E	6,39	6,15	112,6	71A	5,27	4,53	158,3	
22A	5,80	4,94	66,4	71B	5,33	4,52	111,1	
22B	5,67	4,76	53,6	71C	5,84	4,67	53,2	
22C	6,43	5,88	34,0	71D	5,96	5,38	56,7	
22D	6,27	5,91	43,3	71E	5,85	5,74	134,0	
22E	6,28	5,87	44,6	72A	6,12	5,32	46,9	
23A	5,99	4,78	35,5	72B	6,18	5,67	41,4	
23B	6,23	5,16	22,7	72C	6,11	5,64	40,9	
23C	6,42	5,83	27,8	72D	5,94	5,64	42,8	
23D	6,67	6,07	28,2	72E	5,61	5,46	45,2	
23E	6,68	6,09	24,7	73A	5,61	5,65	98,7	
24A	5,51	4,71	61,2	73B	5,88	5,14	82,1	
24B	6,00	5,52	25,5	73C	6,11	5,40	44,1	
24C	6,22	5,61	17,2	73D	6,36	5,73	51,1	
24D	6,57	5,79	16,3	73E	6,34	5,83	50,5	
24E	6,75	6,00	18,2	74A	5,17	4,71	106,1	
25A	5,23	4,12	63,6	74B	5,61	5,34	60,2	
				74C	5,95	5,64	73,8	

25B	5,46	4,50	39,5	74D	5,95	5,76	75,8
25C	5,91	4,10	43,6	74E	5,95	5,84	75,5
25D	6,19	5,44	43,9	75A	5,10	5,10	56,6
25E	6,36	5,69	51,1	75B	6,08	5,42	42,2
26A	4,88	3,94	117,3	75C	6,06	5,73	46,6
26B	5,20	4,26	58,5	75D	5,94	5,70	60,7
26C	6,39	5,70	62,0	75E	5,83	5,76	62,0
26D	6,56	6,02	92,9	76A	5,65	4,83	40,4
26E	6,56	6,13	101,0	76B	5,71	4,77	40,9
27A	5,10	4,11	67,3	76C	6,05	5,30	39,3
27B	5,75	5,07	70,8	76D	6,10	5,59	37,5
27C	6,54	5,78	74,5	76E	6,04	5,71	65,8
27D	6,68	6,14	51,9	77A	4,92	4,46	159,8
27E	6,61	6,15	51,2	77B	5,46	5,11	76,0
28A	5,66	4,66	74,3	77C	5,91	5,58	48,9
28B	5,74	4,92	30,2	77D	5,89	5,80	79,7
28C	4,85	3,90	24,0	77E	5,96	5,87	71,2
28D	5,80	4,85	23,4	78A	5,35	4,56	111,1
28E	5,92	4,79	21,8	78B	5,85	5,13	74,8
29A	5,21	4,36	76,0	78C	6,09	5,44	39,8
29B	5,72	4,73	74,4	78D	6,09	5,61	33,6
29C	5,89	5,14	56,0	79A	5,46	4,53	87,6
29D	5,84	5,56	72,8	79B	5,76	4,77	69,8
29E	6,06	5,85	71,0	79C	5,75	4,78	52,8
30A	6,08	5,12	67,0	79D	5,85	4,82	50,5
30B	5,88	5,41	41,3	79E	6,18	5,41	46,0
30C	6,11	5,25	42,3	80A	5,05	4,42	151,7
30D	6,34	6,24	42,4	80B	5,36	4,86	106,9
31A	5,73	5,68	51,5	80C	6,03	5,44	59,6
31B	5,84	5,78	26,8	80D	6,06	5,63	69,4
31C	5,76	5,89	27,7	80E	6,04	5,74	85,5
32A	6,20	5,49	41,6	81A	5,70	4,64	59,9
32B	6,18	5,41	49,3	81B	5,98	5,33	50,4
33A	5,33	4,60	57,9	81C	6,29	5,79	26,4
33B	5,65	5,28	29,7	81D	6,26	5,92	40,5
