

Fertilité des sols et fertilisation organique – SOLORGA

Diagnostic de fertilité des sols

Adapté au contexte pédoclimatique Guadeloupéen



Rédaction et réalisation : Chloé QUIMEBY (IT2), Benoit HEUGUET (IT2)

Validation : Loïc NORMAND (IT2)

Appui technique : Marc DOREL (Cirad - GECO), Elodie DOREY (Cirad - GECO), Marie SAUVADET (Cirad - GECO), Mathieu COULIS (Cirad - GECO)

Date : 30/12/2022

SOMMAIRE

I. Contexte du projet SOLOGA	2
II. Objectifs du projet SOLOGA	2
III. Principe du diagnostic de fertilité.....	3
IV. Conditions générales de réalisation	4
V. Méthode pour la réalisation du diagnostic	5
VI. Fiches techniques indicateurs	7
VII. Grille d'évaluation des indicateurs	42
VIII. Limites du diagnostic.....	48
IX. Grille de notation terrain	50

I. Contexte du projet SOLORGA

Afin d'assurer la durabilité des systèmes de culture, il est nécessaire d'améliorer et d'entretenir le statut organique des sols par des apports réguliers de matière organique. La gestion de la fertilisation sous forme organique nécessite une connaissance sur l'état de fertilité des sols ainsi que sur le comportement des différents produits apportés et des mécanismes influant sur leur dynamique de minéralisation. Des outils d'aide à la décision nouveaux, adaptés au raisonnement et au pilotage de la fertilisation organique doivent donc être proposés aux agriculteurs, conseillers techniques, techniciens et ingénieurs des organisations professionnelles.

Les partenaires du projet :



II. Objectifs du projet SOLORGA

Plusieurs objectifs ont été fixés dans le cadre du projet SOLORGA. Premièrement, la construction et le transfert d'un référentiel technique sur la méthodologie et les indicateurs de la fertilité des sols. Ce projet comprend également la construction, la réalisation et le transfert d'une méthode de diagnostic de fertilité des sols, adapté à une liste de systèmes de culture cible de la Guadeloupe. Un autre objectif repose sur l'amélioration et le transfert des connaissances quant aux sources et comportement des matières fertilisantes d'origine organique en local. Enfin, la constitution d'un socle scientifique et technique ainsi que l'élaboration de méthodes de raisonnement et d'outils d'aide à la décision pour le pilotage de la fertilisation organique.

III. Principe du diagnostic de fertilité

Le diagnostic de fertilité des sols est basé sur 15 indicateurs de fertilité. Ces indicateurs permettent d'évaluer les trois composantes de fertilité des sols : la fertilité physique, la fertilité chimique et la fertilité biologique. Chacun des indicateurs est décrit par une fiche technique expliquant son intérêt, sa méthode d'évaluation et les résultats obtenus (voir Partie VI). Les résultats obtenus doivent ensuite être convertis en valeurs qualitatives grâce à une grille d'évaluation (voir partie VII). Ces valeurs vont être utilisées afin de renseigner les indicateurs d'entrée de l'outil Excel « **Diagnostic Fertilité des sols®** ». Ce dernier est un outil d'aide à l'évaluation de l'état de fertilité du sol.

Ci-dessous, la liste des indicateurs sélectionnés pour le diagnostic de fertilité des sols (avec test bêche). Ce diagnostic est adapté aux cultures à enracinement superficiel telles que l'ananas ou certaines cultures de maraîchage.

Code d'identification	Indicateurs évalués	Code d'identification	Indicateurs évalués
i1	Résistance à la pénétration	i9	Pierrosité
i2	Etat structural des mottes	i10	Statut acido-basique du sol
i3	Qualité d'enracinement	i11	Texture
i4	Etat structural des agrégats	i12	Taux de MO du sol
i5	Hydromorphie	i13	Etat sanitaire des racines
i6	Vitesse d'infiltration de l'eau	i14	Présence de mousse et d'algues
i7	Pente	i15	C/N du sol
i8	Teneur en éléments nutritifs majeurs		

Un autre format de diagnostic a été réalisé pour les cultures à enracinement plus profond. Les indicateurs utilisés pour ce diagnostic sont inscrits dans le tableau ci-dessous.

Code d'identification	Indicateurs évalués	Code d'identification	Indicateurs évalués
i1	Résistance à la pénétration	i6	Statut acido-basique du sol
i2	Vitesse d'infiltration de l'eau	i7	Texture
i3	Pente	i8	Taux de MO du sol
i4	Teneur en éléments nutritifs majeurs	i9	Etat sanitaire des racines
i5	Pierrosité	i10	Présence de mousse et d'algues

Les codes d'identification utilisés dans les pages suivantes seront les codes inscrits dans le premier tableau, qui correspond à la liste des indicateurs du diagnostic de fertilité (avec test bêche) adapté aux cultures à enracinement superficiel.

IV. Conditions générales de réalisation

Ce diagnostic est adapté aux contextes pédoclimatiques Guadeloupéens. Il est réalisable durant la culture en cours, en début de culture ou en fin de culture.

Les indicateurs tels que la teneur en éléments nutritifs majeurs (i8), le taux de MO (i12) du sol, le C/N du sol (i15), le statut acido-basique (i10) sont déterminés par une analyse de sol. Les analyses de sols sont réalisées par des prestataires qui proposent un service de prélèvements d'échantillons de sol, d'envoi pour analyse, d'interprétation des résultats et de conseil en fertilisation. Un délai de plusieurs semaines est donc à prévoir pour obtenir les résultats de ces analyses.

Dans le cas des autres indicateurs évalués, il est préférable de réaliser les mesures hors périodes climatiques « extrêmes » (forte sécheresse ou fortes pluies). Idéalement, ce diagnostic devrait être réalisé en sol humide et ressuyé (état frais, ni trop sec, ni saturé en eau), c'est-à-dire 3 à 5 jours après une pluie.

À 1 ou 2 opérateurs, 1h30 en moyenne sont à prévoir pour mesurer la résistance à la pénétration (i1), la vitesse d'infiltration de l'eau (i6), la présence de mousse et algues (i14), la pente (i7), la texture (i11), la pierrosité (i9).

Dans le cas des cultures à enracinement superficiel, ananas ou certaines cultures de maraîchage, un test bêche peut être réalisé dans une zone homogène et représentative de la parcelle afin d'évaluer l'état structural des mottes (i2), l'état structural des agrégats (i4), l'hydromorphie (i5), la qualité de l'enracinement (i3), l'état sanitaire des racines (i13). Ce test bêche dure en moyenne 30 min.

Au total, à 1 ou 2 opérateurs, une durée moyenne de 2h est à prévoir pour les mesures terrains des indicateurs (test bêche compris). Le diagnostic pourra être réalisé plus rapidement avec l'expérience.

Il est important de nettoyer le matériel à la fin de chaque intervention afin d'éviter les contaminations entre exploitations.

V. Méthode pour la réalisation du diagnostic

Avant de réaliser le diagnostic, il est important d'avoir une approche globale de l'exploitation qui sera diagnostiquée. Pour cela, échanger avec l'agriculteur est nécessaire. L'objectif est d'obtenir les informations suivantes :

- Contexte pédoclimatique de l'exploitation,
- Description de l'exploitation et des systèmes de culture,
- Caractéristiques du parcellaire,
- Caractéristiques de la parcelle diagnostiquée : culture en place, rotation culturale, itinéraire technique détaillé suivi (notamment au niveau des opérations de travail du sol et de la gestion de la fertilisation).

Ensuite, afin de réaliser le diagnostic de fertilité des sols sur l'exploitation, il est nécessaire d'évaluer les différents indicateurs de fertilité (voir partie IV pour les conditions). Les fiches techniques expliquant la démarche à suivre pour chacun des indicateurs sont disponibles dans la partie VI. Une grille de notation est disponible afin de faciliter l'enregistrement des mesures prises sur le terrain (voir partie IX).

Une fois les indicateurs évalués, les résultats doivent être relevés. Une grille d'évaluation des indicateurs est disponible en partie VII, afin d'interpréter les résultats et de les convertir en classes qualitatives. Chaque classe sera par la suite introduite dans l'outil Excel « **Diagnostic fertilité des sols®** » qui permet l'évaluation de l'état de fertilité du sol du système étudié.

Connaitre le type de sol de l'exploitation :

Les cartes pédologiques de la Guadeloupe sont disponibles sur le site Sphaera (Service cartographie de l'IRD), au [lien suivant](#).

La légende des cartes pédologiques Guadeloupe et Martinique est réunies sur une notice disponible au [lien suivant](#) (Numéro Sphaera : 16210, Nom du document : Carte des sols des Antilles à 1/20 000e - Guadeloupe - Martinique (légende)).

Une carte simplifiée des types de sols de la Guadeloupe est disponible dans la publication de Jorge Sierra et Lucienne Desfontaines (2018) « Les sols de la Guadeloupe » (Téléchargeable sur le site HAL au [lien suivant](#)).

Références de Taux de MO pour les principaux types de sol cultivés en Guadeloupe :

Tableau réalisé à dire d'expert, certains sols sont absents du tableau pour cause de références non disponibles.

Principaux types de sols cultivés	Type de sols détaillés	Code d'identification sur la carte pédologique				Taux de MO optimal pour un fertilisation organique					
Andosols	Sols bruns andiques	T ^v a		T ^s a		> 7					
	Andosols	T ^v b		T ^s b		> 9					
		T ^v c		T ^s c							
		T ^v d		T ^s d							
	Andosols perhydratés	T ^v e		T ^s e		> 11					
		T ^v f		T ^s f							
Nitrisols	Nitrisols – sols brun Rouille à halloysite	H ^v a		H ^d a		H ^v a	> 4				
		H ^v b		H ^d b				H ^v b			
		H ^v c		H ^d c					H ^v c		
		H ^v bw		H ^d d						H ^v f	
											H ^v n
Ferralitiques	Sols ferralitiques à kaolinique, halloysite, geothite, gibbsite	Fa		F ^h a		> 4					
		Fb		F ^h b							
		Fc		F ^h c							
Vertisols et sols vertiques	Sols vertiques courts (20 – 40 cm) et squelettiques (superficiels) (20cm) <i>p : profond , m : moyen , c : court , s : squelettique , h : hydromorphie</i>	Vc	C	CT	S	> 6					
		Vs	c	ct	ST						
			Cc	CS							
				cs							
	Vertisols profond (80 – 100cm) à moyennement profonds (40 – 70cm) <i>p : profond , m : moyen , c : court , s : squelettique , h : hydromorphie</i>	Vp	P	PH	M	> 5					
		Vm	p	P/H	m						
			Pp	PKH	Mm						
				P/KH							
Ferralitiques	Subdivisions en régions très humides de montagne	Z				Pas de références					
	Sols ferralitiques à kaolinique, halloysite, geothite	E (indice a, b, c, d, e, f, h, s, t)				Pas de références					
Intergrades	Sols voisins des ferrisols, Sols en transition avec les vertisols	K (indice i, j, l, t, u)				Pas de références					
Sols d'accumulation – Alluvions et colluvions	Colluvions, accumulation par transport (précédent F)	B				Pas de références, trop de variabilité					
	Alluvions marines	D									
	Alluvions	A (indice a, b, c, d, e, f, v)									

VI. Fiches techniques indicateurs

Résistance à la pénétration.....	8
Etat structural des mottes.....	12
Qualité d'enracinement.....	18
Etat structural des agrégats.....	12
Hydromorphie.....	21
Vitesse d'infiltration de l'eau.....	23
Pente.....	25
Prélèvements pour analyse de sol.....	26
Teneur en éléments nutritifs majeurs.....	28
Pierrosité.....	30
Statut acido-basique du sol.....	34
Texture.....	30
Taux de MO du sol.....	37
Etat sanitaire des racines.....	18
Présence de mousse et d'algues.....	39
C/N du sol.....	40

Résistance à la pénétration d'une couche

8

Description et intérêts de l'indicateur

Le tassement ou compaction du sol est un phénomène physique de déformation des couches de sol plus ou moins en profondeur. La compaction résulte souvent d'une pression exercée par un « objet » sur le sol. Il est principalement dû aux passages répétés d'engins agricoles, aux travaux réalisés en mauvaises conditions, ou au piétinement de cheptels.

La résistance à la pénétration d'une couche permet d'évaluer de manière empirique le degré et la profondeur de compaction d'un sol. Cet indicateur permet de déterminer les couches risquant d'être limitantes à la colonisation du sol par les racines.

Principe du protocole

La résistance à la pénétration d'une couche peut être évaluée de manière empirique par un test de pénétration au couteau lors d'un profil cultural ou avec à un pénétromètre.



Matériel

Matériel nécessaire pour le test au pénétromètre :
Pénétromètre avec manomètre, mètre.

Matériel nécessaire pour le test au couteau :
Couteau, mètre.

Condition et échantillonnage

Conditions : Le sol doit être frais (ni trop sec, ni trop humide) pour permettre une bonne interprétation agronomique de la compaction du sol.

Durée : La durée moyenne pour effectuer les tests au pénétromètre est de 10 min pour 3 mesures. La durée moyenne pour effectuer les tests au couteau est de 5 min (hors de la durée pour creuser le trou ou la fosse).

Pénétrromètre :

- Choisir une pointe et la visser au bout du pénétrromètre (petite pointe pour les sols argileux et grosse pointe pour les sols sableux. Il est conseillé de commencer avec la petite pointe si l'on ne connaît pas la texture de son sol).
- Dévisser l'écrou papillon localisé au niveau du collier noir et baisser celui-ci de 15-20 cm.
- Enfoncer le pénétrromètre dans le sol en assurant une **vitesse lente et constante** (la force exercée peut varier, mais la vitesse doit rester la plus constante possible).
- Identifier les différents paliers de résistance grâce au manomètre (code couleur inscrit dessus, lire l'échelle du bas pour la petite pointe (small tip), lire l'échelle du haut pour la grosse pointe (large tip)).
- Relever la profondeur à chaque changement de paliers.
- Répéter les opérations sur au moins 3 différentes zones de la parcelle, espacées d'au moins 15m, sur une diagonale. Idéalement, au moins 6-7 mesures devraient être effectuées.

