

Évaluation des risques liés au transfert des polluants à travers les sols et vers les nappes

Rapport d'avancement au 1^{er} mars 2007

par

Frédéric FEDER
coordinateur du projet

Avec la collaboration de
Jean-Guillaume ROBIN
VCAT, chargé d'études

et de
Gérard BOURGEON
ingénieur pédologue CIRAD, consultant



SOMMAIRE

1	RAPPELS DES TERMES DE LA CONVENTION	7
1.1	Objectif et contexte du projet.....	7
1.1.1	<i>Objectif</i>	7
1.1.2	<i>Contexte</i>	7
1.2	Méthodologie.....	7
1.3	Rappel du calendrier prévisionnel	8
2	TRAVAUX ET TÂCHES RÉALISÉS À CE JOUR	9
2.1	Analyse bibliographique.....	9
2.1.1	<i>Données relatives au milieu physique de notre zone d'étude</i>	9
2.1.2	<i>Méthode d'évaluation d'un risque environnemental</i>	9
2.2	Organisation du chantier d'acquisition des données manquantes.....	12
2.3	Mesures pédologiques réalisées in situ	13
2.4	Mesures au laboratoire.....	13
2.5	Première interprétation des résultats.....	14
2.5.1	<i>Typologie des sols du haut du versant</i>	15
2.5.2	<i>Typologie des sols des parties basses et moyennes du versant</i>	15
2.6	Synthèse et conclusions partielles.....	17
3	PLANNING PRÉVISIONNEL POUR LA FIN DES TRAVAUX.....	19
4	ASPECTS FINANCIERS	21
5	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	25
	ANNEXE 1.....	27
	ANNEXE 2.....	37

Préambule

En réponse à l'appel à projet de recherche du ministère de l'Outre-mer (session 2005), la direction régionale du Cirad de la Réunion (représentée par son directeur régional) s'est engagé à réaliser la convention intitulé « évaluation des risques liés au transfert des polluants à travers les sols et vers les nappes » (sous la responsabilité scientifique de F. Feder) pour le compte du ministère de l'Outre-mer. Le présent rapport fait le point sur l'avancement des travaux un an après le début des travaux de cette étude ci-après désignée « le projet ».

1 RAPPELS DES TERMES DE LA CONVENTION

1.1 *Objectif et contexte du projet*

1.1.1 *Objectif*

Ce projet a pour objectif général la réalisation d'une carte des risques liés au transfert des polluants à travers les sols et vers les nappes phréatiques sur le versant occidental de l'île de la Réunion.

1.1.2 *Contexte*

La population de l'île de la Réunion ne cesse de croître ; on estime qu'en 2020, elle aura atteint plus d'un million de personnes. Inévitablement, l'augmentation de l'activité agricole et le développement urbain génèrent de plus en plus de déchets et de sous-produits susceptibles de présenter des risques environnementaux. Progressivement, le recyclage et la valorisation de ces déchets deviennent une préoccupation majeure. Des solutions existent aujourd'hui mais elles ne répondent que ponctuellement aux nombreux problèmes posés. Les principaux risques pour notre environnement sont liés aux pollutions de nos ressources vitales : l'eau et le sol essentiellement mais aussi dans une moindre mesure à la Réunion, l'air. Cependant, la multiplicité des polluants et la diversité des sols rendent impossible une étude systématique de tous les risques dans toutes les situations.

C'est pourquoi nous avons proposé de quantifier et de hiérarchiser les principales propriétés des sols susceptibles de modifier voire d'interagir avec les transferts de polluants.

La région concernée est limitée au flanc ouest du piton des Neiges, sous le vent (figure 1).

1.2 *Méthodologie*

Au plan de la méthode, il était proposé d'établir cette carte des risques liés au transfert des polluants à travers les sols et vers les nappes à partir des paramètres suivants :

- les capacités d'échange cationique (CEC) et anionique (CEA) des sols ;
- les teneurs en matière organique et en minéraux mal cristallisés des sols ;
- la conductivité hydraulique, la granulométrie, la pierrosité et la profondeur des sols ;
- le pourcentage de l'eau participant réellement aux transferts.

Deux étapes principales étaient identifiées pour le faire :

- la première consistant à définir, pour chacune de ces propriétés, des unités typologiques homogènes ;

- dans la seconde étape, à l'aide de l'ensemble des informations recueillies, l'importance relative des différentes propriétés vis-à-vis des transferts d'eau sera évaluée. Pour cela, un modèle conceptuel de la sensibilité du milieu à ces risques sera proposé en s'inspirant de travaux déjà réalisés par ailleurs. Ce modèle sera à la base de l'élaboration finale d'une carte des risques potentiels de pollution liés aux transferts.

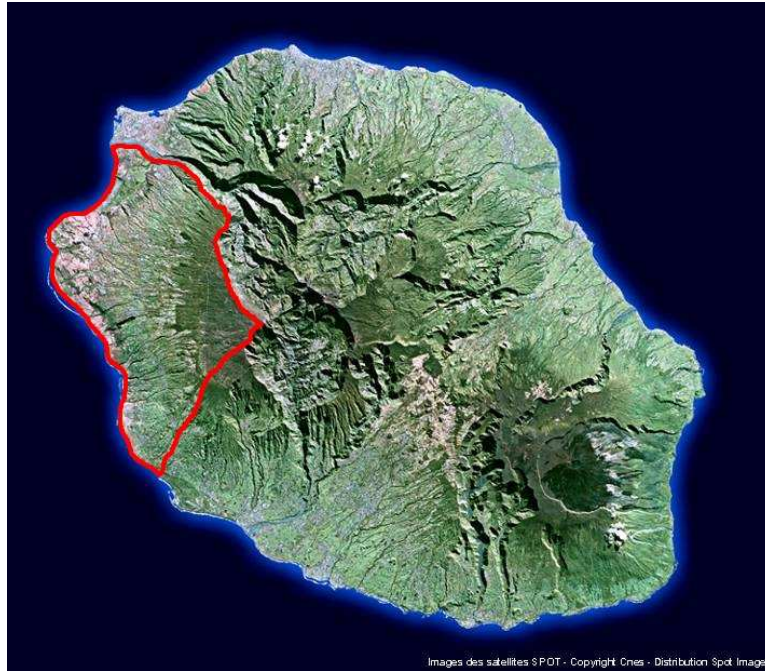


Figure 1 : localisation de la zone d'étude à l'échelle de la Réunion.

1.3 Rappel du calendrier prévisionnel

Un calendrier sur deux années était proposé pour la réalisation complète de ce projet, il a été pour l'essentiel respecté :

- Mois 1 et 2 : programmation des travaux et mise à jour des connaissances. Travail bibliographique, acquisition et préparation du matériel, etc.
- Mois 3, 4 et 5 : étude des cartes et des données existantes. Prospection sur le terrain pour déterminer la densité des mesures et des analyses en fonction de la surface exacte et de l'échelle finale de la carte de risques. Choix des principaux sites. Dans le cadre du stage de master 2, prélèvements des eaux de pluies destinées à être injectées dans les colonnes de sol.
- Mois 6 à 9 : première campagne de terrain. Réalisation des mesures et observation de terrain : analyse des fosses pédologiques, mesures des conductivités hydrauliques, etc. Prélèvements d'échantillons pour les analyses au laboratoire. Expérimentation en colonnes de sol réalisée conjointement par le Cirad et le LSTUR.
- Mois 10 et 11 : réalisation des mesures de laboratoires correspondant aux échantillons précédemment prélevés. Analyses des résultats des expérimentations en colonnes de sol.
- Mois 12 et 13 : première interprétation des résultats. Réalisation d'un premier bilan intermédiaire, vérification de la cohérence de toutes nos observations et analyses.
- Mois 14 à 17 : seconde campagne de terrain. Poursuite des mesures, des observations et des prélèvements de sols.
- Mois 18 et 19 : réalisation des dernières mesures de laboratoires.
- Mois 20 à 24 : analyses et interprétation des résultats. Réalisation de la carte finale des risques. Synthèse et restitution des résultats.

2 TRAVAUX ET TÂCHES RÉALISÉS À CE JOUR

La plupart des tâches décrites pour les douze premiers mois du projet ont été menées à bien, mais pas toujours dans l'ordre où elles apparaissent dans le document contractuel. Elles sont reprises ci-dessous et les principaux acquis sont mentionnés.

2.1 *Analyse bibliographique*

La zone ouest de l'île de la Réunion est un territoire soumis à de multiples contraintes. Le développement, parfois non maîtrisé, de l'urbanisation se fait au détriment de terres précédemment cultivées. Les récentes infrastructures hydrauliques ont permis l'irrigation de nouvelles surfaces agricoles. Cependant, l'utilisation d'intrants organiques et minéraux augmente les risques de pollution de la nappe phréatique de cette zone.

L'analyse bibliographique a porté sur deux aspects principaux : les données relatives au milieu physique de notre zone d'étude et les méthodes d'évaluation d'un risque environnemental.

2.1.1 *Données relatives au milieu physique de notre zone d'étude*

L'étude bibliographique a permis de regrouper et de synthétiser les informations existantes et nécessaires pour la poursuite du projet. Il apparaît également que les données pédologiques sont insuffisantes et nécessitent une complète mise à jour. Le territoire étudié présente une grande variabilité spatiale et de nombreuses spécificités environnementales. Plusieurs études pédologiques se sont succédées au sein de cette zone ; la plus conséquente est celle réalisée par le Cirad pour la région Réunion et synthétisée par Raunet (1991). Les types de sols sont classés par grandes familles et montrent une différenciation liée à la nature de la roche mère, à leur évolution pédogénétique et à leur utilisation actuelle. Toutefois, le document le plus récent est l'étude des sols le long d'une toposéquence aux Colimaçons (Feder *et al.*, 2006) ; il est plus adapté à notre démarche.

2.1.2 *Méthode d'évaluation d'un risque environnemental*

L'analyse de travaux similaires réalisés dans d'autres contextes a permis de préciser considérablement l'aspect méthodologique du projet (Koller *et al.*, 2004). En effet, les concepts de risques, d'aléas et de vulnérabilité sont définis précisément et correspondent à des étapes successives selon le schéma ci-dessous (figure 2).

Le risque environnemental est donc indissociable d'une composante « *aléa* » (probabilité de survenance d'un phénomène susceptible d'affecter l'intégrité des eaux souterraines) et d'une composante « *vulnérabilité* » (tendance à la dégradation de la nappe en réponse aux dommages qui peuvent lui être causés). Albinet et Margat (1970) proposent que « la vulnérabilité d'un aquifère soit la possibilité de percolation et de diffusions de polluants depuis la surface jusqu'à la nappe, dans des conditions naturelles ». Ceci implique la notion de la protection de la nappe par le milieu physique qui se situe au dessus d'elle. En effet, les matériaux terrestres peuvent agir comme des filtres naturels et limiter le transfert des polluants. Cependant, cette capacité des matériaux de subsurface résulte d'une interaction complexe de processus physiques, chimiques et biologiques dans le système sol-roche-aquifère ; c'est pour cela que le potentiel de protection du milieu physique est très variable. La cartographie des propriétés du milieu physique intervenant dans ces processus et de leur variabilité permet ainsi d'identifier les zones géographiques les plus vulnérables quant au transfert de polluants vers les nappes (Schnebelen, *et al.*, 2002).

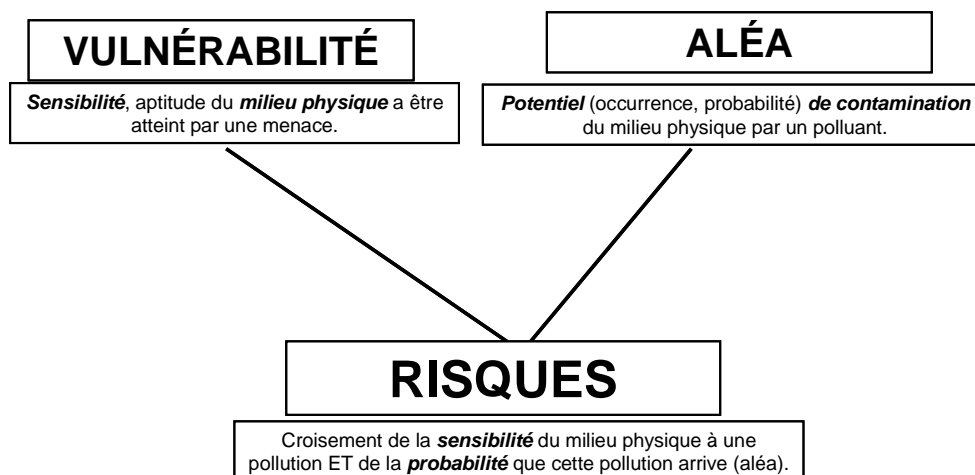


Figure 2 : schéma général de la démarche pour l'évaluation du risque environnemental.