33C	5,66	5,50	40,9	81E	6,29	5,87	25,1
33D	5,82	5,73	50,7	82A	5,94	5,01	65,3
33E	6,02	5,14	37,9	82B	6,24	5,49	39,6
34A	6,49	5,58	83,1	82C	6,26	5,89	34,3
34B	6,73	5,82	50,0	82D	6,26	6,14	50,1
34C	6,71	5,77	54,5	82E	6,32	6,09	51,9
34D	6,33	5,44	59,4	83A	5,43	4,82	115,8
34D	6,28	5,73	51,2	83B	5,47	5,39	113,5
pH et conductivités de la terrasse 2 des Colimaçons				83C	5,82	5,72	72,2
				83D	5,72	5,77	88,9
				83E	5,73	5,74	96,5

N° échantillon	pH eau	pH KCl	Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	84A	5,73	4,69	85,4
45A	5,66	4,78	60,8	84B	5,91	5,15	38,6
45B	5,82	5,16	36,8	84C	6,15	5,50	53,6
45C	6,15	5,55	31,4	84D	6,11	5,58	67,5
45D	6,15	5,61	38,4	84E	6,14	5,64	50,3
45E	6,13	5,62	41,8	85A	5,93	5,05	83,6
46A	5,96	5,08	84,1	85B	6,30	5,47	71,6
46B	6,08	5,23	26,8	85C	6,45	5,53	59,5
46C	6,17	5,55	22,6	85D	6,22	5,53	72,9
46D	6,32	5,69	34,7	85E	6,13	5,72	118,5
46E	6,35	5,87	56,6	86A	5,50	5,12	132,6
47A	5,06	4,79	78,9	86B	5,70	5,54	53,4
47B	5,39	4,79	45,5	86C	5,52	5,65	60,4
47C	6,06	5,53	29,4	86D	5,38	5,57	71,8
47D	6,27	5,74	45,9	86E	5,48	5,55	66,2
47E	5,71	4,85	27,7	87A	6,08	5,14	73,5

48A	5,22	4,19	72,8	87B	5,95	5,28	58,5	
48B	5,58	4,72	18,5	87C	5,60	5,42	56,0	
48C	5,95	5,48	24,9	87D	5,54	5,42	78,0	
48D	6,03	5,68	36,7	87E	5,07	5,39	84,8	
48E	5,95	5,71	37,0	pH et conductivités de la terrasse 7 des Colimaçons				
49A	6,12	5,64	220,0	88A	5,92	5,00	48,1	
49B	5,95	5,69	75,0	88B	6,18	5,20	40,8	
49C	5,70	5,63	45,1	88C	6,23	5,22	38,4	
49D	5,68	5,61	40,8	88D	6,36	5,40	29,4	
49E	5,57	5,53	40,3	88E	6,21	5,72	50,2	
pH et conductivités de la terrasse 3 des Colimaçons				89A	6,14	5,36	137,0	
35 A	5,74	4,74	59,7	89B	5,95	5,35	74,1	
35B	6,05	5,53	32,0	89C	6,23	5,87	32,9	
35C	6,05	5,51	27,2	88D	6,42	6,11	31,9	
35D	5,84	5,42	25,4	88E	6,49	6,19	34,2	
35E	5,92	5,60	18,6	90A	5,79	5,36	79,8	
36A	5,24	4,32	25,1	90B	6,19	5,79	33,7	
36B	6,08	5,44	18,7	90C	6,29	5,88	30,8	
36C	6,28	5,80	31,8	90D	6,20	5,91	33,0	
36D	6,47	5,97	31,2	90E	6,17	5,82	34,0	
36E	6,51	6,09	27,3	91A	5,90	5,38	106,8	
37A	5,15	4,32	49,6	91B	6,00	5,46	59,8	