Remarque : avant de tester le pénétrromètre sur la parcelle, il peut être avantageux de tester le pénétrromètre sur une zone proche de la parcelle, non soumise au travail du sol et aux passages d'engins agricoles. Les résultats obtenus sur cette zone peuvent servir de référence de comparaison aux résultats de la parcelle.

Test du couteau :

- Enfoncer un couteau dans les différentes couches identifiées dans le profil de sol ou le test bêche, et estimer la résistance à la pénétration de ces couches (voir résultats).

Résultats et interprétation

Pénétrromètre :

Résultats du pénétrromètre	Vert	Jaune	Rouge
	0 – 200 psi	200 – 300 psi	> 300 psi
Compaction du sol	Faible	Moyenne	Elevée
Conditions de développement racinaire	Bonnes conditions	Conditions moyennes	Conditions limitantes

Test du couteau :

Type de compaction	Test du couteau	Signification sur la fertilité agronomique
Faible	Meuble	Le couteau pénètre facilement. Le matériau n'est pas cohérent.
	Peu compact	Risque de sol trop creux, mal rattaché, avec des racines velues qui adhèrent mal au sol.
Moyenne	Un léger effort est nécessaire pour enfoncer le couteau jusqu'à la garde.	Compacité faible, normale. Bonne pénétration des racines. Sol peu portant sauf s'il y a une bonne structuration biologique.
	Un effort important est nécessaire pour enfoncer le couteau jusqu'à la garde.	Bonne pénétration des racines si le sol est poreux. Sol portant.
Elevée	Compact	Sol trop compact. Les racines vont pénétrer plus difficilement dans le sol. L'eau percole plus lentement. Risque d'hydromorphie.
	Très compact	Horizon très compact empêchant l'eau et les racines de pénétrer. Excès d'eau/sécheresse selon la période climatique

Remarque : il y a souvent confusion entre les adjectifs « massif » et « compact ». Un horizon massif, qui présente donc une structure continue (pas d'agréats), peut n'opposer qu'une faible résistance à la pénétration des outils.

Pour cet indicateur, un onglet « aide au calcul » est disponible dans l'outil Excel « Diagnostic fertilité des sols® ». L'onglet prend en entrée les résultats obtenus sur le terrain et calcul automatiquement le niveau de contrainte associé. La méthode de calcul utilisée dans l'outil Excel est détaillée dans les deux pages suivantes.

Interprétation :

Pour cet indicateur, le sol est séparé en 3 niveaux (en surface 0-40 cm, intermédiaire 40-60 cm, en profondeur 60-80 cm). Afin de déterminer la compaction pour chacun des niveaux, il est nécessaire d'effectuer une estimation moyenne de cette compaction à l'aide des résultats obtenus avec le pénétromètre ou le couteau.

Niveau de sols selon la profondeur	Formules de Calcul	Compaction par niveau de sol
Niveau en surface (0 - 40 cm)	%vert = (épaisseur couche verte en cm) / 40cm) * 100	Si %vert ≥ 75% alors la compaction est faible .
	%jaune = (épaisseur couche jaune en cm) / 40cm) * 100	Si %jaune ≥ 50% alors la compaction est moyenne .
	%rouge = (épaisseur couche rouge en cm) / 40cm) * 100	Si %rouge = [25% ; 50%[alors la compaction est moyenne .
		Si %rouge ≥ 50% alors la compaction est élevée .
		Dans les autres cas, la compaction est moyenne .
Niveau intermédiaire (40 – 60 cm)	%vert = (épaisseur couche verte en cm) / 20cm) * 100	Si %vert ≥ 75% alors la compaction est faible .
	%jaune = (épaisseur couche jaune en cm) / 20cm) * 100	Si %jaune ≥ 50% alors la compaction est moyenne .
	%rouge = (ép. couche rouge en cm) / 20cm) * 100	Si %rouge = [25% ; 50%[alors la compaction est moyenne .
		Si %rouge ≥ 50% alors la compaction est élevée .
		Dans les autres cas, la compaction est moyenne .
Niveau en profondeur (60 – 80 cm)	%vert = (épaisseur couche verte en cm) / 20cm) * 100	Si %vert ≥ 75% alors la compaction est faible .
	%jaune = (épaisseur couche jaune en cm) / 20cm) * 100	Si %jaune ≥ 50% alors la compaction est moyenne .
	%rouge = (épaisseur couche rouge en cm) / 20cm) * 100	Si %rouge = [25% ; 50%[alors la compaction est moyenne .
		Si %rouge ≥ 50% alors la compaction est élevée .
		Dans les autres cas, la compaction est moyenne .

Exemple : On souhaite évaluer la compaction du sol. Le pénétromètre a permis d'obtenir les résultats suivants :

- I. Vert : 0 – 30 cm
- II. Jaune : 30 – 45 cm
- III. Rouge : 45 – 55 cm
- IV. Jaune : 55 – 80 cm

La première étape est de déterminer la compaction moyenne par niveaux de profondeur du sol.

Niveau de sol selon la profondeur	Calcul	Compaction par niveau de sol
Niveau en surface (0 - 40 cm)	%vert = 30/40 * 100 = 75% %jaune = 10/40 * 100 = 25% %rouge = 0/40 * 100 = 0%	Comme %vert = 75% alors la compaction en surface (0-40cm) est faible (vert).
Niveau intermédiaire (40 – 60 cm)	%vert = 0/20 * 100 = 0% %jaune = (5+5) / 20 * 100 = 50% %rouge = 10/20 * 100 = 50%	Comme %rouge = 50% alors la compaction intermédiaire (40-60cm) est élevée (rouge).
Niveau en profondeur (60 – 80 cm)	%vert = 0/20 * 100 = 0% %jaune = 20/20 * 100 = 100% %rouge = 0/20 * 100 = 0%	Si %jaune = 100% alors la compaction en profondeur (60-80cm) est moyenne (jaune).

Résultats et interprétation

La contrainte liée à la compaction d'une couche est à adapter selon la profondeur d'enracinement réelle de la culture observée sur le terrain.

Afin de renseigner l'indicateur final, il est nécessaire de choisir la plus grosse contrainte (c'est-à-dire la contrainte la plus élevée) sur la colonne correspondant à la profondeur d'enracinement de la culture.

Profondeur d'enracinement		Enracinement superficiel (0 - 40 cm)	Enracinement moyen (40 - 60 cm)	Enracinement profond (60 - 80 cm)
		Maraîchage vert (20-30cm) Ananas (30 - 40cm) Cucurbitacées (30-40cm) Pois (30-40cm)	Solanacées (40-50cm)	Agrumes Bananes (60-80cm) Cannes (60-80cm)
Compaction en surface (0 - 40 cm)	Compaction faible	Non contraignant	Non contraignant	Non contraignant
	Compaction moyenne	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant
	Compaction élevée	Très contraignant	Très contraignant	Très contraignant
Compaction à niveau intermédiaire (40 - 60 cm)	Compaction faible	Non contraignant	Non contraignant	Non contraignant
	Compaction moyenne	Non contraignant	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant
	Compaction élevée	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant	Très contraignant
Compaction en profondeur (60 - 80 cm)	Compaction faible	Non contraignant	Non contraignant	Non contraignant
	Compaction moyenne	Non contraignant	Non contraignant	Moyennement contraignant
	Compaction élevée	Non contraignant	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant

Exemple : selon l'exemple précédent, la compaction est faible (vert) en surface, élevée (rouge) à un niveau intermédiaire et moyenne (jaune) en profondeur.

Pour une culture d'ananas, un niveau de compaction élevé entre 40 et 60 cm est moyennement contraignant. Dans cette situation, c'est la contrainte la plus élevée dans la colonne correspondant à l'ananas, la classe « Moyennement contraignant » qui sera donc renseignée pour cet indicateur. Cependant, pour une culture de banane, un niveau de compaction élevé entre 40 et 60 cm étant très contraignant, la classe « Très contraignant » sera renseignée pour cet indicateur.

Références bibliographiques :

Delaunoy, A., Y. Ferrie, M. Bouche, C. Colin, et C. Rionde. 2013. « Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols - destiné aux agriculteurs et aux agronomes ». Guide technique. Chambre d'agriculture du Tam et INRA de Montpellier. 39 p.

Leneveu, J. 2017. « Étude de la compaction des sols et adaptation des pratiques culturales au Château Pédésclaux ». Mémoire de fin d'études. MontpellierSupAgro, AgroParisTech. 88 p.

Tsague, G.E. 2021. « La compaction des sols : Les causes et les solutions ». Fiche technique. 5 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoit HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



Etat structural du sol : horizons, mottes, agrégats

12

Description et intérêts de l'indicateur

La structure correspond à l'architecture du sol, au mode d'agencement de ses composants (particules minérales, matières organiques). L'évaluation de l'état structural correspond à un test simple et très visuel qui permet d'acquérir des informations qualitatives (porosité, résistance à la rupture...).

La structure du sol traduit son mode de fonctionnement et détermine une part de ses qualités agronomiques (circulation de l'air et de l'eau, développement racinaire, ...).

Principe du protocole

L'évaluation de l'état structural du sol peut être réalisée simplement avec la méthode du « Test Bêche » ou lors d'un profil cultural.



Matériel

Profil :

- Mini pelle mécanique ou Bêche,
- Pioche à main,
- Couteau,
- Bâche,
- Mètre pliant,
- Balayette,
- Piquets,
- Etiquettes.

Test Bêche :

- Bêche,
- Bâche.

Condition et échantillonnage

Conditions : L'idéal est un sol humide ressuyé (si trop sec : impossible de creuser ; si gorgé d'eau : observation impossible). Le profil / test bêche est fait sur une zone homogène représentative de la parcelle. Au minimum faire 3 à 4 observations par zone homogène pour le test Bêche.

Durée : La durée moyenne pour l'étude de la structure des horizons est de 10 min (hors durée pour creuser le trou ou la fosse).

Protocole

Méthode Profil Cultural :

Etape 1 – Réalisation de la fosse

- Sélectionner une zone représentative de la parcelle ou d'un îlot de parcelles homogènes.
- Définir les dimensions (longueur = 4-6 m ; largeur = 1 m ; profondeur = 1,2 m) et l'orientation de la fosse (perpendiculaire au travail du sol et à la ligne de plantation).
- Choisir la face d'observation pour la préserver de tout compactage ou piétinement.
- Creuser la fosse à l'aide d'une mini pelle, ou manuellement avec une pioche et une bêche.
- Dégager la surface du profil à l'aide de la pioche à main et du couteau.
- Identifier les horizons du profil à l'aide du couteau, des piquets et des étiquettes.

Etape 2 – Observation de la surface du sol

- Estimer le recouvrement et l'épaisseur de la croute de battance si elle est présente.
- Observer les mottes de surface (forme et taille).

Etape 3 – Prélèvement des mottes

- Identifier les horizons du profil.
- Pour chaque horizon, prélever des mottes au couteau et les placer sur la bâche.
- Observer pour chaque horizon :
 - Le mode d'assemblage (O, B, C).
 - Les types de mottes et leur proportions (Gamma, Phi, Delta).
 - Les types d'agrégats (ronds, arrondis, anguleux). Pour observer les agrégats, désagréger les mottes à la main ou en la lâchant de 30cm sur la bâche.

Méthode Test Bêche :

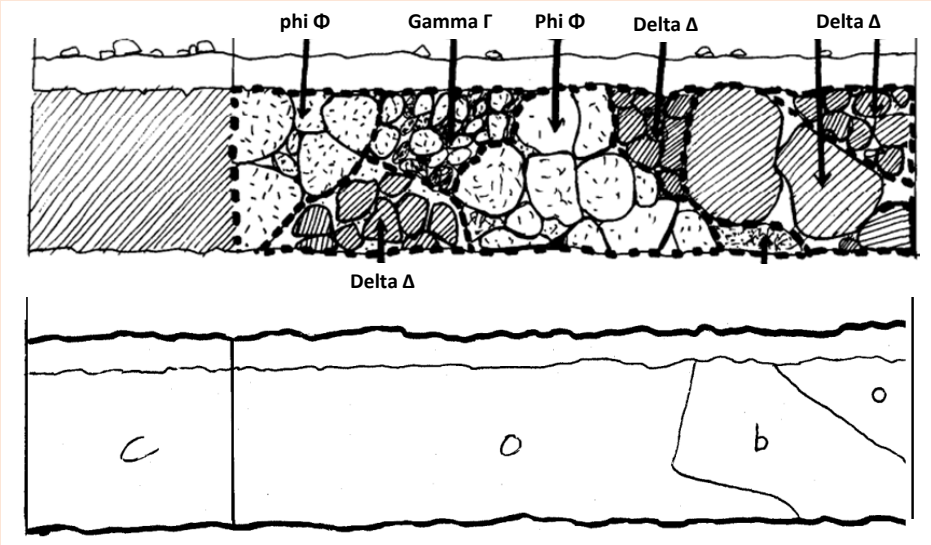
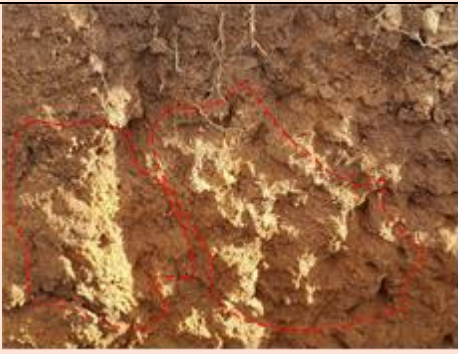
Etape 1 – Observation de la surface du sol (30x30cm)

- Estimer le recouvrement et l'épaisseur de la croute de battance si elle est présente.
- Observation des mottes de surface (forme et taille).