Dans le cadre d'une démarche générique telle que celle que nous avons défini vis-à-vis du transfert des polluants vers les nappes, l'étude bibliographique nous a amené à distinguer deux types de vulnérabilités (Schnebelen, *et al.*, 2002) :

- la vulnérabilité intrinsèque, qui prend en compte les caractéristiques et les propriétés générales du milieu physique (tableau 1) ;
- la vulnérabilité spécifique, caractéristique d'un polluant ou d'un groupe de polluants ayant des propriétés identiques.

Les propriétés du milieu physique qui interviennent dans la vulnérabilité intrinsèque sont essentiellement à rattacher aux différents horizons des sols. Ainsi, les capacités d'échange cationique (CEC) et anionique (CEA), les teneurs en matière organique et en minéraux mal cristallisés, la conductivité hydraulique, la granulométrie, la pierrosité, la profondeur des sols ou encore le pourcentage de l'eau participant réellement aux transferts sont les principales caractéristiques à prendre en compte pour déterminer la *vulnérabilité intrinsèque*. Les cartographies pédologiques précédemment réalisées dans les années 1980 ne nous renseignent pas sur certaines de ces propriétés ni sur leur répartition géographique dans notre zone d'étude. C'est pour cela qu'il est indispensable de commencer par une cartographie pédologique de notre secteur.

Contrairement aux critères évoqués précédemment qui sont invariables et fixes dans le temps, ceux qui caractérisent la *vulnérabilité spécifique* prennent en compte la nature des polluants et leur comportement vis-à-vis du sol et du milieu naturel qu'ils traversent. Cette prise en compte permet de mieux apprécier les potentialités de migrations des polluants dans le sol et le sous-sol. Par définition, cette vulnérabilité est spécifique de chaque polluant (Landreau et Talbo, 1996).

Dans le cadre de ce projet, les critères de la vulnérabilité intrinsèque (en particulier les critères liés au sol) font l'objet d'une analyse détaillée et la suite ce rapport en fait largement état. L'analyse des critères de vulnérabilité spécifique sera plus succincte mais devrait permettre d'aboutir au résultat attendu (*i.e.* la carte de vulnérabilité du secteur d'étude) selon le diagramme de la figure 3.

Tableau 1 : résumé des critères de la vulnérabilité intrinsèque (Mardhel *et al.*, 2005).

Vulnérabilité intrinsèque		
SOL	ZONE NON SATURÉE	ZONE SATURÉE
Topographie (pente)	Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS	Type de nappe
Propriétés physiques et chimiques (perméabilité, nature, texture, CEC, etc.)	Temps de transfert	Temps de résidence
Bilan hydrique (ruissellement et infiltration efficace)		Relation eau souterraine vs. eau de surface
	Structure de la ZNS	Piézométrie
	Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci	Épaisseur de l'aquifère
		Recharge de la nappe
		Type de système hydrogéologique
Battement de la nappe		
Fracturations (direction et densité)		

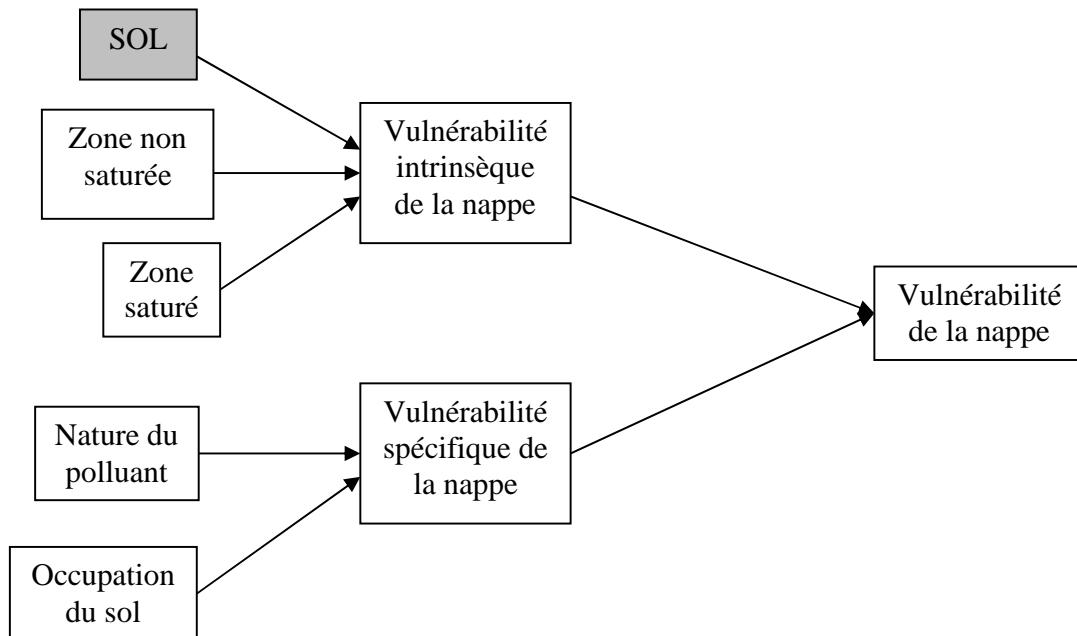


Figure 3 : schéma des composantes d'étude des deux types de vulnérabilité de la nappe.

2.2 Organisation du chantier d'acquisition des données manquantes

Il avait été décidé de réaliser l'acquisition des données manquantes sur la zone d'étude en deux temps intitulés première et seconde campagnes de terrain dans la réponse à l'appel d'offres.

Comme cela a été signalé ci-dessus, l'organisation du chantier de la première campagne s'est faite autour de la toposéquence des Colimaçons (Olivier, 2005 ; Feder *et al.*, 2006) en veillant à compléter la représentativité de l'échantillonnage représenté par cette toposéquence. En effet, il apparaît que la variabilité des sols est plus importante dans la partie basse du versant d'étude et la densité des observations de Olivier (2005) au sein de cette zone est moindre. Cette toposéquence a donc été prise comme axe central pour la délimitation d'un secteur à prospecter qui a été nommé « secteur de référence » par analogie à ce qui fait fréquemment réalisé en cartographie lorsque l'étude d'un périmètre restreint permet de formuler des hypothèses fortes de distribution des sols dans le paysage et qui serviront à l'extrapolation des résultats à une zone plus vaste.

Aux quatorze fosses ouvertes par Olivier (2005) sont donc venues s'ajouter vingt-deux nouvelles fosses comme illustré sur la figure 4. Les fosses ont été creusées jusqu'à 150 cm de profondeur ou jusqu'à la roche mère si celle-ci apparaissait avant. Ces fosses ont permis de décrire autant de profils numérotés R-JGR-F1 à R-JGR-F22. Elles étaient suffisamment larges (au minimum 1 m × 1 m) pour permettre à une personne de s'y mouvoir sans contrainte, notamment pour y réaliser l'ensemble des observations pédologiques ainsi que les mesures *in situ*.

L'ensemble des descriptions pédologiques (*in situ*) et des résultats d'analyses en laboratoire sont actuellement reportées dans les cahiers de laboratoire du Cirad suivants : 2005/962/UPR78 et 2005/963/UPR78. Ces cahiers sont régulièrement vérifiés et contresignés par un tiers témoin habilité ceci afin de garantir la traçabilité de tous les travaux de nature technique, expérimentale et scientifique effectués au sein du Cirad. Ces cahiers seront ensuite archivés pendant un minimum de vingt ans en cohérence avec la démarche qualité mise en œuvre au Cirad.

Un aliquote des échantillons de sol est toujours conservé, avant séchage, dans la pédothèque du Cirad de la Réunion en chambre froide à 5°C ; ceci afin de réaliser des analyses complémentaires ou de vérifier certaines données si nécessaire.

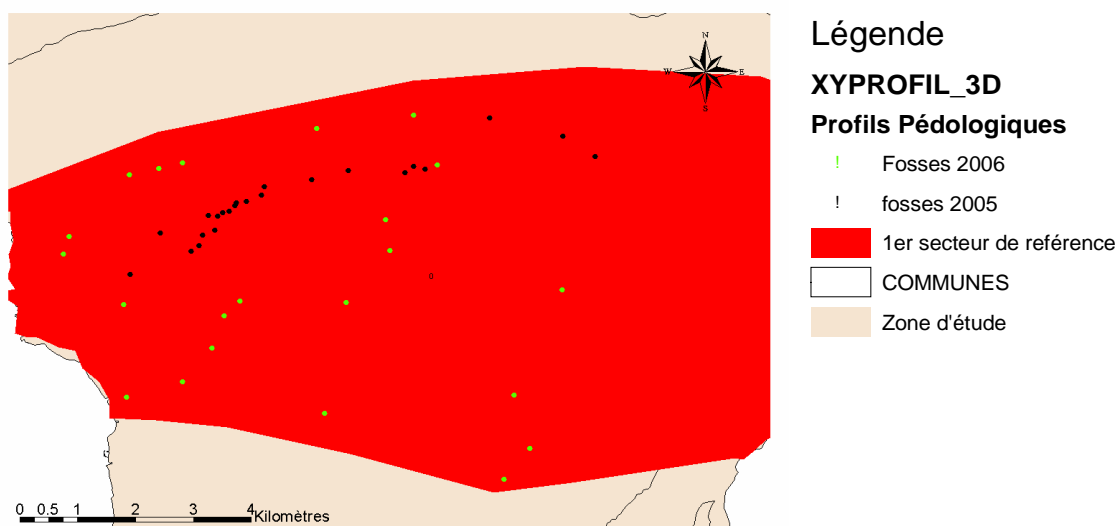


Figure 4 : localisation de l'ensemble des fosses pédologiques au sein du secteur de référence.

2.3 Mesures pédologiques réalisées in situ

Les descriptions de profils ont été faites selon les normes préconisées notamment par l'Inra (NF X 31-003, AFNOR 1998), sur la base de critères internationalement reconnus (FAO, 2006) et selon un système standardisé pour la description des sols et des méthodes d'analyses de laboratoire. Ce système est appelé « Système de Transfert de l'Information Pédologique et Agronomique (STIPA) ». Il comprend un manuel précisant les variables et les codes pour la description des sols. Il inclut également des programmes de gestion informatique des données. Les descriptions complètes de nos fosses ainsi que les résultats d'analyse sont archivées au sein de la base de données nationale de l'Inra (Donesol, version 3). Cette base de données n'est pas ouverte. Les noms des profils de références sont construits sur la base d'un radical (R-JGR) correspondant à notre référence interne Cirad suivi du numéro de la fosse précédé de « F ». Toutes les descriptions des fosses sont résumées dans l'annexe 1. Les observations et prélèvements ont été effectués sur la face du profil la plus haute et perpendiculaire à la pente. Les altitudes et les coordonnées de chaque fosse ont été acquises grâce à un GPS de marque Trimble (modèle GeoXM). Les coordonnées fournies par le GPS sont en degré, minutes et secondes dans le système de coordonnées « piton des Neiges ». Cependant le modèle de coordonnées du logiciel de traitement d'information géographique impose un format en mètres. Les coordonnées ont donc été transformées en mètres dans le système de coordonnées standard de la Réunion (RGR 92 – UTM 40 sud), projection « transverse mercator ». Les pentes ont été calculées à partir du modèle numérique de terrain. Elles ont été attribuées à chaque profil en réalisant une jointure spatiale entre la carte des pentes (dérivée du MNT) et la carte de localisation des profils.

Les mesures de densités apparentes par prélèvement de cylindres de volume connu (NF X 31-501, AFNOR 1992) ont été réalisées à raison de trois répétitions par horizon. Pour chacune des fosses ont également été réalisés des mesures de conductivité hydraulique à l'aide de la méthode Beerkan (Findeling, 2001 ; Lassabatère *et al.*, 2006).

