

Directives d'Analyse du Sol

**NOTES TECHNIQUES DU PROGRAMME
D'AGRICULTURE ET MOYENS DE SUBSISTANCE**

AVRIL 2020

PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES CAPACITES
EN AGRICULTURE ET MOYENS DE SUBSISTANCE

Contexte

L'infertilité du sol est une contrainte majeure pour l'amélioration de la production agricole envers les petits agriculteurs. Dans les zones d'interventions des membres de Canadian Foodgrains Bank, les sols se dégradent et deviennent médiocres en éléments nutritifs et matières organiques. L'analyse du sol mesure la santé et la capacité de rétention des éléments nutritifs, et fournit l'état de sa santé et des éléments nutritifs contenus dans le sol. Elle sert aussi de base pour les décisions de gestion des cultures et du sol. L'analyse du sol a été proposée par les techniciens spécialistes, par les agents gouvernementaux de vulgarisation et à travers les messages radiodiffusés. Par conséquent, il y a une demande croissante par les agriculteurs et des partenaires du projet pour des stratégies et services d'analyse du sol. Les agriculteurs ont besoin d'une directive spécifique sur quels meilleurs intrants fertilisants, et quelle quantité à appliquer.

Vu plusieurs options d'analyse du sol disponibles, il est important d'identifier quelles analyses sont les plus utiles pour un projet donné, et pour quelle raison. Certaines analyses sont utiles pour élaborer des recommandations sur la façon dont les agriculteurs gèrent les cultures. D'autres analyses pourraient ne pas aider dans la prise de décisions face à la gestion des cultures, mais sont plutôt utiles à la formation des agriculteurs en vue de pouvoir réfléchir à la santé du sol. D'autres sont encore utiles au contrôle et à l'évaluation des effets du projet aux éléments nutritifs et à la santé du sol. Ce guide est désigné pour aider les partenaires à décider quelles analyses sont plus importantes et rentables pour leur contexte.

Quelles sont les composantes principales de la fertilité du sol ?

Les éléments nutritifs du Sol sont utilisés par les plantes en quantités suffisamment différentes. L'Azote (N), le Phosphate (P) et le Potassium (K) sont utilisés par les plantes en quantités relativement énormes, et sont donc appelés *macronutriments*. N, P et K sont aussi des composantes principales des engrais synthétiques et des amendements organiques comme le fumier et le compost. Ainsi, en plus donc du fait de s'assurer de la croissance vigoureuse des cultures, leur utilisation optimale peut rapporter plus de bénéfices sur des investissements monétaires et/ou en main-d'œuvre pour cet intrant coûtant. Le Calcium (Ca), le Magnésium (Mg) et le Soufre (S) sont utilisés par les plantes en quantités réduites, et sont appelés *éléments nutritifs secondaires*. Ces éléments ne limitent pas la croissance des plantes aussi souvent que les macroéléments nutritifs, et sont beaucoup moins communs comme composantes des engrais. Les *microéléments nutritifs* (comme Zinc et Manganèse par exemples) sont utilisés par les plantes en petites quantités, et leur disponibilité dans le sol est plus communément limitée par le pH du sol que par leur abondance actuelle dans le sol.

Le pH du sol est la mesure de la quantité de l'acidité ou de l'alcalinité contenue dans le sol, mesurée sur une échelle de 0 à 14, avec des chiffres *bas* indiquant une *haute* acidité. Le pH du sol affecte la disponibilité de tous les éléments nutritifs du sol – macro, secondaires, et micro – ainsi, lorsque le sol est trop acide ou alcalin, les plantes peuvent ne pas utiliser les éléments nutritifs même quand ils sont présents dans le sol. De plus, la fixation de l'Azote dans les légumes est réduite dans les sols plus acides. Finalement, quelques éléments du sol comme l'aluminium, peuvent devenir toxiques si les sols

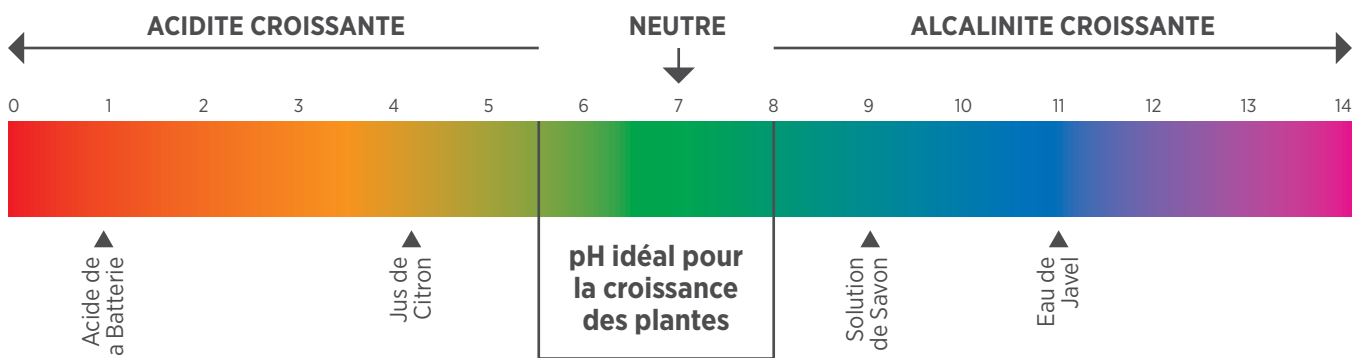


Schéma 1. pH idéal pour la croissance des plantes.