Etape 2 – Prélèvement des mottes

- Prélever un volume de sol (longueur = 30 cm ; largeur = 30 cm ; profondeur = 40 cm). Conseil : réaliser une prétranchée d'une largeur de bêche afin de faciliter le dégagement du bloc.
- Observer pour chaque sous-bloc (voir résultats) :
 - Le mode d'assemblage (O, B, C).
 - Les types de mottes et leur proportions (Gamma, Phi, Delta).
 - Les types d'agrégats (ronds, arrondis, anguleux). Pour observer les agrégats, désagréger les mottes à la main ou en la lâchant de 30cm sur la bâche.

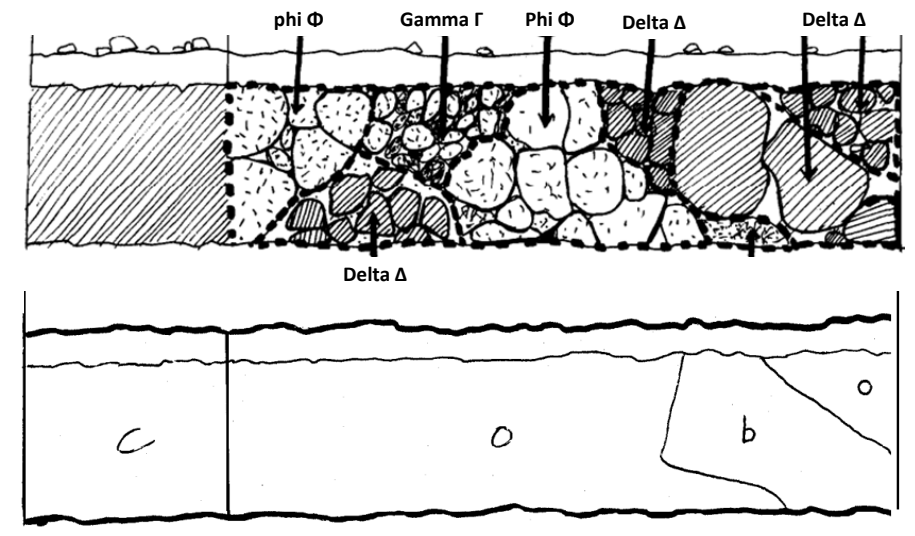
- Etat structural des horizons : Regroupement et mode d'assemblage

Continue C	Eléments structuraux difficilement discernables, aspect massif et peu poreux de la couche.		
Bloc B	Eléments structuraux massifs mais discernables, séparés par des fissures, cavités (ex : grosses mottes apparentes dans la couche).		
Ouvert O	Eléments structuraux discernables, facilement fragmentables ou seuls et fragmentaires, porosité importante (fissures, cavités, galeries, etc.).		

Résultats et interprétation

15

• Etat structural des mottes

Motte Delta Δ	Motte à aspect continu, massive, très peu de porosité/cavité/fissure.		
Motte Phi Φ	Motte à aspect plus ou moins massif avec de la porosité/fissure/cavité. Cette porosité peut être due à des facteurs abiotiques (température, pluviométrie) et/ou à des facteurs biotiques (racines, faune du sol comme des galeries de fourmis ou vers de terre).		
Motte Gamma Γ	Motte à aspect rugueux/grumeleux, poreuse, se désagrègeant en agrégats.		

- Etat structural des agrégats

Agrégats anguleux	Durs avec des angles vifs, surface lisse, pas de pores visibles.		(FAO)
Agrégats grumeleux	Agrégats rugueux, à bords arrondis et très poreux.		(FAO)
Micro-agrégats	Agrégats très petits (ordre du millimètre), pouvant être confondus avec la terre fine.		(dreamstime.com)
Terre fine	Terre (particules minérales) non structurée en agrégats. (Attention : ne pas confondre avec les micro-agrégats)		(dreamstime.com)

Résultats et interprétation

- Etat structural des horizons : Regroupement et mode d'assemblage**

Continue C	Horizon avec une porosité apparente faible.
Bloc B	Présence de fissures, cavités entre les mottes, porosité apparente partielle souvent générée par un travail.
Ouvert O	Horizon poreux, structuré, permettant la circulation d'eau et d'air, non limitant au développement racinaire et à l'activité biologique.

- Etat structural des mottes**

Motte delta Δ	Mottes denses, peu poreuses, limitantes pour la circulation des fluides, l'activité biologique et la colonisation racinaire. Elles indiquent un tassement du sol.
Motte phi Φ	Mottes à aspect massif et dense. Une porosité (galeries, fissures, etc.) est tout de même présente. Elle peut être due à des facteurs abiotiques (température, pluviométrie) et/ou à des facteurs biotiques (racines, faune du sol (ex : galeries de fourmis ou vers de terre)). Le tassement présent est donc limité / réduit par cette porosité.
Motte gamma Γ	Mottes à aspect rugueux/grumeleux, poreuses, se désagrégeant en agrégats. Non limitantes au développement racinaire et à l'activité microbienne avec une bonne circulation des fluides.

- Etat structural des agrégats**

Anguleux	Structuration agrégats par la fissuration des argiles et des limons. Indicateur d'un phénomène de tassement et d'une possible compaction limitante.
Grumeleux	Ils indiquent une bonne structuration du sol. Ces agrégats sont dus à des phénomènes physiques et biologiques (exsudats racinaire, fèces des lombriciens, colles organiques issues de l'activité des microorganismes).
Micro-agrégats	Agrégats millimétriques formés grâce à l'activité des microorganismes vivants dans le sol.
Terre fine	Absence de structuration du sol, sensible au tassement, à la compaction et à l'érosion.

Références bibliographiques :

Gautronneau, Y. et H. Manichon. 1987. « Guide méthodique du profil cultural ». Guide technique. ISARA, INAPG. 62 p.

Delaunois, A., Y. Ferrie, M. Bouche, C. Colin, et C. Rionde. 2008. « Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols destinés aux agriculteurs et aux agronomes ». Guide technique. Chambre d'Agriculture Tarn, INRAE Montpellier. 37 p.

Interbio Franche-Comté. s.d. « Comprendre les sols agricoles ». Guide d'évaluation. Interbio Franche-Comté, Agence Française pour la Biodiversité. 34 p.

Peigné, J., F. Loridat, A. Cadillon et A. Coulombel, L. Fourrié. s.d. « Observer la structure du sol ». Fiche technique. ISARA Lyon, ITAB.

Guimarães, R. M. L., B. C. Ball, et C. A. Tormena. 2013. Adapté de Baize, D., P. Boivin, H. Boizard, F. Füllemann, K. Gondret, A. Johannes, F. Lamy, S. Leopizzi. 2011. « Improvements in the Visual Evaluation of Soil Structure ». *Soil Use and Management* 27 (3) : pp. 395-403.

Rédacteurs : Chloé QUIMBY, Benoit HEUGUET
Relecteur : Loïc NORMAND
Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical
Projet : projet SOLORGA
Date : 06/09/2022



Qualité D'enracinement

18

Description et intérêts de l'indicateur

Le système racinaire assure de multiples fonctions telles que l'approvisionnement de la plante en eau et en éléments nutritifs, le maintien de la structure du sol, l'entretien de son compartiment organique, ou encore la réduction des risques d'érosion.

L'étude du développement racinaire est un indicateur de fertilité du sol, et plus précisément de la structure du sol. Cet indicateur permet de mettre en évidence les zones creuses ou cavités, ainsi que les zones compactées, limitantes au développement racinaire. L'état sanitaire des racines est un indicateur de la présence de bioagresseurs dans le sol (champignons, bactéries ou autres organismes étant néfastes pour la plante) et par conséquent d'un éventuel déséquilibre biologique.

Principe du protocole

L'étude du développement racinaire est évaluée lors d'un profil cultural (ou d'un test bêche qui suffira pour les cultures à enrachement superficiel). Cette évaluation repose sur des observations visuelles. L'évaluation de l'état sanitaire des racines peut également se faire lors d'un profil cultural ou d'un test bêche. Pour ce faire, nous apprécierons respectivement l'organisation spatiale et l'apparence externe et interne des racines.



Matériel

- Matériel nécessaire à la mise en place d'un profil cultural ou d'un test bêche
- 1 couteau,
- 1 mètre pliant,
- Grille d'observation 1mx20cm (pour profil cultural)

Remarques : Si l'observation de la colonisation racinaire est effectuée sur un test bêche, la profondeur maximale des racines peut être difficilement mesurable.

Condition et échantillonnage

Conditions : Il n'y a pas de conditions particulières pour l'évaluation de cet indicateur. Les conditions qui seront suivies seront donc les conditions du profil cultural ou du test bêche.

Durée : La durée moyenne pour l'étude de la colonisation racinaire est de 5 min d'observation (hors de la durée pour creuser le trou ou la fosse).

Profondeur d'enracinement :

Relever la profondeur maximale de l'enracinement avec le mètre pliant.

Conformation des racines et profondeur d'enracinement :

Observer la conformation des racines à la surface du profil étudié.

Répartition spatiale des racines :

- Placer la grille d'observation sur la surface du profil.
- Estimer le pourcentage de racines présent dans chacune des couches du profil.

Etat sanitaire des racines :

- Sélectionner 6 racines au hasard,
- Observer l'extérieur des racines,
- Prélever des racines,
- Effectuer une coupe longitudinale au couteau,
- Observer l'intérieur des racines coupées,
- Relever l'état sanitaire des 6 racines.

Résultats et interprétation

Tableau : Profondeur d'enracinement moyenne par culture

Profondeur d'enracinement moyenne	Enracinement superficiel (< 40 cm)	Enracinement moyen (40 – 60 cm)	Enracinement profond (> 60 cm)
	Maraîchage vert (20-30 cm) Ananas (30 – 40 cm) Cucurbitacées (30-40 cm) Pois (30-40 cm)	Solanacées (40-50 cm)	Agrumes Bananes (60-80 cm) Cannes (60-80 cm)

Maraîchage vert : laitue, chou, basilic, menthe, persil, thym, romarin.

Solanacées : tomates, aubergine, poivron, piment

Profondeur et répartition spatiale des racines :

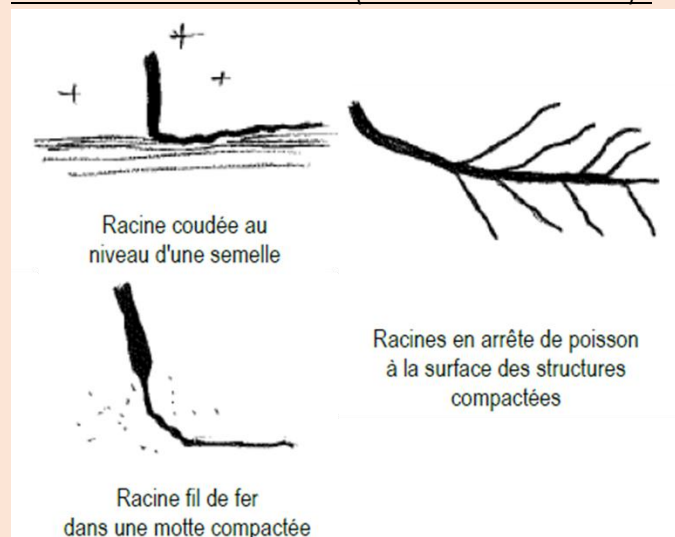
Les racines ont un développement limité dans les zones compactes. De même, elles ne descendront pas profondément dans le sol si cela n'est pas nécessaire ou si elles sont entravées par une zone dite limitante (compacte, anoxique, ...). Les racines peuvent également privilégier l'utilisation de chemins préexistants tels que les galeries de vers de terre, fissures entre les mottes, fentes de retrait, etc.

La répartition spatiale des racines permet également d'identifier les zones les plus riches en éléments nutritifs.

Etat sanitaire des racines :

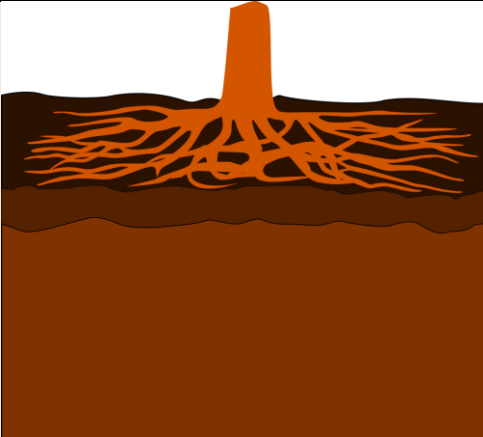
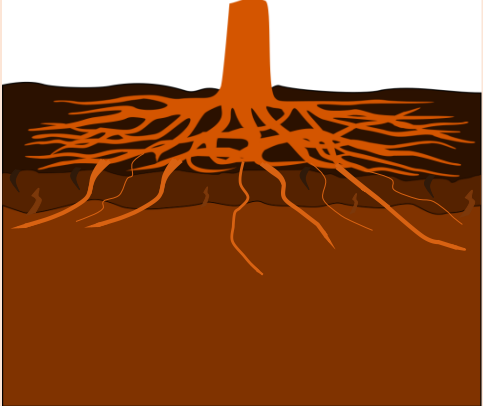
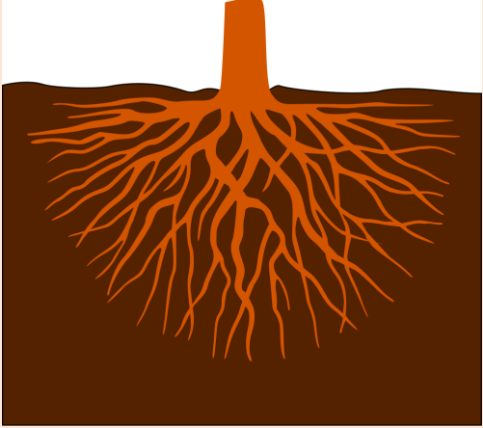
L'état sanitaire des racines peut être un indicateur de la présence de bioagresseurs ou de mauvaises conditions de développement (asphyxie, ...). L'évaluation de l'état sanitaire des racines nécessite une expertise dans la reconnaissance des symptômes/dégâts causés par les bioagresseurs sur les racines.