2.4 Mesures au laboratoire

Pour chaque fosse, chaque horizon a fait l'objet de deux prélèvements de sol. Les échantillons prélevés à l'aide des cylindres pour la mesure de la densité apparente ont été conservés dans des sachets hermétiques. Ils ont ensuite été pesés humides, puis séchés à l'étuve à 105 °C. Ceci a permis de calculer leur masse volumique ainsi que leur teneur en eau au moment du prélèvement. La campagne de prospection pédologique et de prélèvements a été réalisée au cours de la saison sèche (juin à août 2006). Nous pouvons donc raisonnablement faire l'hypothèse que les sols étaient alors dans un état physique proche du pF 4,2. Cette valeur est utilisée dans les classifications pédologiques pour déterminer le caractère « hydric » des sols andiques.

Le second prélèvement de sol est séché à l'air (pendant deux semaines environ) avant d'être broyé et tamisé à deux mm à l'aide d'une passoire à trous ronds (NF ISO 11464 X31-412, AFNOR 1994). La première partie des analyses a été réalisée au laboratoire de la station du Cirad de la Bretagne (Saint-Denis) :

- mesure du pH_{eau} , du pH_{KCl} et de la conductivité électrique (NF ISO 10390 X31-117, AFNOR 1994) ;
- mesure du pH_{NaF} : protocole 4C1a1a1a-b1, (Soil Survey Staff, 2004).

La seconde partie des analyses a été réalisée par le laboratoire d'analyse des sols et des plantes du Cirad à Montpellier ; celui-ci est certifié ISO 9001 depuis 2003 par l'Afaq :

- taux de carbone organique et d'azote total à l'analyseur élémentaire (code de procédure interne n° PopS31b) ;

- rétention des phosphates (méthode de Blakemore, protocole 4D8a1a-b1, Soil Survey Staff, 2004) ;
- fer, aluminium et silicium extractibles par l'oxalate d'ammonium à pH 3 et représentant les oxydes mal cristallisés ;
- fer, aluminium et silicium extractibles par le réactif CBD (citrate-bicarbonate-dithionite) représentant les oxydes bien cristallisés ;
- fer et aluminium extractibles par le pyrophosphate de sodium et représentant les éléments liés à la matière organique (complexes organo-métalliques) ;
- capacité d'échange cationique (CEC) et bases échangeables à l'acétate d'ammonium 1 M tamponné à pH 7 (code de procédure interne Cirad n° PopS20e) ;
- acidité d'échange au KCl 1 N (code de procédure interne Cirad n° PopS24a) ;
- densité optique de l'extrait à l'oxalate (protocole 4G, Soil Survey Staff, 2004) ;
- granulométrie cinq fractions, méthode à la pipette après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée et dispersion par l'hexamétaphosphate de sodium (code de procédure interne Cirad n° PopS02c). La dispersion est parfois améliorée par un traitement aux ultrasons (appareil Vibracell 75041 – AGTT-00366 de 750 W, équipé d'une sonde de 13 mm et utilisé à 75 % de sa puissance).

Ces différentes analyses ont été réalisées au cours des deux mois qui ont suivi la réception des échantillons à Montpellier (mi-octobre 2006). Les résultats d'analyse des vingt-deux fosses sont répertoriés dans l'annexe 2, ils ont permis une première interprétation d'ensemble de cette première campagne de prélèvements.

Indépendamment de ces analyses qui sont réalisées en routine, des recherches sont en cours dans les laboratoires de Montpellier pour caractériser la CEA (capacité d'échange anionique) de trois profils (Gillman et Sumner, 1987). Cette analyse, qui demande beaucoup de temps ne peut en effet être faite en routine sur de nombreux échantillons.

2.5 Première interprétation des résultats

L'objectif de cette interprétation est d'arriver à définir, pour chacune des propriétés des sols, des unités typologiques homogènes de façon à pouvoir les traiter ensuite comme des entités dans l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque. Pour cela, le recours à la classification pédologique à l'aide d'un système taxonomique moderne a été choisi : la WRB (pour World Reference Base for soil resources : IUSS Working Group WRB, 2006).

Cette classification prend en effet en compte pratiquement toutes les propriétés des sols (observées et/ou analysées) qui servent à définir la vulnérabilité. Comme son nom l'indique, cette classification est universellement reconnue et son utilisation dans le cadre du projet permettra les échanges, la réactualisation et des applications multiples, autres que celle qui est l'objet du présent projet. Elle répond aux recommandations de la directive européenne sur la protection des sols qui préconise de prendre en compte les types de sols.

La WRB s'utilise à l'aide d'une clé d'identification des types de sols à l'image de ce qui fait à l'aide d'une flore pour les végétaux. La WRB reconnaît trente deux groupes de référence au niveau mondial (Reference Soil Groups, en abrégé RSGs). Sur ces trente deux groupes, six ont été identifiés dans la zone d'étude à la date où ce rapport est rédigé. Ces six groupes sont détaillés ci-dessous dans l'ordre où l'application de la clé de la WRB permet de les identifier. Ils correspondent également aux sols situés, en premier lieu, sur le haut du versant puis sur les parties moyennes et basses du versant.

2.5.1 Typologie des sols du haut du versant

– Les *Andosols* (AN) : depuis Zebrowski (1975) qui avait diagnostiqué le caractère andique des sols des parties hautes du versant (altitudes supérieures à 900 m), toutes les études pédologiques ont montré que les *Andosols* occupaient une place importante sur le versant occidental de l'île de la Réunion. Les critères d'identification de ce groupe de sols ont été modifiés et précisés au cours du temps au sein des différents systèmes de taxonomies dans le sens d'une plus grande rigueur et en s'appuyant progressivement sur davantage de critères analytiques. De ce fait, il y a moins d'*Andosols* diagnostiqués aujourd'hui qu'il n'y en avait par le passé lorsque seules les valeurs prises par le pH_{NaF} étaient prises en compte. Pour la WRB, la détermination analytique du groupe des *Andosols* s'appuie sur les trois critères suivants :

- (i) les valeurs de la densité apparente (elles doivent être inférieures à 0,9) ;
- (ii) la somme « $Al_{ox.} + \frac{1}{2} Fe_{ox.}$ » des éléments extraits à l'oxalate (indicateur de la présence de quantités importantes de minéraux mal cristallisés et devant être supérieure à 2 %) ;
- (iii) le pouvoir de rétention des phosphates (qui doit présenter des valeurs d'au moins 85 %).

Pour illustrer ce propos, l'interprétation des données pédologiques issues des travaux du Cirad par Raunet (1991) donne une limite basse des *Andosols* non perhydratés nettement différente de celle du groupe des *Andosols* selon la WRB. Ceci n'est pas sans intérêt pour le projet puisque cela a pour conséquence de réduire significativement la superficie totale des *Andosols*. Or, les sols qui sont regroupés dans ce groupe présentent des propriétés homogènes et sont plus riches en minéraux mal cristallisés que ceux situés plus bas et ils auront également un comportement différent vis-à-vis de certains polluants.

Au sein du groupe des *Andosols*, la distinction entre les sols ayant une teneur en eau supérieure à 100 % (à pF 4,2 *i.e.* en saison sèche correspondant donc au caractère « hydric » selon la terminologie WRB et proche du caractère perhydraté des systèmes antérieurs) et les autres est aisée au vu des résultats analytiques. Elle apparaît néanmoins difficile à matérialiser par une limite cartographique. Les études complémentaires devront essayer d'éclaircir ce point.

– Les *Podzols* (PZ) constituent le second groupe de référence identifié lorsque l'on applique la clé de détermination de la WRB. De même que l'andosolisation, la podzolisation a été clairement identifiée par Zebrowski (1975) mais dès 1960, Riquier parlait déjà de « sols à voune et mascareignite ». Ces *Podzols* présentent, en effet, généralement un horizon sub-superficiel sableux composé essentiellement de phytolithes : la mascareignite. Ceci a amené Raunet (1991) à utiliser le terme d'*Andosols* à mascareignite préférentiellement à celui de *podzols* qui implique un processus de migration de complexes organo-métalliques au sein du profil. Les analyses effectuées ici montrent que cette migration a bien eu lieu, elle est mise en évidence par les variations de la densité optique de l'extrait oxalate (*e.g.* profil R-JGR-F18, annexe 2).

Ces *Podzols* semblent se retrouver sous des types de végétation particuliers et leur cartographie est donc relativement aisée. Néanmoins des contrôles supplémentaires par sondages à la tarière permettront de valider cette hypothèse à l'ensemble de la zone étudiée.

2.5.2 Typologie des sols des parties basses et moyennes du versant

On trouve ensuite, dans l'ordre de la clé de la WRB, des *Phaeozems* (PH), des *Alisols* (AL), des *Umbrisols* (UM) et des *Cambisols* (CM). Cet ordre est différent de celui de la succession des types de sols sur le versant où l'on note, de haut en bas, les *Umbrisols* succédant aux *Andosols*,

suivis des *Alisols* puis des *Phaeozems*. Les *Cambisols* qui correspondent à des sols moins bien différenciés occupant différentes positions.

– Les *Phaeozems* (PH) correspondent à des sols présentant une relative accumulation organique dans les horizons de surface (critères de couleur et de teneur en carbone organique). Leur complexe d'échange est, de plus, bien saturé (saturation en bases échangeables supérieure à 50 % sur la majeure partie du profil). Ils caractérisent les zones les moins pentues du bas du versant et correspondent à l'ancienne dénomination sols bruns eutrophes de Raunet (1991). Mais une fois encore, les critères de la WRB sont plus stricts que ceux des anciens systèmes et un pourcentage important de ces sols bruns se retrouve aujourd'hui classé en sols peu évolués (ou *Cambisols*). La cartographie devra maintenant s'attacher à préciser les relations entre topographie de détail et présence de *Phaeozems* dans la zone d'occurrence de ce type de sol.

– Les *Alisols* (AL) : ce sont les seuls sols à profil argileux différencié identifiés au cours de l'étude, ils présentent donc « un ventre argileux » à mi-profondeur. Ils sont classés ainsi car les caractéristiques de leur complexe absorbant correspondent à une capacité d'échange cationique supérieure à $24 \text{ cmol}_{(+)}.\text{kg}^{-1}$ d'argile¹ et leur taux de saturation reste inférieur à 50 % sur l'ensemble du profil. Ils semblent correspondre à une bande altitudinale située sous celle des *Umbrisols* et les investigations ultérieures permettront de le préciser.

– Les *Umbrisols* (UM) : ils constituent l'équivalent « désaturé » des *Phaeozems* et présentent une relative accumulation organique dans les horizons de surface (mêmes critères de couleur et de teneur en carbone organique que pour les *Phaeozems*) mais le taux de saturation doit être inférieur à 50 % sur la majeure partie du profil. Ils succèdent immédiatement aux *Andosols* à la limite basse de ces derniers mais cette règle semble non systématique car, si les critères de couleur relativement contraignants ne sont pas respectés, on passe directement à des *Cambisols*. Par comparaison avec la carte de Raunet (1991), ils correspondent à une partie des sols bruns andiques et peut-être à certains *Andosols* non perhydratés et désaturés ; cela reste à vérifier lors des prospections à venir.

– Les *Cambisols* (CM) : ils se substituent aux groupes précédents (i) lorsque certains critères de classification ne sont pas remplis et (ii) dans les zones soumises à l'érosion où le développement du profil est limité en profondeur (caractère « leptic »). Ce groupe des *Cambisols* regroupe des sols assez disparates au sein duquel il faudra introduire des critères plus discriminants qui permettront de mieux traduire la réalité du terrain. Les sols les plus « rouges » qui aient été décrits (profil R-JGR-F10, cf. annexe 1) correspondent à un leptic *Cambisol* (*chromic*) ; il n'est toutefois pas exclu de trouver de véritables *Nitisols* (NT) ou encore des *chromic Luvisols* lors de la poursuite des travaux cartographiques sur les coulées de la phase géologique III et correspondant aux roches appelées « pintade ».