37B	5,55	5,05	30,7	91C	6,14	5,77	38,0	
37C	5,93	5,58	30,4	91D	6,14	5,97	44,4	
37D	5,93	5,63	40,0	91E	6,01	5,93	65,3	
37E	5,73	5,66	43,8	92A	5,35	4,83	87,4	
38A	5,20	4,23	45,5	92B	5,54	4,94	35,8	
38B	5,27	4,49	31,2	92C	5,65	5,36	43,8	
38C	6,04	5,51	32,2	92D	5,71	5,55	61,8	
38D	5,89	5,30	33,7	92E	5,81	5,66	62,8	
38E	6,42	5,71	35,5	93A	6,52	5,76	122,7	
39A	5,30	4,40	63,5	93B	6,02	5,21	111,2	
39B	5,79	4,86	62,0	93C	6,02	5,36	57,1	
39C	6,06	5,48	60,0	93D	6,10	5,62	48,7	
39D	6,17	5,66	59,8	93E	6,19	5,68	57,5	
39E	6,23	5,72	58,4	94A	6,09	5,21	50,7	
40A	5,53	4,66	37,1	94B	6,11	5,35	36,7	
40B	5,92	5,31	27,8	94C	6,16	5,57	32,1	
40C	5,91	5,74	37,2	94D	6,19	5,69	35,2	
40D	5,94	5,87	39,4	94E	6,10	5,77	38,1	
40E	6,16	5,85	36,2	95A	6,05	5,22	105,1	
41A	6,15	5,11	77,7	95B	6,12	5,64	51,3	
41B	6,03	5,05	47,4	95C	6,07	5,90	99,0	
41C	6,14	5,27	34,1	95D	6,05	5,80	131,6	
41D	6,12	5,31	40,7	95E	6,14	5,98	110,8	
41E	6,23	5,54	40,1	pH et conductivités de la terrasse 8 des Colimaçons				
42A	5,69	4,83	69,6	96A	6,22	5,66	57,0	
42B	5,88	4,97	35,4	96B	6,41	5,88	70,8	
42C	6,31	5,33	39,2	96C	6,34	5,79	49,9	
42D	6,70	5,88	45,8	97A	5,63	4,82	36,4	
42E	6,80	6,18	60,6	97B	5,92	5,39	30,2	
43A	5,73	4,99	79,5	97C	5,96	5,54	36,9	
43B	5,93	5,07	43,9	97D	6,08	5,64	34,2	
43C	6,39	5,72	39,1	97E	6,11	5,69	23,1	
43D	6,32	5,98	50,0	98A	6,52	6,06	58,1	
43E	6,38	5,96	47,8	98B	6,46	5,97	37,6	
44A	5,76	4,96	66,6					
44B	5,77	5,42	31,9					
44C	5,97	5,72	36,2					

44D	6,15	5,72	45,4	98C	6,39	5,99	24,7
44E	6,03	5,80	35,8	98D	6,34	6,03	21,9
50A	5,89	4,86	100,9	98E	6,29	5,96	23,4
50B	5,35	4,96	55,9	99A	6,36	6,01	408,0
50C	6,56	5,33	44,9	99B	6,19	5,60	114,7
50D	5,76	5,47	30,6	99C	5,94	5,57	181,1
50E	5,76	5,55	21,3	99D	5,86	5,46	237,0
51A	5,42	4,41	48,3	99E	5,98	5,37	332,0
51B	5,48	4,83	28,9	100A	5,05	4,42	102,2
51C	5,79	5,39	29,8	100B	5,79	5,26	35,8
51D	6,15	5,60	32,6	100C	6,04	5,65	51,9
51E	5,97	5,58	36,2	100D	6,01	5,67	59,9
				100E	5,93	5,71	68,9
				101A	5,45	4,74	62,1
				101B	5,42	4,84	78,7
				101C	5,64	5,52	35,6
				101D	5,77	5,77	86,0
				101E	5,91	5,85	86,1