Conformation des racines (Delaunois et al. 2013) :



Dans le profil cultural, nous pouvons identifier trois situations de développement racinaire. Elles sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Tableau : Description des situations possibles de colonisation racinaire dans un profil cultural

Qualité de l'enracinement dans le profil	Description de la colonisation racinaire dans le profil cultural	Illustration
Profil limitant	- Présence d'un horizon limitant au développement racinaire. - Système racinaire bloqué par cet horizon limitant, profondeur moyenne d'enracinement de la culture non atteint. - Présence de racines de conformation anormale (coudées, en arête de poisson, en fil de fer) et surtout de racines développées à l'horizontale.	
Profil contraignant	- Présence d'un horizon contraignant. - Système racinaire développé mais partiellement contraint, quelques racines traversant tout de même cet horizon contraignant. - Quelques racines de conformation anormale peuvent être observées.	
Profil favorable	- Absence d'horizon limitant, limites entre horizons difficiles à différencier. - Système racinaire développé dans l'ensemble de son potentiel. - Pas de racines de conformation anormale.	

Références bibliographiques :

Delaunois, A., Y. Ferrie, M. Bouche, C. Colin, et C. Rionde. 2013. « Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols - destiné aux agriculteurs et aux agronomes ». Guide technique. Chambre d'agriculture du Tarn et INRA de Montpellier. 39 p.

Füllemann, F., A. Fischer, E. Carrard, M. Wendling, L. Schaffner, E. Cholley, et R. Charles. 2019. « Guide pratique : description du profil de sol agricole ». Guide technique. FIBL, Progrès Sol, Prométerre, Canton de Vaud. 34 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoît HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



Description et intérêts de l'indicateur

L'hydromorphie correspond à la manifestation morphologique de l'engorgement, temporaire ou permanent, d'un sol. Elle est l'expression d'une alternance de processus d'oxydation et de réduction.

Principe du protocole

L'hydromorphie se présente sous forme de tâches colorées. La forme de ces tâches, leurs concentrations, leurs colorations, résultent de la dynamique du processus d'oxydo-réduction. Le fer et le manganèse vont créer une coloration plutôt rouille ou rougeâtre en milieu oxydé (présence d'oxygène) et une coloration plutôt grise-bleutée en milieu réducteur ou anoxique (pauvre en oxygène).

L'évaluation des traces d'hydromorphie se fait par des observations visuelles dans un profil de sol ou d'un test bêche.



Matériel

Matériel profil ou Matériel test bêche : voir fiche « Etat structural du sol »

Condition et échantillonnage

Conditions : Les conditions qui seront suivies seront donc les conditions du profil cultural ou du test bêche (voir fiches correspondantes).

Durée : La durée moyenne pour réaliser les observations est de 3 min (hors durée pour creuser le trou ou la fosse).

Observation de l'hydromorphie dans un profil :

- Observer les traces d'hydromorphie sur la surface du profil.
- Noter la profondeur de ces traces.

Observation de l'hydromorphie dans un test bêche :

- Prélever des mottes de terre à différentes profondeurs et les disposer sur la bêche.
- Observer les traces d'hydromorphie.
- Noter la profondeur de ces traces.



Trace de rouille (Interbio Franche-Comté s.d.)



Trace de gris-bleuté (Interbio France-Comté s.d.)

Résultats et interprétation

Un sol présentant des caractéristiques d'hydromorphie indique une accumulation d'eau. Cette accumulation peut être due à un mauvais drainage du sol. L'excès d'eau non évacuée peut restreindre le développement biologique des racines par asphyxie.

Tableau : Effets de l'hydromorphie selon la profondeur d'enracinement des cultures

	Enracinement superficiel (< 40 cm)	Enracinement moyen (40 – 60 cm)	Enracinement profond (> 60 cm)
Profondeur d'enracinement moyenne	Marâchage vert (20-30 cm) Ananas (30 – 40 cm) Cucurbitacées (30-40 cm) Pois (30-40 cm)	Solanacées (40-50 cm)	Agrumes Bananes (60-80 cm) Cannes (60-80 cm)
Hydromorphie en surface (< 40 cm)	Contraignant	Contraignant	Contraignant
Hydromorphie à niveau intermédiaire (40 – 60 cm)	Contraignant	Contraignant	Contraignant
Hydromorphie en profondeur (> 60 cm)	Non contraignant	Non contraignant	Contraignant

Références bibliographiques :

Delaunoy, A., Y. Ferrie, M. Bouche, C. Colin, et C. Rionde. 2008. « Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols destinés aux agriculteurs et aux agronomes ». Guide technique. Chambre d'Agriculture Tarn, INRAE Montpellier. 37 p.
Interbio Franche-Comté. s.d. « Comprendre les sols agricoles ». Guide d'évaluation. Interbio Franche-Comté, Agence Française pour la Biodiversité. 34 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoît HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



Vitesse d'infiltration de l'eau

23

Description et intérêts de l'indicateur

La vitesse d'infiltration de l'eau est un indicateur de la capacité d'infiltration d'un sol. L'infiltration dépend des caractéristiques de la matrice du sol (texture, structure, densité apparente) et est favorisée par l'activité des organismes du sol, plus particulièrement les ingénieurs du sol, ainsi que les pratiques culturales.

La capacité du sol à infiltrer l'eau est importante dans les agrosystèmes, car elle permet de limiter les processus d'érosion et de saturation en eau. Elle affecte également le cycle des nutriments et leur disponibilité pour la plante.

Principe du protocole

La vitesse d'infiltration correspond à la quantité d'eau, par unité de surface et unité de temps qui pénètre dans le sol. La méthode « Beerkan » sera utilisée pour renseigner cet indicateur. Elle consiste à mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, en condition de sol humide et ressuyé. Un volume déterminé d'eau est versé dans un cylindre enfoncé à la surface du sol. Le temps nécessaire à l'infiltration complète du volume d'eau versé est noté. L'opération est répétée jusqu'à ce que le temps d'infiltration se stabilise.



Matériel

- Bêche,
- Couteau,
- Balayette,
- Paire de ciseaux,
- Cylindre biseauté PVC (diamètre : 30 cm, hauteur : 15 cm),
- Masse,
- Voile plastique (pochette),
- Jerricans,
- Récipient de versement (bouteille coupée),
- Chronomètre,
- Bloc note,
- Crayon gris ou stylo,
- Ordinateur.

Condition et échantillonnage

Conditions : Ce test peut être effectué tout au long de l'année, dans un sol humide et ressuyé, au niveau d'une zone plane (éviter les fentes de retrait, les galeries d'animaux ou les zones de cailloux).

Durée : La durée pour un dispositif beerkan est très variable, la durée dépend de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Un dispositif peut être réalisé en 15 min, tout comme en 45 min.

Echantillonnage : Au moins 3 dispositifs beerkan par parcelle doivent être réalisés, espacés d'au moins 15 m, sur un schéma en diagonal. Idéalement, 6 beerkan devront être réalisés.

Protocole

N°	Actions à réaliser
1.a	Sur zone inclinée, rectifier la pente : Gratter les premiers centimètre du sol, Eliminer délicatement le sol gratté.
1.b	Sur zone enherbée, couper la partie aérienne de la végétation sans arracher les racines.
2	Enfoncer le cylindre de 2 à 3 cm dans le sol.
3	Placer le voile plastique (pour éviter la déstructuration du sol lors de l'étape suivante).
4	Verser le volume d'eau*. Retirer le voile plastique.
5	Chronométrer le temps d'infiltration jusqu'au ressuyage complet de l'eau et noter la durée.
6	Répéter les points 4 & 5 dix fois supplémentaires (la première opération vise à s'assurer qu'il n'y ai pas de « fuites » d'eau dans le dispositif).

*Volume d'eau correspondant à une lame d'eau de 1cm :

$$V (L) = \pi \times (\text{rayon du cylindre (cm)})^2 \times \text{hauteur de la lame d'eau (cm)} \times 0.001$$

Pour cet indicateur, un onglet « aide au calcul » est disponible dans l'outil Excel « Diagnostic fertilité des sols® ». L'onglet prend en entrée les résultats obtenus sur le terrain et calcule automatiquement le niveau de contrainte associé. La méthode de calcul utilisée dans l'outil Excel est détaillée ci-dessous.

7	Dans un tableau, inscrire pour chacune des 11 répétitions, le temps d'infiltration de l'eau.
8	Sur un tableur Excel, convertir le temps d'infiltration en minute (diviser le nombre de seconde par 60 et l'additionner aux nombre de minutes).
9	Faire un graphique avec la hauteur d'eau cumulée versée (axe des ordonnées) en fonction des temps d'infiltration cumulé en minute (axe des abscisses).
10	Calculer une droite de tendance, sans les trois premiers points (qui correspondent au régime transitoire).
11	Le coefficient directeur de la droite correspond à la vitesse d'infiltration de l'eau (en cm/min). Convertir le résultat en cm/heure.

Résultats et interprétation

Comparer la vitesse d'infiltration obtenue aux classes ci-dessous.

Tableau : Références des vitesses d'infiltrations de l'eau des sols guadeloupéens (tableau à dire d'expert)

Vitesse d'infiltration de l'eau (cm/h)	< 50 cm/h	[50 ; 500] cm/h	> 500 cm/h
Classes	Faible	Correcte	Forte

Interprétation :

Vitesse d'infiltration de l'eau	Faible	Correcte	Forte
Risque de saturation en eau	Elevé	Moyen	Faible
Risque d'érosion	Elevé	Moyen	Faible
Risque de lessivage	Elevé	Moyen	Faible
Risque de lixiviation	Faible	Moyen	Elevé

Une faible vitesse d'infiltration traduit des phénomènes de dégradation des sols en surface, comme la présence d'une croûte de battance ou un phénomène de compaction.

Références bibliographiques :

Brauman, A., et A. Thoumazeau. 2020. « Biofunctool® : un outil de terrain pour évaluer la santé des sols, basé sur la mesure de fonctions issues de l'activité des organismes du sol ». *Étude et Gestion des Sols* 27 : pp. 289-303.
 Capowiez, Y., F. Loidat, A. Cadillon, A. Coulombel, et L. Fourrié. s. d. « Observer et quantifier les populations de vers de terre ». Fiche technique. IRARA Lyon, ITAB, FranceAgriMer, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. 4 p.
 Chambre d'Agriculture Gironde. 2018. « Guide de terrain pour la caractérisation de la qualité des sols ». Guide technique. version 1. Chambre d'Agriculture Gironde. 51 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoit HEUGUET
Relecteur : Loïc NORMAND
Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical
Projet : projet SOLORGA
Date : 06/09/2022



Pente

Description et intérêts de l'indicateur

La pente est un facteur important à prendre en compte pour apprécier le risque d'érosion des sols. Plus une parcelle possède une pente abrupte et longue, plus les risques d'érosion sont grands. En effet, l'érosion hydrique augmente aussi avec la longueur de la pente à cause de l'augmentation du ruissellement. Une pente longue implique un débit de l'eau plus rapide, un transport des sédiments augmenté, ce qui donne lieu à des risques accrus d'érosion et d'affouillement sur la parcelle. Aux Antilles, la topographie et le régime pluviométrique sont les principaux déterminants du risque d'érosion, et ce généralement quel que soit le niveau de stabilité structurale du sol.

Condition et échantillonnage

Durée : La durée moyenne pour déterminer la pente de la parcelle est d'une minute.

Protocole

La détermination de la pente de la parcelle est basée par des observations empiriques sur la parcelle.

Résultats et interprétation

Il est possible d'attribuer une classe à la pente de la parcelle.

Tableau : Risques d'érosion selon la pente de la parcelle

Pente	Pente forte	Pente modérée	Pente faible à nulle
Risque d'érosion	Elevé	Moyen	Faible

Références bibliographiques :

Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales. 2022. « L'érosion du sol – Causes et effets ». Fiche Technique. [Disponible en ligne]
<http://omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-054.htm> (Consulté le 03/10/22)

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoit HEUGUET
Relecteur : Loïc NORMAND
Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical
Projet : projet SOLORGA
Date : 06/09/2022



Prélèvements pour analyses de sol

Description et intérêts de l'indicateur

Les analyses de sols permettent d'obtenir des informations sur différents indicateurs : la teneur en éléments nutritifs majeurs, le taux de MO, le C/N du sol et le statut acido-basique. Plus d'informations concernant ces indicateurs peuvent être trouvées dans les fiches associées.

Principe du protocole

Les analyses de sols sont réalisées par des laboratoires en France métropolitaine. Des prestataires en Guadeloupe, notamment CARIBAGRO ou PRESTA'SCIC, proposent cette prestation aux acteurs du monde agricole guadeloupéen.

Les prélèvements de terre peuvent être réalisés par ces deux entreprises ou directement par les techniciens, conseillers, agriculteurs, etc.



Matériel

- Tarière,
- Sacs de congélation 1 L (le nombre de sacs correspond au nombre d'échantillons envoyés pour analyses),
- Seau 8 L,
- Couteau,
- Balance,
- Marqueur.