En plus de ces six groupes, un profil de *Vertisol* (VR) a été reconnu mais non échantillonné. Il semble, au vu des observations réalisées au cours de cette première campagne, que l'extension de ce groupe de sols soit très réduite et limitée à quelques poches au sein de plages associant *Phaeozems* et *Cambisols*. Les *Leptosols* (LP), sols très peu épais entrevus mais non échantillonnés lors des prospections, seront également à repérer précisément et les critères permettant d'en faire la cartographie devront être identifiés.

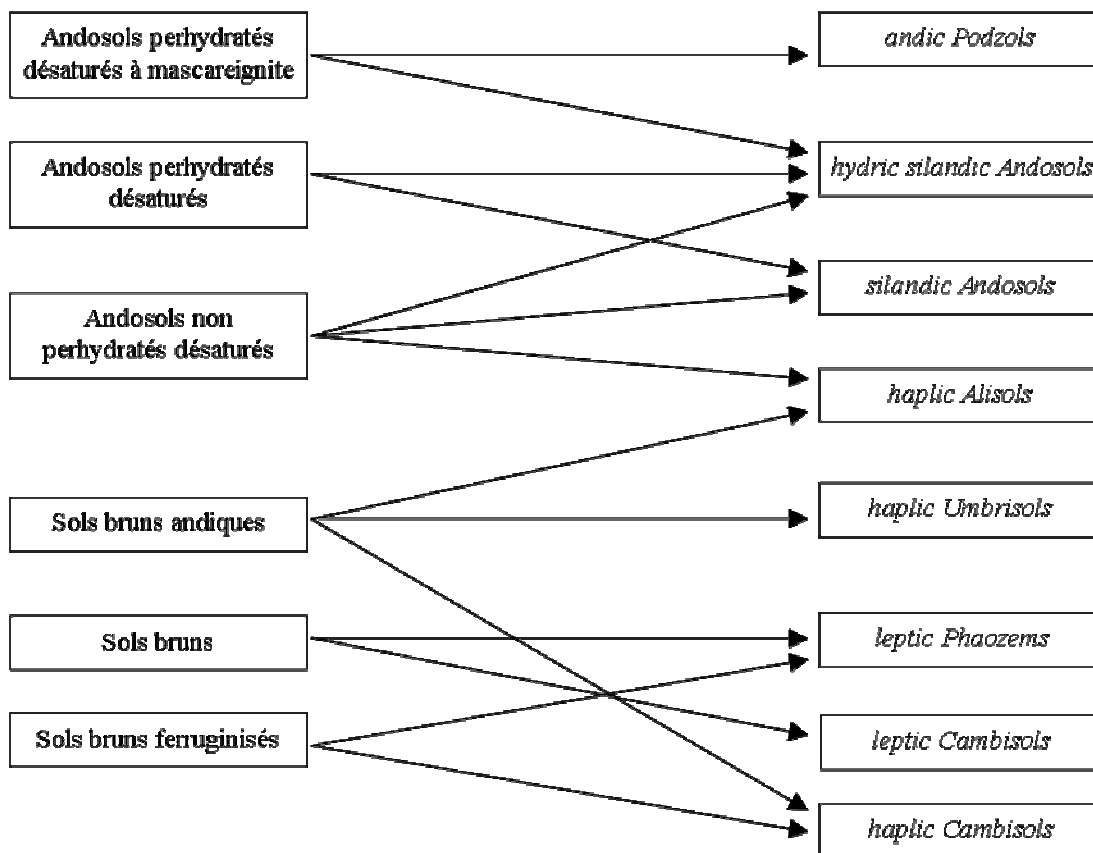
¹ Depuis plus d'une dizaine d'année, l'unité « milli-équivalent pour 100 grammes » *i.e.* $\text{m\acute{e}q}.100 \text{ g}^{-1}$ en abrégé, est proscrite au profit des unités du système international « moles par kilogramme ». Afin de conserver une correspondance et des valeurs identiques, la sous unité $\text{cmol}_{(+)}.\text{kg}^{-1}$ est utilisée pour remplacer les $\text{m\acute{e}q}.100 \text{ g}^{-1}$; les valeurs restant donc inchangées.

2.6 Synthèse et conclusions partielles

Le tableau 2 reprend synthétiquement les grandes correspondances que nous avons mis en évidence entre la dernière carte pédologique existante (Raunet, 1991) établie sur la base de la CPCS (1967) et nos résultats utilisant comme système de classification la WRB (IUSS Working Group WRB, 2006). Ce tableau montre clairement la difficulté de passer de façon univoque d'un système de classification à un autre. Cette difficulté s'explique essentiellement par une évolution des critères analytiques et descriptifs utilisés pour ces classifications ; ceux-ci sont plus précis donc plus contraignants, notamment pour les délimitations des unités de référence. Ainsi, l'actualisation de la carte des sols passe obligatoirement par une nouvelle campagne de prospection pédologique. Notre objectif final, dans le cadre de ce projet, étant la réalisation d'une carte thématique (vulnérabilité de la nappe aux pollutions), l'acquisition de propriétés spécifiques indispensables (par exemple la conductivité hydraulique et la capacité d'échange anionique) se fait en parallèle.

En conclusion, il apparaît que les travaux de cartographie pédologique antérieurs (essentiellement Raunet, 1991) soient difficiles à réutiliser dans le cadre de notre projet. Néanmoins, bien que cela influence la progression de notre projet dans le sens d'un ralentissement cela ne remet pas en cause les délais d'exécution de la convention. Nous prévoyons donc un effort plus soutenu qu'initialement prévu dans le domaine de la cartographie pédologique mais cela se justifie amplement par l'importance d'acquérir des données pédologiques de bases.

Tableau 2 : correspondances établies sur notre secteur de référence entre la typologie utilisée par Raunet (1991) et celle utilisée dans nos travaux sur la base de la WRB.



3 PLANNING PRÉVISIONNEL POUR LA FIN DES TRAVAUX

Compte tenu de l'état d'avancement des deux campagnes de terrain, de la réception des résultats d'analyses et des études bibliographiques, le planning prévisionnel sur lequel nous nous appuyons est désormais le suivant :

- Mars et avril 2007 : étude cartographique complémentaire du secteur de référence, ajustement « terrain » des limites entre les principaux groupes de sols. Bibliographie sur la modélisation de la vulnérabilité des sols et des aléas aux différents polluants. Début du stage de master 2 (université d'Avignon) d'A. Blondel en collaboration avec É. Nicolini du LSTUR (université de la Réunion).
- Mai, juin, juillet et août 2007 : seconde campagne de cartographie sur la partie nord de la zone d'étude. Détermination des sites d'ouverture des fosses, caractérisation pédologiques, prélèvements et conditionnement des échantillons de sols, mesures de la conductivité hydraulique, etc. Fin du stage de master 2 d'A. Blondel et présentation des résultats.
- Du 1^{er} au 15 septembre : mise en forme des données acquises lors de la seconde campagne de cartographie sous DONESOL. Mission de F. Feder à Montpellier.
- Du 16 septembre au 30 octobre : mise en place d'un ou plusieurs modèles afin d'estimer la sensibilité des sols aux fuites de polluants. Analyse sur le secteur de référence. Seconde mission de G. Bourgeon à la Réunion.
- De novembre à mi-décembre : réception des résultats d'analyse des échantillons de la seconde campagne de prospection pédologique, analyse et interprétation des profils, validation des hypothèses et du schéma cartographique des sols, ajustement terrain.
- Mi-décembre 2007 à mi-janvier 2008 : application d'un modèle ou plusieurs modèles de vulnérabilité à l'ensemble de la zone d'étude. Comparaison des modèles, de leur sensibilité, de leur efficacité dans notre contexte, etc.
- Mi-janvier 2008 à fin février 2008 : rendu des cartes finales des sols et de la vulnérabilité des sols, rédaction du rapport final, restitution des résultats.

Une seconde mission de G. Bourgeon est donc prévue en octobre 2007 afin de finaliser la carte des sols.

4 ASPECTS FINANCIERS

La convention entre le ministère de l'Outre-mer et le Cirad Réunion se déroule sur trois années civiles : 2006, 2007 et 2008. Le tableau 3 (page suivante) récapitule les frais qui ont été engagés sur l'année 2006 et établit un état prévisionnel des frais pour les années 2007 et début 2008. À mi-parcours du projet, nous pouvons dire que la consolidation du budget pour l'année 2006 est en adéquation avec les estimations initiales. Nous n'avons pas rencontré de difficultés financières particulières au cours de cette période.

Par ailleurs, la programmation budgétaire concernant l'année 2007 et le début de l'année 2008 est cohérente avec le nouveau planning prévisionnel (*cf.* partie 3).

Tableau 3 : synthèse des frais engagés et prévisionnels.

Client	Ministère de l'Outre-mer		Département Cirad – PERSYST		
Durée (en mois)	24 mois				
Programme - équipe	UPR RELIER	Période :	mars 2006 à février 2008		
Chef de projet	F. FEDER				
Gestionnaire Sage	SAGE Réunion				
Code affaire	447116	Année 1	Année 2	Année 3	
Libellé affaire	MOM	2006	2007	2008	
1 - Salaires et charges					
1.1 - Personnel recruté pour le projet					
J.-G. Robin (VCAT)		14 842,57	16 000,00	3 000,00	33 842,57
1.2 - Intérim					
1.3 - Stagiaires					
Indemnité de stage master 2 (A. Blondel, 300 €/mois)			1 500,00		1 500,00
Chèques déjeuner (A. Blondel)			500,00		500,00
2 - Frais d'expatriation					
Bagage VCAT		494,00		500,00	994,00
Hébergement stagiaire master 2 (A. Blondel)			1 000,00		1 000,00
3 - Missions, déplacements					
3.1 - Frais et transports					
Transport mission G. Bourgeon		1 378,24	1 400,00		2 778,24
Transport métropole-Réunion (VCAT)		546,51		600,00	1 146,51
Transport métropole-Réunion (stage A. Blondel)			1 000,00		1 000,00
Transport mission F. Feder			1 500,00		1 500,00
Frais mission G. Bourgeon		933,32	900,00		1 833,32
Frais mission F. Feder			728,00		728,00
3.2 - Indemnités de sujétion					
Mission G. Bourgeon (15 jours)		739,59	740,00		1 479,59
Charges patronales		380,89	380,00		760,89
6 - Fonctionnement					
Location véhicule		1 200,00	2 400,00	400,00	4 000,00
Documentation, communication			250,00	250,00	500,00
Papeterie, informatique		100,00	200,00	100,00	400,00
7 - Sous-traitance externe					
Analyses chimiques isotopiques			4 050,00		4 050,00
8 - Sous-traitance interne					
8.1 - Sous-traitance interne : frais de personnel					
8.2 - Sous-traitance interne : autres frais					
Analyses laboratoire CIRAD Montpellier		21 315,35	5 674,35		26 989,70
Total des dépenses par année en euros HT		41 930,47	38 222,35	4 850,00	85 002,82

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CPCS (1967) *Classification des sols*. École nationale supérieure agronomique, Grignon, France, 87 p.
- FAO (2006) *Guidelines for soil description*. 4th edition. Rome.
- Feder, F., Olivier, R., Alary, K. and Bourgeon, G. (2006) Characterisation Of a Soil Catena on the Western Slope of The Piton Des Neiges Volcano (la Réunion). [Cd-Rom], 18th World Congress of Soil Science. 2006/07/9-15, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Findeling, A. (2001) Étude et modélisation de certains effet du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluvial au Mexique. École nationale du génie rural des eaux et forêts, science de l'eau, Montpellier, 357 p.
- Gillman G. P. et Sumner, M. E. 1987. Surface Charge Characterization and Soil Solution Composition of Four Soils from the Southern Piedmont in Georgia. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 51: 589-594.
- IUSS Working Group WRB (2006) *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Koller, R., Sauter, J., Pierrillas, S. et Viro, M. (2004) Classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires. *Étude et gestion des sols*, vol. 11 (3), p. 219-234.
- Landreau, A. et Talbo, H. (1996) Contribution à une normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions des nappes souterraines. BRGM/RR-38846-FR, BRGM.
- Lassabatère, L., Angulo-Jaramillo, R., Soria Ugalde, J.M., Cuenca, R., Braud, I. et Haverkamp R. (2006) Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments – BEST. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70:521–532.
- Olivier, R. (2005) Étude d'une toposéquence dans l'île de la Réunion. CIRAD – UPR RELIER, Saint-Denis de la Réunion.
- Raunet, M. (1991) Le milieu physiques et les sols de l'île de la Réunion : conséquences pour la mise en valeur agricole. CIRAD - région Réunion, Saint-Denis de la Réunion.
- Schnebelen, N., Platel, J.-P., Le Nindre, Y. M., Baudry, D., Hoarau, A., Dufour P. et Benhammouda, S. (2002) Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Année 5. Opération sectorielle – Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Nouvelles connaissances hydrogéologiques. Cartographie de la vulnérabilité aux pollutions. BRGM/RP-51178-FR, BRGM.
- Soil Survey Staff (2004) *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey investigations reports, No 42, Version 4.0, USDA-NRCS.
- Zebrowski, C. (1975) Étude d'une climato-séquence dans l'île de la Réunion. *Cahiers de l'Orstom*, série pédologique, 13(3/4): p. 255-278.