pH et conductivités de la parcelle B8 de La Mare

N° Echantillon	pH eau	pH KCl	Conductivités ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	N° Echantillon	pH eau	pH KCl	Conductivités
1A	6,70	5,54	43,1	23A	6,51	5,37	51,3
1B	6,61	5,60	39,2	24A	6,89	6,04	68,5
1C	6,45	5,71	38,8	24B	6,93	5,92	46,2
1D	6,40	5,72	41,8	24C	6,74	6,03	62,2
1E	6,40	5,63	43,7	24D	6,78	6,18	57,1
2A	5,91	5,20	64,0	24E	6,59	6,21	59,0
2B	5,91	5,32	59,0	25A	6,52	5,36	41,3
2C	6,00	5,40	55,3	25B	6,58	5,46	30,6
2D	6,03	5,40	41,3	25C	6,62	5,74	30,9
2E	6,03	5,48	42,3	25D	6,67	5,80	33,4
3A	5,65	4,64	41,7	25E	6,55	5,60	36,1
3B	5,92	4,88	45,1	26A	6,40	5,29	44,4
3C	6,00	5,23	44,2	26B	6,22	5,11	34,0
3D	6,03	5,25	56,8	26C	6,59	5,67	34,4
3E	6,03	5,26	34,7	26D	6,74	5,98	39,6
4A	5,80	4,69	48,5	26E	6,72	5,92	39,4
4B	5,96	4,80	58,0	27A	6,28	5,17	44,2
4C	5,96	5,08	45,2	27B	6,19	5,00	30,1
4D	5,97	5,05	41,7	27C	6,18	5,06	27,9
4E	5,97	5,01	39,6	27D	6,19	5,28	29,0
5A	5,82	4,63	51,2	27E	6,19	5,34	35,0
5B	5,88	4,73	52,1	28A	6,08	4,91	39,9
5C	5,90	5,48	44,5	28B	6,03	4,84	31,5
5D	5,90	5,00	49,0	28C	6,16	5,21	31,7
5E	5,91	4,91	45,7	28D	6,18	5,28	33,1
6A	6,27	5,24	63,6	28E	6,15	5,20	34,5

6B	6,77	5,80	45,5	29A	5,95	4,90	39,5
6C	6,82	5,84	43,0	29B	5,91	4,77	28,9
6D	6,54	6,09	43,5	29C	6,01	4,94	36,6
6E	6,70	5,82	42,3	29D	6,02	5,13	33,6
7A	5,77	5,03	57,0	29E	6,09	5,20	36,4
7B	6,25	5,31	45,4	30A	5,89	4,72	32,3
7C	6,40	5,62	37,5	30B	5,94	4,74	30,8
7D	6,45	5,82	35,0	30C	6,11	4,99	27,8
7E	6,39	5,50	45,4	30D	6,22	5,41	32,7
8A	5,53	4,31	46,7	30E	6,40	5,61	28,7
8B	6,06	4,97	39,1	31A	6,03	4,94	35,1
8C	6,43	5,41	44,6	31B	5,97	4,81	27,4
8D	6,19	5,32	48,0	31C	6,02	5,04	32,2
8E	6,19	5,20	46,1	31D	6,30	5,40	30,0
9A	5,97	4,87	38,9	31E	6,47	5,55	29,0
9B	6,15	5,01	28,7	32A	5,99	4,79	31,6
9C	6,32	5,46	40,2	32B	5,96	4,79	26,5
9D	6,44	5,51	35,1	32C	6,07	5,10	28,6
9E	6,32	5,37	40,7	32D	6,17	5,10	30,4
10A	6,04	4,85	36,9	32E	6,30	5,32	26,0
10B	6,07	5,06	35,8	33A	6,03	4,83	32,7
10C	6,21	5,25	41,3	33B	6,27	5,33	25,8
11A	6,21	5,07	35,0	33C	6,54	5,52	24,2
11B	6,46	5,67	40,4	34A	5,85	4,72	51,5