Condition et échantillonnage

Conditions : Il est conseillé de prélever un sol ressuyé, au moins 1 mois après un apport d'engrais.

Durée : La durée moyenne pour effectuer 3 prélèvements est de 15 min. La durée moyenne pour la pesée et la mise en sac pour 1 échantillon formé de ces 3 prélèvements est de 5 min.

Condition et échantillonnage

Echantillonnage : Le nombre d'analyses par parcelle correspond au nombre de zones homogènes identifiées sur cette parcelle. Pour chacune des zones homogènes identifiées, il est conseillé de réaliser 15 à 20 prélèvements, à profondeur constante. Ces 15-20 prélèvements sont homogénéisés afin de former 1 échantillon de sol de 500 g à 1 kg pour analyse (quantité à définir avec l'entreprise réalisant les analyses). Au minimum 3 prélèvements doivent être réalisés par zone homogène.

La profondeur sélectionnée correspond à la profondeur de travail du sol, généralement 30 cm. Les prélèvements doivent être réalisés à une distance d'au moins 15 m entre chaque prélèvement (si la taille de la parcelle le permet).

Protocole

- Sélectionner une première zone homogène.
- Dégager la surface du sol (enlever les débris végétaux, le couvert, etc.).
- Prélever de la terre de 0 à 30 cm de profondeur à l'aide de la tarière et la placer dans le seau.
- Se déplacer de 15 m sur une diagonale et effectuer un 2eme prélèvement.
- Mettre la terre dans le même seau que le premier prélèvement.
- Faire de même pour les prélèvements suivants.
- Mélanger la terre du seau et casser les mottes.
- Remplir un sac de congélation avec 500 g ou 1 kg (dépendant du type d'analyse recherchée).
- Penser à indiquer sur le sac les informations nécessaires (lieu, date, parcelle, culture, n° échantillon, but échantillon, etc.).
- Répéter les opérations pour les autres zones homogènes identifiées.
- Envoyer les sacs au prestataire.

Résultats et interprétation

Les résultats seront fournis par le prestataire ou par le laboratoire choisi.

Teneur en éléments nutritifs majeurs

28

Description et intérêts de l'indicateur

Les éléments majeurs étant impliqués dans la nutrition des végétaux sont l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium, le calcium. Ces éléments sont essentiels à la croissance des cultures. Evaluer la teneur en éléments nutritifs majeurs est un indicateur de la fertilité chimique du sol. Il permet de mettre en évidence un équilibre ou un éventuel phénomène d'excès et/ou de carences en éléments majeurs.

Principe du protocole

La teneur en éléments nutritifs majeurs est évaluée grâce à des analyses de sol en laboratoire.

Matériel

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».

Condition et échantillonnage

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».

Protocole

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».



Les analyses de laboratoire sont souvent interprétées sous forme de graphiques ou de schémas, et indiquent pour chaque élément une teneur faible, satisfaisante ou élevée, avec des seuils critiques variables selon le type de sol et la culture.

Si l'un de ces paramètres s'éloigne de l'optimum, il devient donc limitant, et témoigne d'un déséquilibre nutritionnel dans le sol. Le tableau ci-dessous reprend de manière non exhaustive les rôles des éléments majeurs au niveau de la croissance et du développement du végétal, ainsi que les causes possibles des carences en ces éléments.

Tableau : Eléments majeurs, rôles et causes des carences (Interbio Franche-Comté s.d.)

Elément	Rôle	Cause possible de la carence
N minéral	Croissance de tous les organes dont le système racinaire. Composition des protéines (dont enzymes et la chlorophylle) et des acides nucléiques (dont ADN).	Conditions lessivantes. Faible minéralisation (faible taux MO, tassement du sol, température trop faible ou excès d'eau). Forte concurrence adventice.
P2O5	Croissance de tous les organes dont le système racinaire. Rôle clé dans la division et la respiration cellulaire.	Chaulage excessif. Excès de Mn, Fe ou Zn. pH > 7 ou < 5,5. MO faible. Hydromorphie.
K2O	Port de la plante. Transfert des acides aminés vers les racines. Rôle dans la photosynthèse.	Chaulage excessif. Excès de N, MgO. pH < 5,5. Conditions lessivantes.
MgO	Métabolisme de P. Synthèse protéique. Activation enzymatique. Port de la plante.	Chaulage excessif. Excès de K, Ca. MO élevée. Hydromorphie.
CaO	Parois cellulaires. Assimilation de l'azote : réduction du nitrate en ammonium.	Conditions lessivantes. Sécheresse.

Les excès en éléments majeurs ont également des effets négatifs. Ils correspondent à une source d'inefficacité économique pour les agriculteurs. Un excès en élément majeur peut causer des difficultés à l'absorption de l'eau et/ou des carences chez les végétaux. Ces excédents sont également potentiellement à l'origine de fuites vers les eaux (lessivages/lixiviation). Ces fuites peuvent être à l'origine des dégâts environnementaux (l'eutrophisation par exemple) ou sanitaire (risque pour la santé humaine).

Par exemple, un excès en azote peut entraîner une croissance trop rapide provoquant des fragilités physiques et une sensibilité aux bioagresseurs. Un excès de potassium ou en calcium dans le sol nuit à l'assimilation du magnésium, même si celui-ci est présent en quantité suffisante dans le sol (tableau 1).

D'autres effets négatifs peuvent également être observés sur la flore et la faune du sol. Les champignons mycorhiziens, par exemple, sont très sensibles aux excès de phosphore.

Références bibliographiques :

Dupuy-Lyon, S., A. Coantic, et E. Zunino. 2021. « L'azote est un élément indispensable à l'agriculture, mais il peut entraîner des pollutions | Programme d'actions national nitrates ». Ministère de la transition écologique. [Disponible en ligne] <https://programme-nitrate.gouv.fr/comprendre/lazote-est-element-indispensable-a-lagriculture-il-peut-entraîner-pollutions> (Consulté le 06/12/2021).

Interbio Franche-Comté, s.d. « Comprendre les sols agricoles ». Guide d'évaluation. Interbio Franche-Comté, Agence Française pour la Biodiversité. 34 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoît HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



A collection of field equipment is laid out on a blue tarp. The items include a large white plastic jug with a green cap, a clear plastic bottle, a metal canister, a metal lid with 'H₂' marking, a metal lid with 'I₂' marking, a hammer, a knife, and a flashlight.

Echantillonnage :

- Pour une couche identifiée, prélever des petites portions de terre à différents endroits de la couche et mélanger les.
- Sélectionner un échantillon.
- Enlever les cailloux et gravillons de l'échantillon.
- Répéter l'opération pour chacune des couches identifiées.

Protocole

Test de sédimentation :

- Remplir la moitié du bocal d'un échantillon de terre sans le tasser.
- Compléter avec de l'eau en laissant un petit peu d'air en haut.
- Agiter énergiquement le mélange pendant plusieurs minutes de manière à casser la structure du sol pour bien séparer ses composantes.
- Laisser le bocal au repos pendant 2 jours (les argiles mettent du temps à se déposer).

Tests tactiles :

- Humidifier et malaxer l'échantillon s'il est trop sec.
- Malaxer un échantillon de terre entre les doigts.
- Ecraser un petit échantillon de terre entre le pouce et l'index.

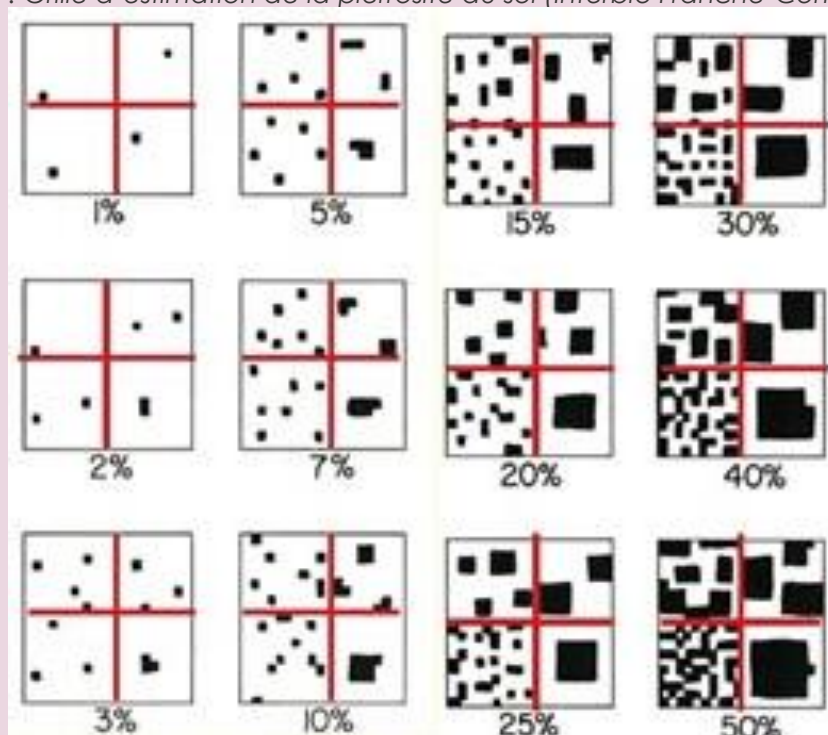
Test du boudin :

- Humidifier un échantillon de terre et malaxer pour former une boule.
- Former un boudin avec cette boule.
- Courber ce boudin pour former un cercle.

Pierrosité (ou charge en éléments grossiers, cailloux) :

- L'estimation de la pierrosité se fait visuellement à la surface du sol ou pour chacun des horizons d'un profil cultural ou à la surface du sol, à l'aide d'une grille d'estimation du pourcentage en éléments grossiers (Figure ci-contre).

Figure : Grille d'estimation de la pierrosité du sol (Interbio Franche-Comté s.d.)



Test de sédimentation :

Différentes strates sont visibles dans le bocal. Le sable se dépose dans le fond, le limon se situe au milieu et l'argile en haut. La matière organique flotte à la surface de l'eau.

Mesurer ensuite l'épaisseur de chaque couche à l'aide d'une règle (Figure ci-dessous), puis calculer le pourcentage de chaque élément à l'aide des formules suivantes :

% de sable = (épaisseur de la couche de sable en cm X 100) ÷ épaisseur totale du sol en cm.

% de limon = (épaisseur de la couche de limon en cm X 100) ÷ épaisseur totale du sol en cm.

% d'argile = (épaisseur de la couche d'argile en cm X 100) ÷ épaisseur totale du sol en cm.

Se référer ensuite au triangle des textures (Figure ci-dessous) pour déduire la texture du sol.

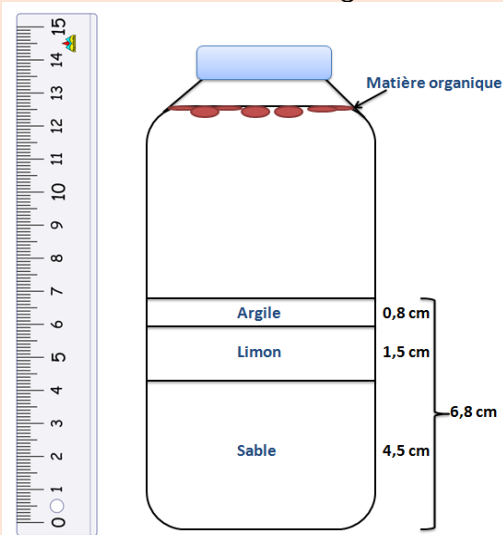
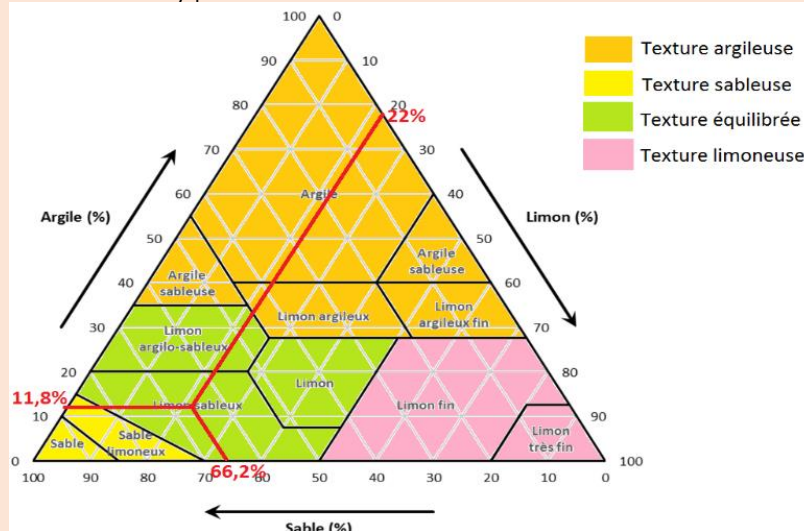


Schéma des résultats du test de sédimentation



Triangle des textures

Tests tactiles :

Argiles	Limons	Sables
Malléable, salissant, collant, lisse et surfaces de lissage luisantes.	Peu malléable, farineux (talc), doux, émiettable, en séchant il laisse une poudre blanche sur les mains, surfaces de lissage rugueuses, savonneux/gras quand trop mouillé.	Non malléable, non salissant, granuleux. Aucune rugosité entre les doigts : <15% de sable. Forte rugosité (visible à l'œil nu) et effritement rapide entre les doigts : >50% de sables.

La matière organique (surtout dans l'horizon de surface) perturbe l'appréciation : elle rend les sols riches en argiles moins collants, et ceux riches en sables plus cohérents. Les sols riches en matières organiques ont un toucher « gras », « soyeux ».