ANNEXE 1

DESCRIPTIONS SYNTHÉTIQUES DES FOSSES PÉDOLOGIQUES

	R-JGR-F1	R-JGR-F2	R-JGR-F3
Coordonnées GPS	X = 326933 Y = 7661885	X = 326860 Y = 7662423	X = 325801 Y = 7658991
Altitude (m)	1223	1245	711
Contexte	Prairie	Prairie	cannes à sucre
pente (%)	11.68	9.18	12.62
H1 limites	0-10 cm	0-5/10 cm	0-25 cm
couleur	7,5YR3/4	10YR3/4	10YR3/2
MO	oui	oui	oui
racines	oui	nombreuses	nombreuses
éléments grossiers	non	non	non
texture	L	L	La
H2 limites	10-15 cm	5/10-25 cm	25-120 cm
couleur	10YR3/4	7,5YR4/6	10YR4/3
MO	oui	non	non
racines	oui	nombreuses	peu nombreuses
éléments grossiers	non	non	non
texture	La	La	Al
H3 limites	15-30/35 cm	25-40 cm	120 et + pas de RM
couleur	7,5YR3/4	10YR3/2	10YR3/3
MO	non	non	non
Racines	oui mais moins	peu nombreuses	non
éléments grossiers	non	non	non
texture	La	La	Al
H4 limites	30/35-55 cm	40-70 cm	
couleur	7,5YR4/6	7,5YR4/6	
MO	non	non	
racines	peu nombreuses	très peu nombreuses	
éléments grossiers	graviers 1 à 5 %	non	
texture	La	La	
H5 limites	55-80 cm	70-90 cm	
couleur	7,5YR3/4	7,5YR3/4	
MO	non	non	
racines	très peu nombreuses	très peu nombreuses	
éléments grossiers	graviers 10 à 15 %	non	
texture	La	La	
H6 limites	80-120 cm	90 et + pas de RM	
couleur	10YR4/6	10YR4/6	
MO	non	non	
racines	non	non	
éléments grossiers	non	graviers 5 %	
texture	La	La	
H7 limites	120 et plus : pas de RM		
couleur	10YR3/3		
racines	non		
MO	non		
éléments grossiers	non		
texture	La		

	R-JGR-F4	R-JGR-F5	R-JGR-F6
Coordonnées GPS	X = 323851 Y = 7660154	X = 325664 Y = 7664036	X = 327346 Y = 7664281
Altitude (m)	497	1117	1390
Contexte	friche	cryptomérias	Prairie
pente (%)	19.95	5.41	6.00
H1 limites	0-20/30 cm	0-22 cm	0-7 cm
couleur	10YR4/2	103/3	10YR4/4
MO		oui	oui
racines	nombreuses	très nombreuses	très nombreuses
éléments grossiers	graviers 2 %	non	graviers 2 %
texture	Ls	L	L
H2 limites	20/30-90 cm RM	22-60/80 cm	7-22 cm
couleur	10YR3/2	7,5YR4/4	10YR3/4
MO		non	non
racines	non	nombreuses	peu nombreuses
éléments grossiers	graviers - cailloux 15 %	cailloux 5%	non
texture	A	La	La
H3 limites		60/80-90/100 cm	22-40 cm
couleur		10YR4/4	7,5YR4/6
MO		non	non
Racines		peu nombreuses	peu nombreuses
éléments grossiers		cailloux 10%	non
texture		L	La
H4 limites		90/100 et plus, pas de RM	40-60 cm
couleur		7,5YR4/4	10YR4/6
MO		non	non
racines		très peu nombreuses	très peu nombreuses
éléments grossiers		graviers 20%	graviers 1 à 5%
texture		La	La
H5 limites			60-80 cm
couleur			5YR3/4
MO			non
racines			très peu nombreuses
éléments grossiers			non
texture			Al
H6 limites			80-90 cm
couleur			10YR3/3
MO			non
racines			non
éléments grossiers			non
texture			Al
H7 limites			90 et plus pas de RM
couleur			10YR2/1
racines			non
MO			non
éléments grossiers			graviers 10%
texture			A

	R-JGR-F7	R-JGR-F8	R-JGR-F9
Coordonnées GPS	X = 322424 Y = 7663223	X = 321377 Y = 7662132	X = 321283 Y = 7661815
Altitude (m)	520	151	131
Contexte	cannes à sucre	friche	friche
pente (%)	17.50	8.56	8.77
H1 limites	0-10/15 cm	0-35 cm RM	0-10/20 cm
couleur	7,5YR3/2	10YR3/3	5YR3/4
MO	oui		
racines	nombreuses	nombreuses	très nombreuses
éléments grossiers	graviers 2 %	graviers 30 %	graviers 2 %
texture	La	L	Las
H2 limites	10/15-40/50 cm		10/20-30/45 cm
couleur	7,5YR3/2		2,5YR3/4
MO	non		non
racines	non		peu nombreuses
éléments grossiers	graviers et cailloux 10 %		cailloux 15 %
texture	La		A
H3 limites	40/50-80 cm RM		altérites RM
couleur	10YR3/2		
MO	non		
Racines	non		
éléments grossiers	cailloux 20 %		
texture	A		

	R-JGR-F10	R-JGR-F11	R-JGR-F12
Coordonnées GPS	X = 322318 Y = 7660927	X = 329359 Y = 7658381	X = 324337 Y = 7660989
Altitude (m)	262	1776	707
Contexte	Prairie	Tamarins	friche
pente (%)	16.36	12.23	16.80
H1 limites	0-50 cm	0-5 cm	0-10/20 cm
couleur	7,5YR3/2	10YR2/2	7,5YR3/2
MO	oui	oui	oui
racines	très nombreuses	très nombreuses	nombreuses
éléments grossiers	blocs 50 %	non	non
texture	Las	La	La
H2 limites	RM	5-40 cm	10/20-130 cm
couleur		7,5YR34	10YR3/4
MO		oui	non
racines		peu nombreuses	peu nombreuses
éléments grossiers		non	non
texture		L	L
H3 limites		40-90 cm	Pas de RM à 130cm
couleur		7,5YR4/4	
MO		non	
Racines		non	
éléments grossiers		pierre 20 %	
texture		L	
H4 limites		90 et plus : pas de RM	
couleur		7,5YR3/2	
MO		non	
racines		non	
éléments grossiers		non	
texture		L	

	R-JGR-F13	R-JGR-F14	R-JGR-F15
Coordonnées GPS	X = 322373 Y = 7659279	X = 323335 Y = 7659556	X = 329359 Y = 7658381
Altitude (m)	88	320	629
Contexte	friche	Prairie	friche et maïs
pente (%)	11.80	10.80	15.60
H1 limites	0-25/30	0-25 cm	0-30/35 cm
couleur	7,5YR3/2	10YR3/3	7,5YR4/3
MO	oui		oui
racines	nombreuses	nombreuses	nombreuses
éléments grossiers	cailloux 20 %	graviers 3 %	cailloux 15 %
texture	Las	La	Las
H2 limites	25/30-50 cm	25-130 cm	30/35-75/90 cm
couleur	7,5YR4/4	7,5YR4/4	10YR3/4
MO	non		non
racines	non	peu nombreuses	peu nombreuses
éléments grossiers	graviers 30 à 40 %	graviers 65 %	cailloux 20 %
texture	As	Sl	Ls
H3 limites	RM à 50 cm	25-130 cm (langues)	75/90-130 cm
couleur		5YR3/3	10YR3/3
MO		non	non
Racines		peu nombreuses	non
éléments grossiers		non	non
texture		Las	Ls
H4 limites		pas de RM à 130 cm	pas de RM à 130 cm
couleur			
MO			
racines			
éléments grossiers			
texture			

	R-JGR-F16	R-JGR-F17	R-JGR-F18
Coordonnées GPS	X = 328908 Y = 7657834	X = 329084 Y = 7659318	X = 329909 Y = 7661189
Altitude (m)	1450	1593	1841
Contexte	Prairie	Prairie	Tamarins
pente (%)	7.32	10.37	12.11
H1 limites	0-15/25 cm	0-10/15 cm	0-10 cm
couleur	5YR3/2	5YR5/3	5YR2,5/2
MO	oui	oui	oui
racines	très nombreuses	très nombreuses	très nombreuses
éléments grossiers	non	non	non
texture	Al	Ls	Sl
H2 limites	15/25-35 cm	0-10/15 cm	10-10/18 cm
couleur	7,5YR4/4	2,5YR2,5/2	2,5YR4/2
MO	non	oui	oui
racines	très nombreuses	très nombreuses	très nombreuses
éléments grossiers	non	non	non
texture	Ls	Ls	Sl
H3 limites	35-65 cm	10/15-30 cm	10/18-20/30 cm
couleur	10YR3/2	7,5YR3/2	5YR3/3
MO	non	non	non
Racines	nombreuses	nombreuses	nombreuses
éléments grossiers	non	non	non
texture	Al	Las	Ls
H4 limites	65-80 cm	30-55/60 cm	20/30-30/35 cm
couleur	5YR4/4	5YR3/4	5YR3/2
MO	non	non	non
racines	nombreuses	nombreuses	nombreuses
éléments grossiers	non	non	non
texture	Al	Al	Ls
H5 limites	80-95/105 cm	55/60-90 cm	30/35-140 cm
couleur	10YR3/3	7,5YR4/4	7,5YR4/4
MO	non	non	non
racines	nombreuses	très peu nombreuses	très peu nombreuses
éléments grossiers	non	non	pierres 10/15 %
texture	A	La	L
H6 limites	95/105-115 cm	90-140 cm	Pas de RM à 140 cm
couleur	7,5YR4/4	10YR3/3	
MO	non	non	
racines	peu nombreuses	non	
éléments grossiers	non	blocs 30 %	
texture	Al	Las	
H7 limites	115-130 cm pas de RM	Pas de RM à 140 cm	
couleur	10YR3/3		
racines	non		
MO	non		
éléments grossiers	non		
texture	Al		

	R-JGR-F19	R-JGR-F20	R-JGR-F21	R-JGR-F22
Coordonnées GPS	X = 327757 Y = 7663390	X = 326177 Y = 7660965	X = 323340 Y = 7663429	X = 323335 Y = 7659556
Altitude (m)	1435	1064	700	608
Contexte	cryptomérias	Prairie	canne à sucre	canne à sucre
pente (%)	10.60	11.82	12.30	11.67
H1 limites	0-10 cm	0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
couleur	5YR3/3	7,5YR3/2	10YR4/3	10YR3/2
MO	oui	oui	oui	oui
racines	très nombreuses	très nombreuses	peu nombreuses	peu nombreuses
éléments grossiers	non	non	non	cailloux 10 %
texture	Sl	Las	La	Las
H2 limites	10-12/20 cm	10-35 cm	20-90 cm	30-130 cm
couleur	10YR4/6	7,5YR4/4	7,5YR4/4	7,5YR3/4
MO	oui		non	non
racines	nombreuses	nombreuses	peu nombreuses	non
éléments grossiers	non	non	non	cailloux 20 %
texture	n.d.	Ls	L	La
H3 limites	12/20-55 cm	35-90 cm	90-120 cm	Pas de RM à 130 cm
couleur	5YR3/3	7,5YR4/4	10YR3/3	
MO	non	non	non	
Racines	peu nombreuses	peu nombreuses	non	
éléments grossiers	non	non	non	
texture	Las	L	Al	
H4 limites	55-90 cm	90-100/110 cm	Pas de RM à 130 cm	
couleur	5YR3/4	5YR5/6		
MO	non	non		
racines	très peu nombreuses	très peu nombreuses		
éléments grossiers	cailloux 50 %	non		
texture	Al	Al		
H5 limites	90-140 cm	100/110-115/120 cm		
couleur	10YR3/4	7,5YR3/4		
MO	non	non		
racines	très peu nombreuses	très peu nombreuses		
éléments grossiers	cailloux 15 à 20 %	graviers 5 %		
texture	Las	Las		
H6 limites	Pas de RM à 140 cm	115/120-130 cm		
couleur		5YR4/6		
MO		non		
racines		non		
éléments grossiers		graviers 10/15 %		
texture		As		
H7 limites		Pas de RM à 130 cm		