ne sont pas suffisamment maintenus. En considération de tous ces facteurs, la plupart des cultures connaissent une bonne croissance au niveau de pH située entre 5.5 et 8.0 (*schéma 1*). Etant donné plusieurs impacts du pH du sol sur la chimie du sol, il est clairement dans l'intérêt de l'agriculteur d'essayer et de gérer les sols à ce niveau.

Une autre composante du sol ayant de larges impacts sur la fertilité du sol est la Matière Organique du Sol (M.O). La M.O sert de source à libération lente de la plupart des éléments nutritifs du sol. Il agit aussi comme un dépôt pour les éléments chargés positivement comme le K, Ca et le Mg, en les protégeant contre la disparition causée par l'excès de l'eau. Finalement, la M.O est le moteur principal pour l'activité microbienne du sol, qui montre les éléments nutritifs du sol solubles, et améliore de bonnes propriétés physiques, la bonne rétention de l'humidité et l'écoulement de l'humidité en excès.

Quelques-unes de ces composantes du sol sont facilement gérées par les agriculteurs que d'autres. Quelques-unes peuvent être mesurées localement, et d'autres exigent de chers tests de laboratoire. Une bonne stratégie du sol doit donc répondre à plusieurs questions suivantes:

1. Quels facteurs peuvent affecter la croissance des plantes?
2. Quels facteurs sont dans la capacité de gestion des agriculteurs avec lesquels nous travaillons?

3. Quel est le coût pour mesurer chaque facteur?

Les pages suivantes tentent de résumer ces questions complexes pour permettre aux agriculteurs de prendre des meilleures décisions de gestion, aider le personnel du projet de contrôler leur impact d'interventions dans les activités relatives à la santé et à la fertilité du sol, et pour aider chacun à comprendre l'importance de la santé du sol dans l'amélioration de la sécurité alimentaire et la santé environnementale.

Recommandations d'analyse des sols pour les décisions de gestion des cultures

Comme indiqué ci-dessus, certains tests de sol ne sont pas utiles pour prendre des décisions de gestion parce que les intrants qu'ils demandent peuvent être trop chers pour que les petits agriculteurs puissent s'en approvisionner. D'autres tests peuvent fournir d'information pouvant être utilisée par les agriculteurs pour réaliser des changements qui augmentent leur productivité. Les projets devraient se concentrer sur ces tests pour décider comment conseiller les agriculteurs. Les directives suivantes résument ces éléments :

- **Le Test du pH du sol**, comme indiqué ci-dessus, est important parce que le pH règle de nombreux processus qui mènent à une bonne croissance des

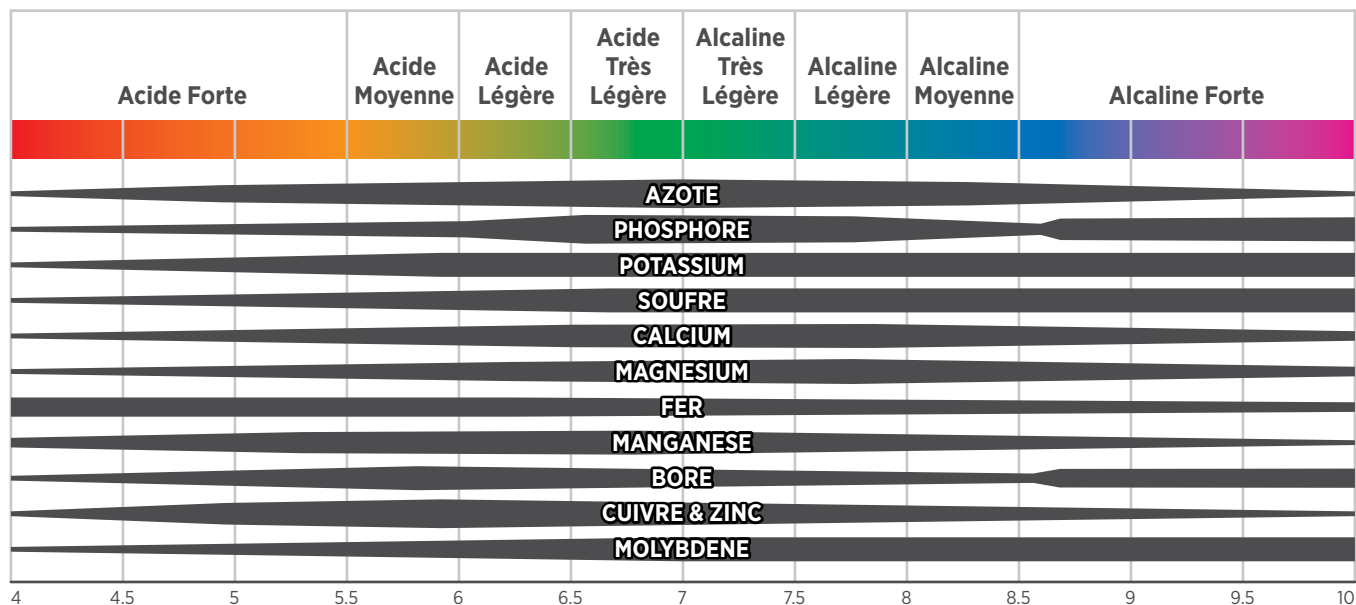


Schéma 2. Disponibilité des nutriments affectés par le pH du sol (Roques, et al.)