Test du boudin :

Texture	Diamètre du boudin	Formation d'un cercle
Léger : argile < 10 % tendance sableuse	Réalisation impossible	Réalisation impossible
Léger : argile = 10-15 % tendance sableuse et limoneuse	Boudin 1 cm, affinage du boudin impossible	
Moyen : argile = 15-30 % limons > argiles	Boudin 2 mm – 1 cm	Fissuration avant ½ fermeture de l'anneau
Moyen : argile = 15-30 % argiles > limons		Fissuration au ¾ de la fermeture de l'anneau
Lourd : argile ≥ 30 %	Boudin < 2 mm	Cercle réalisable, observation de craquelures
Lourd : argile ≥ 50 %		Cercle réalisable, surface lisse, toucher collant

Résultats et interprétation

Pierrosité :

Pourcentage d'éléments grossiers	Indication sur la quantité d'éléments grossiers
] 0 ; 15 %]	Faible à nulle
] 15 à 30 %]	Moyenne
] 30 à 100 %]	Dominante

Interprétation : Influence de la texture du sol sur ses propriétés

Propriétés	Sols sableux	Sols sableux-limoneux	Sols limoneux	Sols argilo-limoneux	Sols argileux
	Léger	Moyen		Lourd	
	< 10 % argile	10-20 % argile	20-30 % argile	30-40 % argile	> 40 % argile
Rétention hydrique	Faible	Moyenne	Elevée	Elevée	Très élevée
Rétention en éléments nutritifs	Faible	Faible à Moyenne	Moyenne	Elevée	Très élevée
Aération	Très élevée	Elevée	Elevée	Moyenne	Faible
Pénétration des racines	Très élevée	Très élevée	Elevée	Moyenne	Faible
Travail du sol	Facile	Facile	Moyen	Moyen à difficile	Difficile

Interprétation : Influence de la pierrosité du sol sur ses propriétés

Pierrosité	Faible à nulle			Moyenne	Dominante	
	0-2 %	2-5 %	5-15 %	15-30 %	30-50 %	> 50 %
Rétention hydrique	*dépend de la texture du sol			Faible	Très faible	Très faible
Réserve en éléments nutritifs				Limitée	Très limitée	Très limitée
Portance du sol				Favorable	Très favorable	Très favorable
Risque de compaction				Limité	Très limité	Très limité
Usure des outils	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée	Très élevée

Remarque : Il peut être intéressant de comparer les résultats obtenus avec les résultats d'une analyse de sol si elle est disponible.

Références bibliographiques :

Chambre d'agriculture Hérault, Centre Agrométéo Hérault, Département Hérault. 2011. « La charge en éléments grossiers d'un sol a un impact sur la pénétration des racines et sur la réserve en eau du sol. ». Fiche technique. 2 p. Fédération Départementale des CIVAM du Gard. 2020. « Fonctionnement du sol – II.1. Test de sédimentation ». [Disponible en ligne] <https://formationcivamgard.fr/?SolFina> (Consulté le 07/01/2022).

Fülleman, F., A. Fischer, E. Carrard, M. Wendling, L. Schaffner, E. Cholley, et R. Charles. 2019. « Guide pratique : description du profil de sol agricole ». Guide technique. FIBL, Progrès Sol, Prométerre, Canton de Vaud. 34 p.

Interbio Franche-Comté. s.d. « Comprendre les sols agricoles ». Guide d'évaluation. Interbio Franche-Comté, Agence Française pour la Biodiversité. 34 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoît HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



Statut acido-basique du sol

34

Description et intérêts de l'indicateur

Le pH ou potentiel hydrogène correspond à une mesure de la concentration en ions H^+ dans le sol. C'est un indice qui permet de mesurer l'acidité ou la basicité du sol.

Connaître le pH du sol permet de sélectionner les plantes les plus adaptées ou bien de planifier les actions de correction nécessaires pour rééquilibrer le statut acido-basique du sol et optimiser l'assimilabilité des nutriments.

Principe du protocole

Le pH se calcule de la manière suivante : $pH = -\log [H^+] = \log 1/[H^+]$. La mesure du pH peut se faire sur le terrain à l'aide de bandelette pH ou d'un pH-mètre.



Matériel

- Tarière,
- Seau,
- Couteau,
- Balance,
- Eau distillée (1 L),
- Récipients avec couvercles,
- Bandelettes pH ou pH-mètre

Le nombre de récipients dépend du nombre de mesure de pH à effectuer.

Remarque : Les tests pH peuvent être réalisés sur les échantillons de terre prélevés pour analyse de sol. Pour cela, il est nécessaire de suivre la fiche protocole « Prélèvements pour analyses » et de récupérer une quantité de terre au moment de la mise en sac afin de mesurer le pH.

Condition et échantillonnage

Conditions : Il est conseillé de prélever un sol ressuyé, n'ayant fait l'objet d'aucun apport organique ou calcique de moins de 1 mois.

Durée : La durée moyenne pour effectuer 3 prélèvements est de 15 min. La durée moyenne pour les tests pH est de 10 minutes.

Condition et échantillonnage

Echantillonnage : Le nombre d'analyses par parcelle correspond au nombre de zones homogènes identifiées sur cette parcelle. Pour chacune des zones homogènes identifiées, il est conseillé de réaliser 15 à 20 prélèvements, à profondeur constante. Ces 15-20 prélèvements sont homogénéisés afin de former 1 échantillon de sol de 500 g à 1 kg pour analyse (quantité à définir avec l'entreprise réalisant les analyses). Au minimum 3 prélèvements doivent être réalisés par zone homogène.

La profondeur sélectionnée correspond à la profondeur de travail du sol, généralement 30 cm. Les prélèvements doivent être réalisés à une distance d'au moins 15 m entre chaque prélèvement (si la taille de la parcelle le permet).

Protocole

La démarche à suivre pour les prélèvements est la suivante :

- Sélectionner une première zone homogène.
- Dégager la surface du sol (enlever les débris végétaux, le couvert, etc.).
- Prélever de la terre de 0 à 30 cm de profondeur et la placer dans le seau.
- Se déplacer de 15 m sur une diagonale et effectuer un 2ème prélèvement à mettre dans le même seau.
- Faire de même pour les prélèvements suivants.
- Mélanger la terre du seau et casser les mottes.

La démarche à suivre pour la préparation des échantillons à tester est la suivante :

- Prélever 50 g de sol mélangé (voir étape précédente) et les placer dans un premier récipient
- Répéter l'opération deux fois pour obtenir 3 récipients contenant chacun 50 g de sol mélangé (3 récipients est le nombre minimal, il est conseillé de préparer 5-6 récipients)
- Ajouter 50g d'eau distillée dans chacun des récipients.
- Agitez fortement le récipient pendant 2 mn puis laissez les particules de sol se déposer au fond (temps de repos 3 minutes).
- Répéter ces opérations pour les autres zones de prélèvements.

La démarche à suivre pour les bandelettes pH est la suivante :

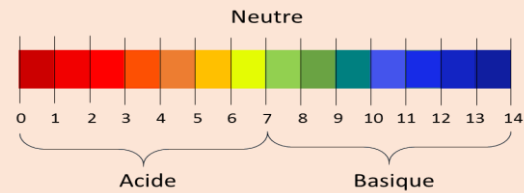
- Dans chacun des récipients, testez le pH dans le liquide surnageant en plongeant la bandelette dans le liquide.
- Comparez la couleur obtenue avec la grille de référence fournie. Le chiffre correspondant à la couleur obtenu est le pH.
- Effectuer ensuite une moyenne des valeurs de pH obtenues.

La démarche à suivre pour le pH-mètre est la suivante :

- Dans chacun des récipients, testez le pH dans le liquide surnageant en plongeant le pH-mètre dans le liquide surnageant (fonctionnement du pH-mètre expliquer dans la fiche accompagnant le pH-mètre).
- relever la valeur inscrite sur la pH-mètre.
- Effectuer ensuite une moyenne des valeurs de pH obtenues.

Résultats et interprétation

Le pH se mesure selon une échelle allant de 0 à 14 : 0 étant le plus acide, 7 la neutralité et 14 le plus basique (Figure ci-contre).



Il est important de rappeler que chaque culture possède une gamme de pH préférentielle qui favorise sa croissance.

Dans notre diagnostic, nous nous concentrons sur l'aspect « assimilation minérale ». La gamme de pH optimale choisie est donc la gamme présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau : Influence du pH sur les propriétés du sol

Acidité du sol	Acide	Neutre	Basique
	pH < 5,5	pH = [5,5 ; 7]	pH > 7,5
Disponibilité des éléments	Baisse de la disponibilité des éléments. <i>Ex : complexation de P et Fe → P indisponible.</i> <i>Ex : carence en Mo.</i> Solubilisation des métaux (Al, Mn, Zn) → Toxicité.	Majorité des éléments nutritifs assimilables. <i>Ex : P soluble.</i>	Baisse de la disponibilité des éléments et des oligoéléments. <i>Ex : complexation de P et Ca → P indisponible.</i> <i>Ex : carence en B, Zn, Cu.</i>
Taux de saturation	Insuffisant. <i>Ex : H⁺ occupe la place des autres cations (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺).</i>	Correct.	Insuffisant.
Stabilité structurale	Réduction de la stabilité. <i>H⁺ occupe la place des Ca²⁺ qui réalisent des ponts cationique qui aident à la structuration en agrégats.</i>	Bonne stabilité structurale.	Bonne stabilité structurale.
Faunes du sol	Réduction de la diversité et de l'abondance de la faune utile du sol.	Bonnes conditions pour la faune utile du sol.	Réduction de la diversité et de l'abondance de la faune utile du sol.

Références bibliographiques :

Groupe chaulage COMIFER. 2009. *Le chaulage : Des bases pour le raisonner*. 4^{ème} édition. Vol. 2. Paris, France. 110 p. ISBN : 978-2-35253-044-2.

Interbio Franche-Comté. s.d. « Comprendre les sols agricoles ». Guide d'évaluation. Interbio Franche-Comté, Agence Française pour la Biodiversité. 34 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoit HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



Taux de matière organique

Description et intérêts de l'indicateur

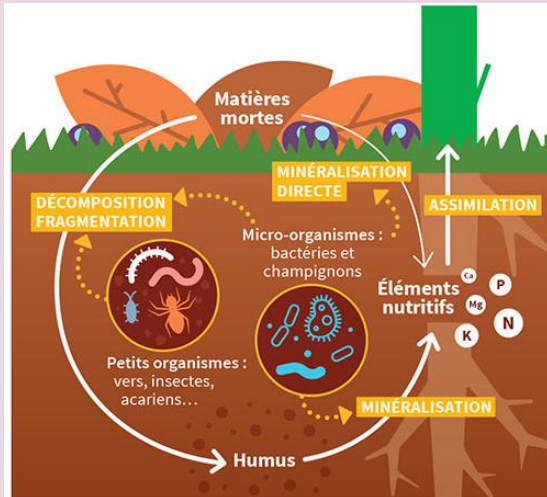


Figure : Cycle de la MO dans le sol (ADEME 2021)

Les matières organiques (MO) du sol regroupent l'ensemble des constituants organiques présents dans les sols (morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformées ou non).

Les MO arrivent d'abord sous forme fraîche et grossière à la surface du sol. Elles entrent alors dans un processus de « redistribution » verticale, de minéralisation et d'humification progressive impliquant un cortège de macro et microorganismes (Figure ci-contre). Suivant leurs propriétés biochimiques (lignine, cellulose, hémicellulose), elles suivent une chaîne plus ou moins longue de fragmentation. L'activité des microorganismes va, étape par étape, scinder ces molécules polycarbonées et ainsi libérer des éléments minéraux dans la solution du sol. Les MO qui sont facilement minéralisables sont appelées « MO libre » ou « MO labile ».

Puis, les produits de ce découpage, se réorganisent en molécules plus grosses, et plus résistantes à la minéralisation. Ce sont ces cycles de minéralisation/recombinaisons qui progressivement aboutissent à la formation des humus du sol. L'humus (aussi appelé « MO stable » ou « MO liée ») est donc le produit de polymérisations de molécules organiques plus ou moins complexes. Ces grosses molécules très stables, pouvant piéger de l'azote organique, sont bien plus difficiles à minéraliser et, leur minéralisation se fait sur un pas de temps bien plus lent.

Principe du protocole

Le taux de MO du sol est évalué grâce à des analyses de sol en laboratoire.

Matériel

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».



Condition et échantillonnage

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».

Protocole

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».

Résultats et interprétation

Les résultats seront fournis par le laboratoire d'analyses de sol. Ils correspondent à des quantités de MO appartenant à chacune des classes de MO. Le taux de MO total sera également fourni.

Interprétation :

Le taux de MO total optimal est dépendant du type de sol.

Tableau : Taux de MO selon les types de sols en Guadeloupe, expertise Cirad/IT2.

Type de sol	Taux de MO faible	Taux de MO moyen	Taux de MO optimal
Andosols perhydratés	< 8	[8 ; 11[	≥ 11
Andosols	< 7	[7 ; 9[	≥ 9
Bruns andiques	< 4	[4 ; 7[	≥ 7
Nitisols - Bruns rouille à halloysite	< 3	[3 ; 4[	≥ 4
Ferralitiques	< 3	[3 ; 4[	≥ 4
Vertisols moyens et profonds	< 3	[3 ; 5[	≥ 5
Sols vertiques courts et squelettiques	< 4	[4 ; 6[	≥ 6

Références bibliographiques :

ADEME. 2021. « La vie cachée des sols ». M ta terre. [Disponible en ligne] <https://www.mtaterre.fr/dossiers/operation-plantetonslip/la-vie-cachee-des-sols> (Consulté le 29/12/2021).
Chambre d'Agriculture Occitanie. 2011b. « Les matières organiques du sol ». *Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Roussillon*, Guide technique, Tome 1, Chapitre 2 : pp. 17-28.
Saenger, A. 2013. « Caractérisation et stabilité de la matière organique du sol en contexte montagnard calcaire : proposition d'indicateurs pour le suivi de la qualité des sols à l'échelle du paysage ». Grenoble, France : Université de Grenoble. 269 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoît HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



Présence de mousse et d'algues en surface

39

Description et intérêts de l'indicateur

La présence d'algues et de mousse en surface est un indicateur de fertilité physique et biologique du sol.