ANNEXE 2

RÉSULTATS DES ANALYSES

N° Fosse	H _z	Da	HP (%)	pH eau	pH KCl	Δ pH	pH NaF (2 min)	CE (μS/cm)	P. rétention %	Argiles (Avec U-S)	Limons fins (Avec U-S)	Limons grossiers (Avec U-S)	Sables fins (Avec U-S)	Sables grossiers (Avec U-S)	Argiles (sans U-S)
R-JGR-F1	H1	0.63	88.00	5.36	4.82	0.54	10.30	39	99.53						
R-JGR-F1	H2	0.63	88.00	5.33	4.89	0.44	10.59	24	99.73						
R-JGR-F1	H3	0.45	157.77	4.99	5.23	-0.24	10.05	20	99.75						
R-JGR-F1	H4	0.40	182.47	4.54	5.42	-0.88	10.09	19	99.82						
R-JGR-F1	H5	0.44	163.88	4.80	5.54	-0.74	9.97	16	99.82						
R-JGR-F1	H6	0.46	163.05	4.87	5.30	-0.43	9.42	13	99.21						
R-JGR-F1	H7			5.09	4.78	0.31	8.87	11	94.09						
R-JGR-F2	H1	0.50	127.78	5.46	4.88	0.58	10.47	33	99.50						
R-JGR-F2	H2	0.50	127.78	5.00	4.97	0.03	10.52	53	99.73						
R-JGR-F2	H3	0.47	132.37	5.04	5.14	-0.10	10.13	26	99.77						
R-JGR-F2	H4	0.44	151.34	4.70	5.26	-0.56	10.54	29	99.80						
R-JGR-F2	H5	0.48	137.51	4.69	5.41	-0.72	10.01	15	99.75						
R-JGR-F2	H6	0.47	147.55	4.69	5.47	-0.78	9.84	12	99.76						
R-JGR-F3	H1	1.17	37.29	5.56	4.83	0.73	8.74	27	84.20	48.40	33.40	8.00	6.30	3.90	11.57
R-JGR-F3	H2	0.96	57.00	6.06	6.01	0.05	8.99	35	97.26	35.60	34.00	19.30	7.20	3.90	0.33
R-JGR-F3	H3			6.09	5.79	0.30	9.01	24	87.08	60.50	31.30	5.40	1.80	1.00	6.98
R-JGR-F4	H1	1.14	19.50	6.44	5.24	1.20	8.32	19	51.70	53.60	24.40	13.70	3.30	5.00	48.44
R-JGR-F4	H2	1.30	21.89	6.16	4.98	1.18	8.74	29	59.59	54.80	22.10	14.40	3.80	4.80	48.99
R-JGR-F5	H1	0.72	62.60	6.00	5.25	0.75	9.06	24	96.93						
R-JGR-F5	H2	0.84	60.65	5.61	5.22	0.39	9.18	9	97.92						
R-JGR-F5	H3	0.93	51.92	5.61	4.62	0.99	9.56	12	83.23						
R-JGR-F5	H4	1.02	44.54	6.19	5.84	0.35	9.82	12	99.13						
R-JGR-F6	H1	1.06	47.25	5.49	4.49	1.00	8.96	59	84.40						
R-JGR-F6	H2	1.06	47.25	5.06	3.99	1.07	9.30	15	86.06						
R-JGR-F6	H3	0.79	65.92	4.77	4.07	0.70	9.40	30	86.77						
R-JGR-F6	H4	0.82	66.97	4.65	4.19	0.46	9.33	21	93.98						
R-JGR-F6	H5	0.79	69.87	4.73	4.27	0.46	8.72	21	96.49						
R-JGR-F6	H6	1.02	54.23	4.69	4.53	0.16	8.96	25	97.43						
R-JGR-F6	H7	1.02	54.23	4.80	4.70	0.10	8.72	23	94.91						

N° Fosse	H _z	Da	HP (%)	pH eau	pH KCl	Δ pH	pH NaF (2min)	CE (μS/cm)	P. rétention %	Argiles (Avec U-S)	Limons fins (Avec U-S)	Limons grossiers (Avec U-S)	Sables fins (Avec U-S)	Sables grossiers (Avec U-S)	Argiles (sans U-S)
R-JGR-F7	H1	1.29	21.95	6.14	5.13	1.01	8.49	37	60.52	43.40	33.00	10.60	5.70	7.30	38.32
R-JGR-F7	H2	1.43	22.83	6.40	5.54	0.86	8.49	35	63.30	48.90	32.90	9.00	4.00	5.20	37.47
R-JGR-F7	H3	1.12	30.20	6.23	5.34	0.89	8.75	28	65.13	47.30	33.00	11.20	4.20	4.30	37.99
R-JGR-F8	H1	1.42	13.82	7.57	6.82	0.75	8.52	45	31.60	39.10	35.80	14.00	5.00	6.20	32.97
R-JGR-F9	H1	1.27	10.07	6.57	5.29	1.28	8.12	27	31.45	57.80	23.60	7.10	4.80	6.60	53.57
R-JGR-F9	H2	1.32	15.58	7.15	5.83	1.32	9.06	26	50.09	52.20	21.70	7.90	9.20	9.00	40.65
R-JGR-F9	H3	1.42	17.75	7.09	5.63	1.46	8.89	18	47.32	28.50	10.60	8.70	12.60	39.50	19.83
R-JGR-F10	H1	1.30	13.64	6.86	5.98	0.88	8.16	18	42.15	53.40	25.90	6.90	3.80	10.00	50.07
R-JGR-F11	H1	0.51	95.97	5.30	4.27	1.03	9.72	16	95.82						
R-JGR-F11	H2	0.42	131.28	5.29	4.78	0.51	10.43	14	99.44						
R-JGR-F11	H3	0.84	18.46	4.94	5.05	-0.11	10.37	11	99.52						
R-JGR-F11	H4					0.00									
R-JGR-F12	H1	0.96	37.22	5.50	4.72	0.78	7.99	33	65.71						
R-JGR-F12	H2	0.76	53.09	5.85	5.47	0.38	8.97	33	79.23						
R-JGR-F13	H1	1.37	8.08	6.66	5.78	0.88	8.28	24	39.75	60.20	24.60	7.70	2.80	4.60	57.65
R-JGR-F14	H1	1.39	17.84	6.70	5.76	0.94	8.49	24	40.75	48.20	29.50	12.90	6.10	3.40	42.93
R-JGR-F14	H2	1.23	16.80	6.95	5.60	1.35	8.74	21	38.25	27.10	21.90	11.50	12.30	27.20	17.70
R-JGR-F15	H1	1.22	23.92	6.10	5.18	0.92	8.10	20	61.39	69.80	21.00	5.50	1.90	1.70	68.27
R-JGR-F15	H2	0.82	56.68	6.18	5.36	0.82	9.09	16	74.99	71.60	18.70	7.00	1.60	1.10	70.09
R-JGR-F15	H3	0.95	51.80	6.31	5.71	0.60	10.17	16	91.58	47.10	26.10	17.10	7.00	2.70	30.79
R-JGR-F16	H1	0.81	69.54	5.13	4.25	0.88	8.37	36	89.16						
R-JGR-F16	H2	0.50	133.40	5.04	4.36	0.68	9.24	29	98.47						
R-JGR-F16	H3	0.51	131.07	4.98	5.03	-0.05	9.18	18	99.33						
R-JGR-F16	H4	0.40	160.21	5.25	5.22	0.03	8.95	17	99.67						
R-JGR-F16	H5	0.56	119.66	4.85	5.24	-0.39	9.95	16	99.59						
R-JGR-F16	H6	0.58	110.81	4.83	5.25	-0.42	9.95	21	99.60						
R-JGR-F16	H7	0.63	103.81	4.76	5.45	-0.69	10.13	11	99.79						

N° Fosse	H _z	Da	HP (%)	pH eau	pH KCl	Δ pH	pH NaF (2min)	CE (μS/cm)	P. rétention %	Argiles (Avec U-S)	Limons fins (Avec U-S)	Limons grossiers (Avec U-S)	Sables fins (Avec U-S)	Sables grossiers (Avec U-S)	Argiles (sans U-S)
R-JGR-F17	H1	0.54	59.83	4.87	3.73	1.14	8.03	22	96.21						
R-JGR-F17	H2	0.52	95.18	4.95	4.62	0.33	10.13	11	99.30						
R-JGR-F17	H3	0.50	111.98	4.95	5.07	-0.12	10.53	8	99.70						
R-JGR-F17	H4	0.63	89.37	4.93	5.36	-0.43	9.90	14	99.54						
R-JGR-F17	H5	0.72	68.75	4.95	5.51	-0.56	9.95	15	98.92						
R-JGR-F18	H1	0.61	25.23	5.52	4.56	0.96	8.63	58	39.45						
R-JGR-F18	H2	0.57	67.34	5.27	4.28	0.99	7.72	20	40.15						
R-JGR-F18	H3	0.57	67.34	4.80	3.85	0.95	7.85	18	38.95						
R-JGR-F18	H4			4.85	3.97	0.88	8.53	20	93.84						
R-JGR-F18	H5	0.69	76.38	4.86	4.99	-0.13	10.85	11	99.56						
R-JGR-F19	H1	0.74	50.71	5.67	4.93	0.74	10.66	13	99.55						
R-JGR-F19	H3	0.44	121.77	4.85	4.98	-0.13	10.09	14	99.72						
R-JGR-F19	H4	0.72	76.09	4.98	5.34	-0.36	9.52	11	99.40						
R-JGR-F19	H5	0.70	70.48	5.36	5.65	-0.29	9.99	14	98.66						
R-JGR-F20	H1	0.79	67.59	6.11	4.99	1.12	10.24	29	99.10						
R-JGR-F20	H2	0.44	143.39	5.36	5.19	0.17	10.28	17	99.74						
R-JGR-F20	H3	0.49	128.77	4.56	5.25	-0.69	10.09	27	99.70						
R-JGR-F20	H4	0.59	89.09	4.58	5.43	-0.85	9.93	32	99.69						
R-JGR-F20	H5	0.64	73.67	4.57	5.50	-0.93	9.18	35	99.16						
R-JGR-F20	H6	0.78	49.55	4.91	5.51	-0.60	9.48	32	97.64						
R-JGR-F21	H1	1.14	22.74	4.86	4.11	0.75	8.67	21	78.79	46.50	27.70	9.20	7.70	8.90	39.62
R-JGR-F21	H2	0.82	53.30	6.08	5.85	0.23	9.00	33	93.04	56.00	15.20	11.20	14.70	2.80	13.85
R-JGR-F21	H3	0.93	50.45	6.14	6.00	0.14	8.51	20	88.43	66.20	21.70	7.50	3.00	1.60	26.26
R-JGR-F22	H1	1.16	24.84	6.41	5.03	1.38	8.42	13	66.06	51.80	28.20	12.00	3.20	4.80	37.32
R-JGR-F22	H2	0.95	41.39	6.12	5.69	0.43	9.21	20	90.90	62.60	17.60	12.90	5.20	1.70	16.43