11C	6,36	5,30	44,8	34B	6,04	5,07	40,3
11D	6,53	5,59	31,6	34C	6,20	5,40	35,9
11E	6,43	5,77	36,1	34D	6,42	5,51	38,6
12A	6,43	5,49	76,7	34E	6,43	5,45	37,0
12B	6,51	5,65	59,3	35A	6,16	5,01	42,1
12C	6,74	5,88	48,0	35B	6,56	5,49	42,7
12D	6,79	5,96	50,0	35C	6,80	5,92	45,9
12E	6,70	5,96	54,2	35D	6,81	6,18	53,0
13A	6,07	5,09	65,5	35E	6,82	6,15	52,6
13B	6,18	5,33	65,5	36A	6,55	5,49	48,4
13C	6,23	5,27	46,3	36B	6,58	5,68	39,7
13D	6,35	5,45	40,4	36C	6,75	5,97	41,2
13E	6,29	5,19	41,3	36D	6,68	6,01	41,6
14A	6,10	5,02	64,6	36E	6,70	5,93	48,1
14B	5,96	4,96	59,7	37A	6,53	5,40	44,5
14C	6,15	5,18	49,0	37B	6,42	5,16	37,1
14D	6,48	5,39	38,4	37C	6,58	5,58	34,7
15A	5,77	4,74	63,0	37D	6,86	5,96	39,8
15B	5,78	4,75	53,1	37E	6,90	5,95	41,2
15C	6,18	5,18	51,9	38A	6,40	5,21	36,1
15D	6,08	5,30	45,1	38B	6,40	5,27	34,4
15E	6,13	5,08	42,8	38C	6,51	5,56	35,6

16A	5,82	4,79	62,2	38D	6,53	5,59	34,4
16B	5,80	4,85	57,5	38E	6,56	5,56	36,4
16C	6,18	5,18	57,1	39A	5,93	4,65	28,6
16D	6,35	5,30	46,7	39B	5,74	4,52	26,8
16E	6,23	5,08	43,7	39C	6,09	5,03	29,0
17A	6,11	4,82	31,5	39D	6,24	5,25	34,0
17B	6,18	5,02	34,3	39E	6,32	5,29	31,9
17C	6,11	5,19	50,7	40A	5,84	4,60	29,5
17D	5,62	4,76	53,4	40B	5,82	4,60	27,3
17E	5,40	4,54	39,6	40C	6,15	5,03	32,5
18A	6,20	4,77	41,0	40D	6,16	5,30	33,4
18B	5,90	5,12	30,5	40E	6,26	5,43	30,6
18C	6,40	5,69	38,6	41A	6,19	5,00	29,8
18D	6,39	5,57	32,2	41B	6,13	4,88	26,5
18E	6,28	5,55	40,9	41C	6,10	5,01	24,1
19A	6,65	5,86	31,9	41D	6,16	5,27	22,3
19B	6,23	5,14	33,7	41E	6,33	5,50	21,6
19C	6,45	5,57	39,8	42A	6,42	4,73	30,4
19D	6,79	5,79	38,6	42B	5,89	4,82	34,6
19E	6,02	6,02	40,8	42C	5,91	5,14	33,9
20A	5,89	4,91	35,1	42D	6,07	5,35	37,1
20B	6,12	5,07	26,1	42E	6,34	5,43	33,9
20C	6,30	5,54	36,4	43A	6,52	4,97	37,2
20D	6,33	5,53	52,4	43B	6,02	4,92	27,4
20E	6,36	5,43	29,3	43C	6,05	5,39	25,3
21A	5,82	4,67	39,6	43D	6,31	5,48	27,8
21B	5,73	4,95	30,2	43E	6,47	4,85	27,5
21C	5,95	5,30	34,5	44A	6,11	4,87	36,7
21D	6,18	5,48	29,6	44B	6,11	5,45	23,3
22A	6,02	4,75	39,8	44C	6,35	5,40	30,7
22B	5,89	4,78	36,9	44D	6,53	5,60	30,4
				44E	6,66	5,58	26,3