Condition et échantillonnage

Durée : La durée moyenne pour réaliser les observations est de 5 min.

Protocole

Observer la présence d'algues ou de mousse à la surface du sol.

Résultats et interprétation

Un tapis d'algues ou de mousse indique habituellement un milieu peu aéré, chargé en eau. Cela peut être dû à une surface de sol compacté ou un mauvais drainage du sol. Un milieu compacté et chargé en eau implique généralement une diminution ou du moins un déséquilibre de l'activité des microorganismes du sol.

La présence de mousse et d'algues peut aussi suggérer une faible concurrence des plantes, un sol appauvri et, dans le cas de certaines mousses, des conditions de sol acide.

Références bibliographiques :

Delaunoy, A., Y. Ferrie, M. Bouche, C. Colin, et C. Rionde. 2013. « Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols - destiné aux agriculteurs et aux agronomes ». Guide technique. Chambre d'agriculture du Tam et INRA de Montpellier. 39 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoit HEUGUET
Relecteur : Loïc NORMAND
Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical
Projet : projet SOLORGA
Date : 06/09/2022



C/N du sol

Description et intérêts de l'indicateur

Le rapport C/N (carbone organique/azote total) est utilisé pour caractériser l'évolution des matières organiques dans le sol.

Principe du protocole

C/N est le rapport entre le carbone organique et l'azote total. Ces teneurs sont déterminées par des analyses en laboratoire.

Matériel

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».



Condition et échantillonnage

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».

Protocole

Voir fiche « Prélèvements pour analyses ».

Résultats et interprétation

Les résultats seront fournis par les laboratoires d'analyses de sol. Le C/N total est généralement calculé. Les C/N de chacune des fractions de MO peuvent être fournis si un fractionnement de la MO est demandé dans l'analyse. Les C/N optimaux sont différents selon la classe de MO étudiée (50 µm à 2 mm, < 50 µm).

Interprétation :

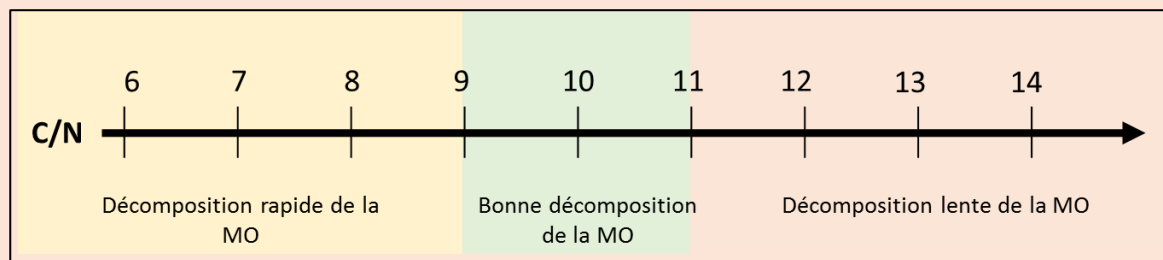


Figure : Lien entre C/N et décomposition de la MO pour les sols de Guadeloupe

Comme indiqué sur la figure ci-dessus, un rapport C/N faible (inférieur à 9) indique généralement une décomposition rapide de la MO. L'activité biologique est alors supposée importante.

Un rapport C/N élevé (supérieur à 11) indique une activité biologique du sol ralentie et en général, des mauvaises conditions de décomposition de la matière organique.

Des MO à C/N très élevé (supérieur à 25) sont plus carbonées et demandent une activité biologique suffisante pour être dégradées. Cette forte activité peut alors provoquer une immobilisation de l'azote minéral (ex : faim d'azote).

Références bibliographiques :

Ancelin, O., J. Duranel, C. Dersigny, A. Duparque, et L. Fleutry. 2007. « Sols et Matières organiques - Memento : Pour des notions utiles et contre les idées reçues ». Memento. Agro-Transfert R&T et Chambres d'Agriculture de Picardie. 52 p.

Chambre d'Agriculture Occitanie. 2011a. « Les critères analytiques des produits organiques ». *Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Roussillon*, Guide technique, Tome 1, Chapitre 5 : pp. 64-75.

Interbio Franche-Comté. s.d. « Comprendre les sols agricoles ». Guide d'évaluation. Interbio Franche-Comté, Agence Française pour la Biodiversité. 34 p.

Rédacteurs : Chloé QUIMEBY, Benoît HEUGUET

Relecteur : Loïc NORMAND

Crédits photos : Institut Technique Tropical

Organisme : Institut Technique Tropical

Projet : projet SOLORGA

Date : 06/09/2022



VII. Grille d'évaluation des indicateurs

Pour chacun des indicateurs, les résultats obtenus doivent être convertis en valeurs qualitatives à l'aide de la grille d'évaluation ci-dessous.

Code d'identification	Indicateurs évalués	Code d'identification	Indicateurs évalués
i1	Résistance à la pénétration	i9	Pierrosité
i2	Etat structural des mottes	i10	Statut acido-basique du sol
i3	Qualité d'enracinement	i11	Texture
i4	Etat structural des agrégats	i12	Taux de MO du sol
i5	Hydromorphie	i13	Etat sanitaire des racines
i6	Vitesse d'infiltration de l'eau	i14	Présence de mousse et d'algues
i7	Pente	i15	C/N du sol
i8	Teneur en éléments nutritifs majeurs		

11. Résistance à la pénétration (compaction)

Une « Aide aux calculs » est présente dans l'outil Excel, afin de vous simplifier la manipulation des calculs explicités ci-dessous.

Pour cet indicateur, le sol est séparé en 3 niveaux (en surface 0-40cm, intermédiaire 40-60cm, en profondeur 60-80cm). Afin de déterminer la compaction pour chacun des niveaux, il est nécessaire d'effectuer une estimation moyenne de cette compaction, à l'aide des résultats obtenus avec le pénétromètre ou le couteau.

Niveau de sols selon la profondeur	Formules de Calcul	Compaction par niveau de sol
Niveau en surface (0 - 40 cm)	$\%vert = (\text{épaisseur couche verte en cm}) / 40\text{cm} \times 100$ $\%jaune = (\text{épaisseur couche jaune en cm}) / 40\text{cm} \times 100$ $\%rouge = (\text{épaisseur couche rouge en cm}) / 40\text{cm} \times 100$	Si $\%vert \geq 75\%$ alors la compaction est faible .
		Si $\%jaune \geq 50\%$ alors la compaction est moyenne .
		Si $\%rouge = [25\% ; 50\%[$ alors la compaction est moyenne .
		Si $\%rouge \geq 50\%$ alors la compaction est élevée .
		Dans les autres cas, la compaction est moyenne .
Niveau intermédiaire (40 – 60 cm)	$\%vert = (\text{épaisseur couche verte en cm}) / 20\text{cm} \times 100$ $\%jaune = (\text{épaisseur couche jaune en cm}) / 20\text{cm} \times 100$ $\%rouge = (\text{ép. couche rouge en cm}) / 20\text{cm} \times 100$	Si $\%vert \geq 75\%$ alors la compaction est faible .
		Si $\%jaune \geq 50\%$ alors la compaction est moyenne .
		Si $\%rouge = [25\% ; 50\%[$ alors la compaction est moyenne .
		Si $\%rouge \geq 50\%$ alors la compaction est élevée .
		Dans les autres cas, la compaction est moyenne .
Niveau en profondeur (60 – 80 cm)	$\%vert = (\text{épaisseur couche verte en cm}) / 20\text{cm} \times 100$ $\%jaune = (\text{épaisseur couche jaune en cm}) / 20\text{cm} \times 100$ $\%rouge = (\text{épaisseur couche rouge en cm}) / 20\text{cm} \times 100$	Si $\%vert \geq 75\%$ alors la compaction est faible .
		Si $\%jaune \geq 50\%$ alors la compaction est moyenne .
		Si $\%rouge = [25\% ; 50\%[$ alors la compaction est moyenne .
		Si $\%rouge \geq 50\%$ alors la compaction est élevée .
		Dans les autres cas, la compaction est moyenne .

La contrainte liée à la compaction d'une couche est à adapter selon la profondeur d'enracinement réelle de la culture observée sur le terrain.

Afin de renseigner l'indicateur final, il est nécessaire de choisir la plus grosse contrainte (c'est-à-dire la contrainte la plus élevée) sur la colonne correspondant à la profondeur d'enracinement de la culture.

Profondeur d'enracinement		Enracinement superficiel (0 - 40 cm)	Enracinement moyen (40 - 60 cm)	Enracinement profond (60 - 80 cm)
		Maraîchage vert (20-30cm) Ananas (30 - 40cm) Cucurbitacées (30-40cm) Pois (30-40cm)	Solanacées (40-50cm)	Agrumes Bananes (60-80cm) Cannes (60-80cm)
Niveau en surface (0 - 40 cm)	Compaction faible	Non contraignant	Non contraignant	Non contraignant
	Compaction moyenne	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant
	Compaction élevée	Très contraignant	Très contraignant	Très contraignant
Niveau intermédiaire (40 - 60 cm)	Compaction faible	Non contraignant	Non contraignant	Non contraignant
	Compaction moyenne	Non contraignant	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant
	Compaction élevée	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant	Très contraignant
Niveau en profondeur (60 - 80 cm)	Compaction faible	Non contraignant	Non contraignant	Non contraignant
	Compaction moyenne	Non contraignant	Non contraignant	Moyennement contraignant
	Compaction élevée	Non contraignant	Moyennement contraignant	Moyennement contraignant
Classes d'interprétations				
Très contraignant				
Moyennement contraignant				
Non contraignant				

12. Etat structural des mottes

Une « Aide aux calculs » est présente dans l'outil Excel, afin de vous simplifier la manipulation des calculs explicités ci-dessous.

Sélectionner les horizons compris entre la surface et la profondeur du test bêche (Fiche indicateur – Etat structural du sol).

Pour chacun des horizons sélectionnés, faire la somme des notations associées grâce au tableau ci-dessous.

Organisation structurale des mottes

Résultats obtenus	Notation associée
Motte delta Δ	0
Motte phi Φ	1
Motte gamma Γ	2

Etat structural des mottes

Effectuer une moyenne pondérée des notations associées avec la formule suivante :

Moyenne pondérée = [(épaisseur couche 1 * notation couche 1) + (épaisseur couche 2 * notation couche 2) + (...) + (épaisseur couche n * notation couche n)] / 40cm (ou profondeur réelle si difficulté pour descendre à 40cm).

Déterminer la classe d'interprétation grâce au tableau ci-dessous.

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Moyenne pondérée = [0 ; 0.6[	Structure limitante
Moyenne pondérée = [0.6 ; 1.3[	Structure contraignante
Moyenne pondérée = [1.3 ; 2]	Structure favorable

I3. Qualité d'enracinement

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
- Présence d'un horizon limitant au développement racinaire. - Système racinaire bloqué par cet horizon, profondeur d'enracinement moyenne de la culture non atteint. - Présence de racines de conformation anormale (coudées, en arête de poisson, en fil de fer) ou racines développées à l'horizontale.	Profil limitant
- Présence d'un horizon contraignant. - Système racinaire développé mais partiellement contraint, quelques racines traversant tout de même cet horizon contraignant. - Quelques racines de conformation anormale peuvent être observées.	Profil contraignant
- Absence d'horizon limitant, limites entre horizons difficiles à différencier. - Système racinaire développé dans l'ensemble de son potentiel. - Pas de racines de conformation anormale.	Profil favorable

I4. Etat structural des agrégats

Une « Aide aux calculs » est présente dans l'outil Excel, afin de vous simplifier la manipulation des calculs explicités ci-dessous.

Sélectionner les horizons compris entre la surface et la profondeur du test bêche (Fiche indicateur – Etat structural du sol).

Pour chacun des horizons sélectionnés, faire la somme des notations associées grâce au tableau ci-dessous.

Forme des agrégats

Résultats obtenus	Notation associée
Terre fine	0
Agrégats anguleux	0
Micro-agrégats	1
Agrégats grumeleux	2

Etat structural des agrégats

Effectuer une moyenne pondérée des notations associées avec la formule suivante :

Moyenne pondérée = [(épaisseur couche 1 * notation couche 1) + (épaisseur couche 2 * notation couche 2) + (...) + (épaisseur couche n * notation couche n)] / 40cm (ou profondeur réelle si difficulté pour descendre à 40cm)

Déterminer la classe d'interprétation grâce au tableau ci-dessous.

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Moyenne pondérée = [0 ; 0.6[	Structure limitante
Moyenne pondérée = [0.6 ; 1.3[	Structure contraignante
Moyenne pondérée = [1.3 ; 2]	Structure favorable

15. Hydromorphie

Déterminer le niveau de contrainte causée par la présence d'hydromorphie grâce au tableau ci-dessous.

Profondeur d'enracinement moyenne	Enracinement superficiel (< 40 cm)	Enracinement moyen (40 – 60 cm)	Enracinement profond (> 60 cm)
	Maraîchage vert (20-30cm) Ananas (30 - 40cm) Cucurbitacées (30-40cm) Pois (30-40cm)	Solanacées (40-50cm)	Agrumes Bananes (60-80cm) Cannes (60-80cm)
Hydromorphie en surface (< 40 cm)	Contraignant	Contraignant	Contraignant
Hydromorphie à niveau intermédiaire (40 – 60 cm)	Contraignant	Contraignant	Contraignant
Hydromorphie en profondeur (> 60 cm)	Non contraignant	Non contraignant	Contraignant

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Contraignant	Contraignant
Non contraignant	Non contraignant

16. Vitesse d'infiltration de l'eau

Une « Aide aux calculs » est présente dans l'outil Excel, afin de vous simplifier la manipulation des calculs explicités dans la fiche technique indicateur associée.