N° Fosse	H _z	Limons fins (sans U-S)	Limons grossiers (sans U-S)	Sables fins (sans U-S)	Sables grossiers (sans U-S)	MO %	Corg. %	Ntot. %	C/N	Al éch KCl cmol.kg ⁻¹	H éch KCl cmol.kg ⁻¹	Ca éch cmol.kg ⁻¹	Mg éch cmol.kg ⁻¹	K éch cmol.kg ⁻¹	Na éch cmol.kg ⁻¹
R-JGR-F1	H1					17.41	10.10	6.61	15.28	0.05	0.06	1.00	0.46	0.47	0.05
R-JGR-F1	H2					11.54	6.69	3.68	18.20	0.01	0.01	0.17	0.16	0.12	0.04
R-JGR-F1	H3					11.60	6.73	3.60	18.71	0.01	0.01	0.09	0.09	0.09	0.03
R-JGR-F1	H4					10.53	6.11	3.15	19.37	0.02	0.01	0.10	0.05	0.06	0.04
R-JGR-F1	H5					9.43	5.47	2.83	19.31	0.01	0.01	0.05	0.05	0.15	0.05
R-JGR-F1	H6					4.08	2.37	1.33	17.77	0.01	0.01	0.05	0.04	0.31	0.14
R-JGR-F1	H7					2.08	1.21	0.65	18.63	0.32	0.06	0.20	0.13	0.11	0.47
R-JGR-F2	H1					16.33	9.47	5.67	16.71	0.19	0.10	1.69	0.22	0.30	0.07
R-JGR-F2	H2					14.87	8.62	4.57	18.89	0.08	0.01	0.54	0.08	0.35	0.04
R-JGR-F2	H3					10.12	5.87	3.52	16.70	0.04	0.01	0.35	0.29	0.24	0.03
R-JGR-F2	H4					10.17	5.90	3.12	18.88	0.04	0.01	0.05	0.06	0.16	0.02
R-JGR-F2	H5					8.05	4.67	2.75	16.96	0.06	0.01	0.09	0.05	0.06	0.05
R-JGR-F2	H6					8.68	5.04	2.20	22.87	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04	0.02
R-JGR-F3	H1	27.27	27.83	22.85	10.48	6.70	3.89	3.97	9.78			5.07	1.64	0.33	0.08
R-JGR-F3	H2	4.85	9.76	26.46	58.59	2.51	1.45	1.26	11.56			2.68	0.76	0.07	0.34
R-JGR-F3	H3	9.99	20.54	42.25	20.24	1.51	0.87	0.55	15.84			3.75	0.70	0.04	1.42
R-JGR-F4	H1	24.83	12.87	4.35	9.51	3.96	2.30	1.94	11.86			5.12	3.73	2.00	0.28
R-JGR-F4	H2	25.20	14.12	5.10	6.59	0.80	0.46	0.42	10.88			3.93	3.31	3.98	0.94
R-JGR-F5	H1					19.53	11.33	6.87	16.49			10.59	3.23	0.63	0.15
R-JGR-F5	H2					2.49	1.44	1.02	14.20			1.27	0.79	0.14	0.46
R-JGR-F5	H3					1.11	0.65	0.45	14.40			2.63	2.06	0.30	0.75
R-JGR-F5	H4					1.60	0.93	0.59	15.84			1.41	0.85	0.11	0.22
R-JGR-F6	H1					6.80	3.94	2.93	13.47	1.37	0.75	4.83	2.63	2.00	0.22
R-JGR-F6	H2					1.86	1.08	0.72	15.06	7.51	1.61	1.90	0.96	0.65	0.54
R-JGR-F6	H3					2.19	1.27	0.90	14.19	5.49	1.29	0.91	0.69	0.18	0.49
R-JGR-F6	H4					2.58	1.50	0.95	15.76	2.43	0.73	0.35	0.35	0.11	0.41
R-JGR-F6	H5					3.51	2.04	1.32	15.47	0.47	0.28	0.21	0.17	0.06	0.62
R-JGR-F6	H6					2.95	1.71	1.03	16.59	0.13	0.05	0.20	0.20	0.05	0.66
R-JGR-F6	H7					2.38	1.38	0.88	15.77	0.21	0.13	0.10	0.37	0.10	0.51

N° Fosse	Hz	Limons fins (sans U-S)	Limons grossiers (sans U-S)	Sables fins (sans U-S)	Sables grossiers (sans U-S)	MO %	Corg. %	Ntot. %	C/N	Al éch KCl cmol.kg ⁻¹	H éch KCl cmol.kg ⁻¹	Ca éch cmol.kg ⁻¹	Mg éch cmol.kg ⁻¹	K éch cmol.kg ⁻¹	Na éch cmol.kg ⁻¹
R-JGR-F7	H1	35.94	11.04	6.51	8.19	3.96	2.29	2.10	10.94			7.08	2.40	2.34	0.12
R-JGR-F7	H2	38.40	13.80	4.75	5.58	3.67	2.13	1.99	10.72			9.11	2.55	1.66	0.12
R-JGR-F7	H3	37.98	14.09	4.99	4.94	3.60	2.09	1.97	10.62			8.04	2.53	1.20	0.19
R-JGR-F8	H1	38.36	16.20	5.19	7.29	6.91	4.01	3.49	11.48			28.04	5.62	1.59	0.23
R-JGR-F9	H1	23.21	9.24	6.64	7.34	3.52	2.04	1.60	12.78			14.41	6.18	0.79	0.91
R-JGR-F9	H2	19.30	10.72	11.61	17.71	0.76	0.44	0.36	12.03			15.93	8.36	1.64	1.67
R-JGR-F9	H3	9.10	9.16	14.67	47.25	0.38	0.22	0.22	9.99			15.69	7.80	1.01	2.72
R-JGR-F10	H1	26.47	7.07	5.05	11.33	4.24	2.46	2.41	10.19			13.48	3.67	2.07	0.11
R-JGR-F11	H1					29.27	16.98	15.49	10.96	1.61	0.49	2.05	0.52	0.16	0.06
R-JGR-F11	H2					15.69	9.10	6.06	15.02	0.14	0.04	0.05	0.06	0.07	0.04
R-JGR-F11	H3					8.76	5.08	3.06	16.60	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03
R-JGR-F11	H4														
R-JGR-F12	H1					5.99	3.47	3.19	10.90	0.01	0.06	5.45	1.98	0.47	0.31
R-JGR-F12	H2					1.94	1.13	1.18	9.57	0.01	0.01	5.15	1.29	0.06	0.88
R-JGR-F13	H1	26.89	7.24	3.56	4.66	3.33	1.93	1.77	10.90			15.05	5.55	0.27	0.31
R-JGR-F14	H1	28.39	12.77	7.46	8.45	3.33	1.93	1.64	11.77			5.37	2.18	2.40	0.32
R-JGR-F14	H2	17.61	11.62	13.88	39.20	0.52	0.30	0.23	12.99			5.86	1.74	2.82	0.87
R-JGR-F15	H1	13.66	0.11	13.34	4.62	5.31	3.08	2.69	11.47			7.06	2.77	1.76	0.20
R-JGR-F15	H2	20.90	5.95	1.70	1.36	1.64	0.95	0.69	13.80			5.03	1.14	0.06	1.30
R-JGR-F15	H3	25.13	20.14	14.63	9.31	1.22	0.71	0.48	14.80			4.62	1.07	0.04	1.07
R-JGR-F16	H1					15.99	9.28	6.54	14.19	0.50	0.39	3.00	1.63	0.13	0.07
R-JGR-F16	H2					13.81	8.01	4.89	16.37	0.96	0.40	1.11	0.81	0.08	0.06
R-JGR-F16	H3					10.80	6.26	3.70	16.91	0.09	0.01	0.26	0.28	0.04	0.03
R-JGR-F16	H4					13.00	7.54	3.86	19.51	0.01	0.01	0.09	0.16	0.08	0.04
R-JGR-F16	H5					11.92	6.91	3.72	18.60	0.01	0.01	0.11	0.17	0.04	0.04
R-JGR-F16	H6					11.75	6.82	3.48	19.56	0.03	0.01	0.08	0.11	0.02	0.04
R-JGR-F16	H7					10.40	6.03	3.04	19.85	0.01	0.01	0.07	0.13	0.02	0.03

N° Fosse	Hz	Limons fins (sans U-S)	Limons grossiers (sans U-S)	Sables fins (sans U-S)	Sables grossiers (sans U-S)	MO %	Corg. %	Ntot. %	C/N	Al éch KCl cmol.kg ⁻¹	H éch KCl cmol.kg ⁻¹	Ca éch cmol.kg ⁻¹	Mg éch cmol.kg ⁻¹	K éch cmol.kg ⁻¹	Na éch cmol.kg ⁻¹
R-JGR-F17	H1					24.74	14.35	10.67	13.45	0.39	0.36	1.10	0.82	0.20	0.10
R-JGR-F17	H2					19.64	11.39	6.94	16.40	0.71	0.33	0.29	0.21	0.07	0.04
R-JGR-F17	H3					17.28	10.03	5.82	17.22	0.05	0.01	0.03	0.04	0.04	0.03
R-JGR-F17	H4					7.79	4.52	2.54	17.80	0.01	0.01	0.03	0.05	0.03	0.02
R-JGR-F17	H5					4.41	2.56	1.54	16.60	0.16	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02
R-JGR-F18	H1					9.61	5.58	6.33	8.81	0.19	0.01	4.24	1.99	0.25	0.09
R-JGR-F18	H2					11.48	6.66	6.96	9.57	0.57	0.01	4.43	1.63	0.06	0.06
R-JGR-F18	H3					7.70	4.47	3.72	12.01	1.04	0.21	1.75	0.67	0.04	0.04
R-JGR-F18	H4					17.32	10.04	7.97	12.61	2.98	0.37	2.09	0.97	0.09	0.06
R-JGR-F18	H5					13.60	7.89	4.54	17.36	0.41	0.01	0.05	0.03	0.02	0.02
R-JGR-F19	H1					17.99	10.44	6.95	15.02	0.19	0.01	0.89	0.47	0.13	0.07
R-JGR-F19	H3					14.37	8.33	4.67	17.85	0.22	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03
R-JGR-F19	H4					7.50	4.35	2.33	18.65	0.08	0.01	0.03	0.05	0.03	0.07
R-JGR-F19	H5					3.05	1.77	1.00	17.71	0.10	0.01	0.05	0.05	0.02	0.06
R-JGR-F20	H1					26.09	15.13	12.50	12.11	0.15	0.01	3.97	3.42	1.09	0.09
R-JGR-F20	H2					12.73	7.39	4.34	17.03	0.12	0.01	0.14	0.18	0.35	0.04
R-JGR-F20	H3					9.42	5.47	2.93	18.65	0.11	0.01	0.03	0.13	0.20	0.02
R-JGR-F20	H4					5.69	3.30	1.62	20.33	0.09	0.01	0.02	0.02	0.20	0.02
R-JGR-F20	H5					4.11	2.39	1.25	19.12	0.27	0.01	0.02	0.04	0.21	0.02
R-JGR-F20	H6					2.49	1.44	0.67	21.63	0.11	0.01	0.02	0.02	0.16	0.02
R-JGR-F21	H1	30.14	10.48	9.41	10.35	5.38	3.12	3.00	10.42	1.62	0.51	1.97	1.00	0.98	0.08
R-JGR-F21	H2	14.48	38.88	22.85	9.95	1.92	1.11	0.94	11.83	0.05	0.01	5.11	1.16	0.08	0.80
R-JGR-F21	H3	21.32	43.18	5.53	3.70	1.10	0.64	0.48	13.12	0.03	0.01	5.29	1.09	0.07	0.99
R-JGR-F22	H1	31.50	22.32	3.80	5.05	4.21	2.44	2.47	9.88			7.91	2.33	1.81	0.15
R-JGR-F22	H2	17.90	55.41	6.67	3.59	2.24	1.30	1.17	11.09			5.81	1.31	0.10	0.91