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Vitesse < 50 cm/h	Faible
Vitesse = [50 ; 500] cm/h	Correcte
Vitesse > 500 cm/h	Forte

17. Pente

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Pas de pente, Pente faible, Pente modérée avec un couvert végétal important	Faible à nulle
Pente modérée ou Pente forte avec un couvert végétal important	Modérée
Forte pente	Forte

18. Teneur en éléments nutritifs majeurs

Notation par élément : N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, Na₂O

Pour chaque élément majeur, déterminer une catégorie associée grâce au tableau ci-dessous.

Résultats obtenus sur analyses de sol	Catégorie associées
CARIBAGRO : Très faible (Rouge), Faible (Rouge) PRETASCIC : Très faible (TF), Faible (F)	Limitant
CARIBAGRO : Acceptable (Vert clair/jaune) PRETASCIC : Un peu faible (UPF)	Moyen
CARIBAGRO : Correct (Vert clair/jaune), Fort (Vert foncé) PRETASCIC : Satisfaisant (S), Elevé (E) CARIBAGRO : Trop fort (vert foncé) PRETASCIC : Très élevé (TE), Excessif (Ex)	Optimal à Elevé
Éléments nutritifs majeurs	
Résultats obtenus sur analyses de sol	Classes d'interprétations
≥ 2 éléments sur les 6 sont limitants	Limitante
6 éléments sont moyen	
1 élément sur les 6 est limitant	Moyenne
≥ 2 éléments sur les 6 sont moyens et les autres sont optimaux ou élevés	
1 éléments sur les 6 est moyen et les 5 autres sont optimaux ou élevés	Optimale à élevée
6 éléments sur les 6 sont optimaux ou élevés	

19. Pierrosité

Pourcentage d'éléments grossiers	Indication sur la quantité d'éléments grossiers
Pierrosité = [0 ; 15 %]	Faible à nulle
Pierrosité =]15 à 30 %]	Moyenne
Pierrosité =]30 à 100 %]	Dominante

110. Statut acido-basique du sol (pH)

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
pH mesuré < 5,5 ou pH mesuré > 7	Déséquilibré
pH mesuré = [5,5 ; 7]	Optimal

111. Texture

Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Sols sableux	Dominante sableuse
Sols sableux-limoneux	
Sols limoneux	Équilibré
Sols argilo-limoneux	Dominante argileuse
Sols argileux	

I12. Taux de MO total (%)		
Type de sol	Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Andosols perhydratés	MO total < 8	Faible
	MO = [8 ; 11[	Moyen
	MO total ≥ 11	Optimal
Andosols	MO total < 7	Faible
	MO = [7 ; 9[	Moyen
	MO total ≥ 9	Optimal
Bruns andiques	MO total < 4	Faible
	MO = [4 ; 7[	Moyen
	MO total ≥ 7	Optimal
Nitisols - Bruns rouille à halloysite	MO total < 3	Faible
	MO = [3 ; 4[	Moyen
	MO total ≥ 4	Optimal
Ferrallitiques	MO total < 3	Faible
	MO = [3 ; 4[	Moyen
	MO total ≥ 4	Optimal
Vertisols moyens et profonds	MO total < 3	Faible
	MO = [3 ; 5[	Moyen
	MO total ≥ 5	Optimal
Sols vertiques courts et squelettiques	MO total < 4	Faible
	MO = [4 ; 6[	Moyen
	MO total ≥ 6	Optimal

I13. Etat sanitaire des racines	
Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Plus d'1 racine sur 6 prélevées n'a pas un bon état sanitaire	Impact fort
1 racine sur 6 prélevées n'a pas un bon état sanitaire	Impact partiel à nul
6 racines ont un état sanitaire bon	

I14. Présence de mousses et algues en surface du sol	
Résultats obtenus	Classes d'interprétations
Présence de mousse et/ou algues sur la parcelle	Présence
Absence de mousse et/ou algues sur la parcelle	Absence

I15. C/N du sol	
Résultats obtenus	Classes d'interprétations
C/N < 9 ou C/N > 11	Déséquilibré
C/N = [9 ; 11]	Équilibré

Outil Excel – Diagnostic de fertilité des sols :

Un OAD Excel, **Diagnostic fertilité des sols®** a été développé comme support d'évaluation de l'état de fertilité des sols. Les classes d'interprétation déterminées pour chaque indicateur sont renseignées dans cet outil. Cet OAD est présent sous deux formats :

- « **Diagnostic Fertilité des sols_s_SOLORGA** » pour les diagnostics sans test bêche (cultures à enracinement moyen à profond),
- « **Diagnostic Fertilité des sols_a_SOLORGA** » pour les diagnostics avec test bêche (cultures à enracinement superficiel).

Il permet d'obtenir un arbre d'évaluation de l'état de fertilité du système étudié.

VIII. Limites du diagnostic

Suite à une série de diagnostics effectués dans les différents types de sols de la Guadeloupe, les limites suivantes ont pu être déterminées pour chacun des indicateurs étudiés (tableau ci-dessous).

Analyses de sols : I8. Teneur en éléments nutritifs majeurs I12. Taux de MO du sol I15. C/N du sol I10. Statut acido-basique du sol	Il n'existe pas de laboratoire d'analyses de sol en Guadeloupe. Il est donc nécessaire de travailler avec les prestataires locaux proposant, en collaboration avec des laboratoires, le service de prélèvement de sol, d'envoi pour analyse et d'interprétation des résultats. Les références pour les interprétations du taux de MO, du fractionnement de la MO, du C/N du sol, ont été déterminées grâce aux données bibliographiques, aux études spécifiques à nos territoires, et ajustées à dire d'expert (Marc DOREL – CIRAD GECO).
I1. Résistance à la pénétration (compaction)	Les tests de résistance à la pénétration doivent être analysés dans un sol humide et ressuyé. Un sol trop sec présentera une compaction exacerbée, induite par le sec, donc moins représentative de la compaction réelle. Les tests au pénétromètre ne peuvent pas être effectués dans un sol trop caillouteux. Dans les sols très argileux et humides, il peut y avoir un phénomène de « succion » pouvant influencer les résultats obtenus. Les tests au couteau dans un profil cultural permettent de mieux apprécier la compaction du sol, car celle-ci est analysée en plus d'autres indicateurs telle la structure du sol, la qualité de l'enracinement. Cependant, cette méthode d'évaluation nécessite une certaine expertise sur la méthode et sur les types de sols étudiés.
I14. Présence de mousses et algues en surface	Cet indicateur est basé sur des observations visuelles de la surface du sol de la parcelle étudiée. Il s'agit d'un indicateur simple et rapide. Il est cependant préférable de mettre en relation et critiquer les résultats obtenus avec d'autres indicateurs de fertilité biologique.
I6. Vitesse d'infiltration de l'eau	Les mesures de vitesse d'infiltration sont relativement fiables lorsqu'elles sont réalisées en quantités suffisantes et dans de bonnes conditions. Dans des sols trop secs, les mesures peuvent être faussées avec la présence de fentes de retrait, surtout dans les sols très argileux.
I7. Pente	L'appréciation de la pente dépend fortement de l'opérateur. En effet, cet indicateur est basé sur des appréciations visuelles. Il est possible d'utiliser une carte pour avoir des indications plus précises sur la pente.

I11. Texture	Les résultats des tests tactiles et tests du boudin dépendent de l'appréciation et de l'expérience de l'opérateur. Ils permettent d'apprécier la classe des particules minérales (argile, limon, sable) prédominantes dans le sol. Cependant, ils ne permettent pas de déterminer des proportions précises. Ces tests dépendent également du volume d'eau utilisé pour humecter l'échantillon. Il est donc nécessaire d'avoir une certaine expertise afin de les utiliser correctement. Les tests de sédimentation ne sont pas mobilisables pour les sols très riches en argiles. En effet, certaines particules d'argiles restent agglomérées en micro agrégats très résistants à l'humectation, qui se déposent au fond du bocal. Ces tests sont plus adaptés aux sols riches en sables et en limons. Les tests de sédimentation sont donc peu adaptés au contexte pédoclimatique Guadeloupéen, au vu des types de sols très riches en argiles. C'est le cas des vertisols, sols vertiques et sols ferralitiques qui ont en moyenne plus de 80% d'argiles. Les andosols et nitisols possèdent moins d'argiles, mais la proportion argileuse reste tout de même élevée (au moins 60% d'argiles).
Test bêche : I2. Etat structural des mottes I4. Etat structural des agrégats I5. Hydromorphie	Il est préférable de réaliser l'étude de ces indicateurs dans un profil cultural. Cependant, l'étude d'un profil cultural nécessite une certaine expertise, du temps et un budget adapté. Il est possible d'évaluer ces indicateurs dans un test bêche, sur les 30-40 premiers centimètres du sol. Ce test nécessite moins de matériel, de moyens financiers et de temps qu'un profil cultural, cependant, l'étude du sol sur tout son potentiel agronomique n'est pas possible. En effet, une grande majorité des sols de Guadeloupe sont profonds (supérieur à 80 cm de profondeur). Le test bêche pourrait être une alternative envisageable au profil cultural pour des cultures à enracinement superficiel comme certaines cultures de maraîchage ou encore l'ananas.
I3. Qualité d'enracinement : - Conformation des racines - Profondeur de prospection racinaire - Répartition spatiale des racines - Etat sanitaire des racines	L'étude des indicateurs de la qualité de l'enracinement est à réaliser dans un profil cultural. Le profil permet d'avoir une vue de l'ensemble du système racinaire, ainsi que celui du couvert végétal présent. Une certaine expertise est à acquérir pour bien appréhender les indicateurs tel que la Conformation des racines ou l'Etat sanitaire des racines. Il est possible d'étudier ces indicateurs lors d'un test bêche. Les résultats obtenus seront uniquement pertinents pour les cultures à enracinement superficiel tel l'ananas et certaines cultures de maraîchage.

IX. Grille de notation terrain



Cette grille est à photocopier/imprimer format A4 pour une utilisation sur le terrain.

Technicien effectuant le diagnostic :
Structure :
Date :
Nom et prénom du producteur :
Adresse :
Téléphone :
Culture :
Parcelle :
Référence analyse de sol :

Pente : ☐ Faible à nulle ☐ Modérée ☐ Forte	Remarque :
---	-------------------

Présence de mousse et d'algues : ☐ Présence ☐ Absence	Remarque :
--	-------------------

Pierrosité :%	Remarque :
-------------------------------	-------------------

Résistance à la pénétration :

<u>Exemple</u>		<u>Répétition 1</u>		<u>Répétition 2</u>	
Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche	Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche	Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche
35 cm	vert				
45 cm	rouge				
80 cm	jaune				
<u>Répétition 3</u>		<u>Répétition 4</u>		<u>Répétition 5</u>	
Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche	Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche	Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche
<u>Répétition 6</u>		<u>Répétition 7</u>		<u>Répétition 8</u>	
Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche	Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche	Profondeur du changement de couleur	Couleur de la couche
Remarque :					

Vitesse d'infiltration de l'eau :

Répétition n°1			Répétition n°2			Répétition n°3		
Bouteille	Temps		Bouteille	Temps		Bouteille	Temps	
	Minutes	Secondes		Minutes	Secondes		Minutes	Secondes
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
5			5			5		
6			6			6		
7			7			7		
8			8			8		
9			9			9		
10			10			10		
11			11			11		

Répétition n°4			Répétition n°5			Répétition n°6		
Bouteille	Temps		Bouteille	Temps		Bouteille	Temps	
	Minutes	Secondes		Minutes	Secondes		Minutes	Secondes
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
5			5			5		
6			6			6		
7			7			7		
8			8			8		
9			9			9		
10			10			10		
11			11			11		

Remarque :

Test bêche :

Profondeur du test Bêche :cm

Etat structural des mottes :

Epaisseur de la couche (cm)	Structure des mottes

Remarque :

Etat structural des agrégats :

Epaisseur de la couche (cm)	Structure des agrégats

Remarque :

Texture :

Epaisseur de la couche (cm)	Texture au toucher

Remarque :

Hydromorphie :

Profondeur de l'hydromorphie	Présence/Absence

Remarque :

Qualité d'enracinement :

- ☐ Profil contraignant
- ☐ Profil limitant
- ☐ Favorable

Remarque :**Etat sanitaire des racines :**

Racines prélevées	Etat sanitaire correct	Etat sanitaire dégradé
1	☐	☐
2	☐	☐
3	☐	☐
4	☐	☐
5	☐	☐
6	☐	☐

Remarque :



Institut Technique Tropical (IT2) – Siège social : C/O BANAMART, QUARTIER BOIS ROUGE, 97 224 DUCOS – Tel : + 596 596 42 43 44 – Site : www.it2.fr

Crédits : Loïc NORMAND (IT2), Chloé QUIMEBY (IT2), Benoît HEUGUET (IT2), Frédéric THOMAS (Farming communication), Marc DOREL (Cirad - GECO), Elodie DOREY (Cirad – GECO), Marie SAUVADET (Cirad - GECO), Mathieu COULIS (Cirad – GECO)

Mentions légales : Ce diagnostic a été conçu dans le cadre du projet européen SOLORGA. Il est la propriété exclusive de l'IT2. Toute reproduction, représentation, ou adaptation totale ou partielle de ce diagnostic par une personne physique ou morale, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation expresse de l'IT2, est interdite.

Version 1 (30/12/2022)