N° Fosse	H _z	Somme cmol.kg ⁻¹	CEC cmol.kg ⁻¹	TS %	Fe (CBD) ‰	Al (CBD) ‰	Si (CBD) ‰	Fe (ox.) ‰	Al (ox.) %	Si (ox.) %	DO	Fe (py.) ‰	Al (py.) ‰	θ à pF 4.2
R-JGR-F1	H1	1.99	51.27	3.88	87.23	44.09	5.15	38.30	70.00	18.74		31.97	23.97	39.0
R-JGR-F1	H2	0.49	51.99	0.94	83.40	47.59	6.71	31.24	77.56	22.20		15.74	14.45	40.1
R-JGR-F1	H3	0.30	56.59	0.52	73.79	48.07	8.15	18.27	76.00	22.28		3.80	10.18	54.9
R-JGR-F1	H4	0.26	50.03	0.52	87.92	48.47	7.12	18.08	74.43	21.39		1.96	8.66	48.5
R-JGR-F1	H5	0.30	48.21	0.62	89.15	44.93	5.27	23.77	72.37	21.72		2.61	7.36	52.3
R-JGR-F1	H6	0.53	27.66	1.91	87.16	41.15	10.63	40.14	35.87	9.41		5.47	7.10	52.2
R-JGR-F1	H7	0.90	21.69	4.15	100.79	20.63	5.43	20.89	13.49	3.13		5.40	4.64	28.4
R-JGR-F2	H1	2.27	57.09	3.98	67.14	37.39	4.69	32.42	69.02	20.89		26.95	20.32	41.50
R-JGR-F2	H2	1.00	67.45	1.48	82.26	47.16	4.87	30.01	78.13	22.86		18.00	16.71	45.50
R-JGR-F2	H3	0.91	55.41	1.65	69.45	39.01	6.47	14.69	71.78	23.65		2.64	8.93	45.10
R-JGR-F2	H4	0.29	54.01	0.54	89.77	48.75	6.35	18.87	73.01	23.85		2.46	9.25	41.10
R-JGR-F2	H5	0.25	52.37	0.47	102.83	45.06	7.75	16.97	68.89	23.46		1.45	7.36	43.20
R-JGR-F2	H6	0.14	54.85	0.26	103.61	53.39	6.85	24.84	71.19	22.45		1.50	7.39	40.50
R-JGR-F3	H1	7.14	26.43	27.00	102.87	28.79	6.90	13.52	13.33	2.93		5.31	5.40	25.10
R-JGR-F3	H2	3.84	20.46	18.78	117.80	34.53	9.38	15.64	16.48	5.40		1.81	2.75	26.60
R-JGR-F3	H3	5.91	23.33	25.33	104.72	20.16	4.23	9.19	7.20	2.27		2.22	1.35	35.20
R-JGR-F4	H1	11.13	22.05	50.49	67.52	7.89	3.92	5.95	4.18	1.32		0.91	1.02	25.10
R-JGR-F4	H2	12.15	27.18	44.71	56.07	6.78	3.53	5.41	4.60	1.35		0.17	0.60	31.10
R-JGR-F5	H1	14.60	50.19	29.09	90.14	30.98	6.99	33.96	30.17	7.41		29.83	17.98	38.80
R-JGR-F5	H2	2.65	40.77	6.49	108.23	33.65	16.18	20.67	29.70	13.82		1.56	3.38	27.30
R-JGR-F5	H3	5.74	21.74	26.38	91.18	14.75	13.12	15.95	13.76	5.60		1.34	2.63	23.40
R-JGR-F5	H4	2.59	35.79	7.23	117.08	38.57	18.88	21.78	53.36	29.47		0.83	3.52	30.80
R-JGR-F6	H1	9.68	41.69	23.21	60.04	11.75	5.32	21.18	10.98	1.96		15.92	8.07	27.70
R-JGR-F6	H2	4.05	40.07	10.10	51.08	10.57	5.61	17.24	9.94	1.75		6.83	5.01	21.60
R-JGR-F6	H3	2.26	26.71	8.46	58.84	12.36	5.55	17.05	10.63	2.10		9.84	7.20	24.20
R-JGR-F6	H4	1.22	28.28	4.30	67.38	20.83	8.68	11.87	15.68	4.41		14.16	15.45	35.40
R-JGR-F6	H5	1.06	35.87	2.94	82.51	27.92	10.77	16.68	23.58	8.91		11.66	9.97	37.40
R-JGR-F6	H6	1.11	25.87	4.28	94.24	32.34	12.07	20.41	26.11	10.68		2.58	4.62	33.40
R-JGR-F6	H7	1.07	23.01	4.65	103.45	26.24	10.73	19.06	19.00	7.61		2.40	3.83	32.30

N° Fosse	H _z	Somme cmol.kg ⁻¹	CEC cmol.kg ⁻¹	TS %	Fe (CBD) ‰	Al (CBD) ‰	Si (CBD) ‰	Fe (ox.) ‰	Al (ox.) %	Si (ox.) %	DO	Fe (py.) ‰	Al (py.) ‰	θ à pF 4.2
R-JGR-F7	H1	11.94	24.63	48.46	78.56	12.54	5.49	11.29	9.18	3.35		1.87	2.01	22.00
R-JGR-F7	H2	13.44	22.65	59.36	77.88	11.56	5.21	10.49	8.07	2.83		1.36	1.68	23.20
R-JGR-F7	H3	11.96	23.74	50.36	76.92	11.88	4.74	10.66	8.59	2.82		1.77	2.09	23.40
R-JGR-F8	H1	35.48	28.74	> 100	55.62	5.14	5.54	6.59	3.95	1.69		0.51	0.68	22.50
R-JGR-F9	H1	22.29	26.09	85.44	58.53	3.96	5.49	3.85	3.15	1.38		0.30	0.56	24.90
R-JGR-F9	H2	27.59	36.25	76.12	65.45	3.99	5.72	6.40	3.93	1.88		0.14	0.47	29.30
R-JGR-F9	H3	27.22	36.45	74.68	51.15	3.90	8.76	5.38	4.28	1.98		0.13	0.47	28.00
R-JGR-F10	H1	19.32	22.66	85.26	61.00	5.26	5.06	5.26	4.23	1.63		0.43	0.79	20.80
R-JGR-F11	H1	2.79	45.65	6.11	62.37	18.41	4.76	25.59	18.03	1.32	1.481	16.46	14.34	43.60
R-JGR-F11	H2	0.22	37.97	0.58	102.61	38.94	5.47	59.96	41.63	7.57	3.342	62.77	30.05	28.90
R-JGR-F11	H3	0.12	44.17	0.27	102.19	45.86	12.14	33.78	61.70	22.56	2.547	13.05	11.41	29.40
R-JGR-F11	H4													
R-JGR-F12	H1	8.20	22.37	36.67	92.78	15.20	3.16	7.22	5.14	1.19		3.08	1.74	29.30
R-JGR-F12	H2	7.38	19.82	37.25	94.68	15.74	3.59	8.10	5.24	1.68		0.64	0.75	35.70
R-JGR-F13	H1	21.18	22.77	93.00	57.72	5.68	5.53	5.53	3.67	1.56		0.40	0.57	18.80
R-JGR-F14	H1	10.27	19.97	51.43	44.70	4.62	3.63	4.11	3.63	1.09		0.53	0.85	21.20
R-JGR-F14	H2	11.29	19.80	57.04	28.56	3.47	4.54	4.21	3.62	1.45		0.18	0.45	21.50
R-JGR-F15	H1	11.79	24.42	48.28	75.93	13.41	3.35	6.67	6.08	1.80		2.78	1.86	28.10
R-JGR-F15	H2	7.52	23.11	32.52	81.80	15.12	3.46	7.06	5.77	1.63		1.86	1.33	32.20
R-JGR-F15	H3	6.80	23.76	28.63	74.85	22.13	8.38	6.16	16.10	7.40		1.24	2.47	28.80
R-JGR-F16	H1	4.83	36.09	13.37	62.14	6.79	3.47	42.29	6.48	1.22		45.00	5.79	30.20
R-JGR-F16	H2	2.06	39.29	5.24	122.28	21.78	2.84	86.18	24.98	3.59		93.32	20.72	26.70
R-JGR-F16	H3	0.61	95.27	0.64	73.71	43.17	8.32	15.63	71.63	23.30		4.30	10.23	45.60
R-JGR-F16	H4	0.36	85.37	0.42	119.81	57.37	6.89	31.58	69.32	19.60		7.46	12.13	46.50
R-JGR-F16	H5	0.35	85.87	0.41	108.52	54.07	7.66	28.36	67.57	19.97		4.79	10.51	33.10
R-JGR-F16	H6	0.25	79.87	0.31	161.26	57.01	6.35	54.82	56.63	13.81		14.00	12.14	48.60
R-JGR-F16	H7	0.24	84.87	0.29	90.13	57.42	7.89	17.41	72.12	22.65		2.91	9.95	43.50

N° Fosse	Hz	Somme cmol.kg ⁻¹	CEC cmol.kg ⁻¹	TS %	Fe (CBD) ‰	Al (CBD) ‰	Si (CBD) ‰	Fe (ox.) ‰	Al (ox.) %	Si (ox.) %	DO	Fe (py.) ‰	Al (py.) ‰	θ à pF 4.2
R-JGR-F17	H1	2.22	85.37	2.60	106.38	8.02	4.26	83.03	6.96	0.64	4.33	85.59	7.56	40.10
R-JGR-F17	H2	0.61	92.77	0.65	127.73	42.63	4.84	66.92	57.83	14.28	9.12	72.51	25.27	34.60
R-JGR-F17	H3	0.13	87.77	0.14	118.21	64.94	6.03	39.55	70.21	16.58	6.64	21.59	22.10	34.60
R-JGR-F17	H4	0.12	39.23	0.30	85.97	45.49	7.90	30.92	63.02	20.42	2.818	1.95	7.82	31.00
R-JGR-F17	H5	0.11	23.05	0.49	119.51	45.82	11.44	24.82	37.80	12.83	0.697	1.87	5.49	20.40
R-JGR-F18	H1	6.57	22.05	29.80	14.35	2.99	6.32	6.15	3.18	0.56	0.211	2.83	1.36	26.20
R-JGR-F18	H2	6.18	37.53	16.46	8.23	1.81	7.00	4.25	1.80	0.22	0.212	2.93	0.99	27.10
R-JGR-F18	H3	2.50	23.02	10.85	12.55	1.59	5.62	10.58	1.56	0.19	1.001	9.65	1.21	25.30
R-JGR-F18	H4	3.20	46.57	6.87	83.93	11.73	3.51	65.83	10.61	1.11	4.36	63.81	10.65	30.60
R-JGR-F18	H5	0.13	55.61	0.22	69.70	47.57	7.31	10.94	70.46	21.98	1.838	7.74	14.01	40.60
R-JGR-F19	H1	1.55	58.01	2.68	80.49	47.41	6.82	28.22	64.04	18.22		20.06	19.97	35.60
R-JGR-F19	H3	0.14	57.25	0.24	87.52	51.28	6.66	25.98	73.57	21.80		13.74	16.47	35.60
R-JGR-F19	H4	0.18	35.67	0.50	103.51	43.28	7.52	49.12	51.72	15.35		3.27	7.12	27.70
R-JGR-F19	H5	0.18	24.25	0.75	115.07	40.48	14.93	24.34	39.18	18.80		1.31	4.38	27.00
R-JGR-F20	H1	8.57	100.57	8.52	84.17	44.71	4.72	37.53	55.62	12.97		29.62	26.14	44.40
R-JGR-F20	H2	0.71	93.67	0.76	97.68	56.70	5.49	26.63	73.18	14.16		10.09	14.33	33.20
R-JGR-F20	H3	0.38	44.81	0.86	109.04	53.92	5.96	49.63	68.46	17.54		4.33	9.15	35.60
R-JGR-F20	H4	0.26	25.71	1.02	84.43	39.22	5.31	45.87	51.56	13.99		1.41	6.61	25.50
R-JGR-F20	H5	0.28	18.68	1.51	94.56	33.66	5.79	36.69	35.03	9.30		1.50	5.44	21.80
R-JGR-F20	H6	0.22	11.57	1.92	97.22	30.71	5.01	31.08	20.50	5.04		1.11	3.93	12.90
R-JGR-F21	H1	4.02	27.06	14.87	84.29	21.25	5.18	13.16	12.93	3.39		6.43	6.18	23.80
R-JGR-F21	H2	7.16	23.92	29.92	97.17	21.16	3.47	10.80	9.29	2.20		3.61	2.51	30.50
R-JGR-F21	H3	7.45	21.76	34.21	93.89	17.00	3.34	9.59	6.99	1.80		2.73	2.53	34.40
R-JGR F22	H1	12.20	27.67	44.09	75.84	13.56	3.51	12.63	8.38	2.35		2.68	2.52	24.90
R-JGR F22	H2	8.12	22.55	36.01	94.35	21.15	3.69	11.48	9.63	2.25		4.92	2.96	30.60