plantes. En outre, les agriculteurs peuvent améliorer le pH des sols acides en utilisant de la chaux et/ou de la cendre de bois. L'analyse du pH du sol à l'aide de bandelettes de pH coûte moins de 0,15 \$ par échantillon (voir annexe B), et ainsi, les petits agriculteurs individuels peuvent généralement devenir capables de faire tester leurs champs. Les tests du pH du sol doivent être effectués tous les 3 ou 4 ans pour contrôler les changements au fil du temps.

- **Les tests complets sur les éléments nutritifs du sol doivent inclure le pH, le phosphore (P) et le potassium (K)** - Des analyses supplémentaires du sol pour le Ca, le Mg et la capacité d'échange cationique sont parfois incluses sans coût supplémentaire, mais sont moins utiles, car comme indiqué ci-dessus, elles ne sont généralement pas utiles comme limitant.

Les tests complets des éléments nutritifs du sol sont généralement trop coûteux (par exemple, entre 25 et 50 \$ par échantillon) pour que les petits agriculteurs individuels puissent les financer.

Cependant, tester plusieurs sortes de sols dans une zone donnée peut aider le personnel du projet à élaborer des recommandations générales sur les engrais les plus importants dans la région et sur quels types et taux d'utilisation d'engrais, de compost et/ou de fumier que les agriculteurs devraient utiliser. Par exemple, ils peuvent trouver que les sols d'une région argileuse sont moins riches en P et ont par conséquent besoin des engrais riches en P ou des taux élevés de fumier. Ou, ils peuvent trouver que les sols rouges d'une région sont hautement riches en acide et ont par conséquent besoin d'amples doses de la chaux ou de la cendre de bois. Au fil du temps, lorsque la qualité du sol s'améliore, le personnel du projet peut effectuer le test du sol pour permettre aux agriculteurs de réduire les intrants (compost, fumier, engrais, chaux ou cendre de bois) sans compromettre le rendement, surtout s'ils utilisaient ces éléments en grande quantité.

- **Test des Matières Organiques du sol** – Comme indiqué ci-dessus, vu que la M.O fournit beaucoup de profits à la santé et à la fertilité du sol, l'objectif devrait être celui de *maximiser* les niveaux des M.O du sol. Le test des M.O n'aide pas généralement dans la prise des décisions de gestion (les agriculteurs devraient *toujours* lutter pour l'augmentation des M.O s'ils le peuvent !) Cependant, la documentation croissante sur les niveaux des M.O, ou la hausse des M.O dans les champs des projets que dans les champs individuels, peut motiver les agriculteurs à gérer leurs sols convenablement.
- **Le Test de l'Azote** est souvent cher et le contenu de l'azote du sol change rapidement, surtout

dans les conditions froides. *Pour cette raison, le test de l'azote ne facilite pas généralement le développement des recommandations de fertilité.* Les taux de l'azote sont mieux déterminés sur base de la demande actuelle de l'N par les cultures, toute contribution de N des cultures antérieures, l'histoire de l'utilisation du fumier et/ou du compost, et le climat récent (les pluies excessives signifient généralement moins de N naturel disponible dans le sol).

- **Le test des microéléments nutritifs** est aussi cher et la disponibilité de la plupart des microéléments est fortement influencée par le pH du sol (*schéma 2*). De plus, les engrais en éléments micro nutritifs sont rarement disponibles pour les petits agriculteurs. *Pour ces raisons, il est généralement mieux de projeter sur la bonne gestion du pH du sol et sur l'utilisation du fumier ou compost qui fournissent les microéléments nutritifs que de dépenser du temps et de l'argent sur le test des microéléments nutritifs.*
- **La texture du sol** n'est pas quelque chose que les agriculteurs peuvent changer ou influencer. L'analyse au laboratoire est chère, et il existe donc une raison moins importante d'inclure la texture du sol dans l'analyse au laboratoire. La texture manuelle peut être facilement apprise (voir Annexe C) et il est suffisamment convenable dans la prise de décisions de gestion.

Les méthodes de test des sols pour l'éducation des agriculteurs

- **Croissance et rendement des cultures**, y compris la compréhension des [signes de la déficience des éléments nutritifs dans les cultures](#), est généralement la preuve souvent plus connue, et plus convaincante de la croissance et de la fertilité du sol. De telles observations n'ont pas besoin du test cher, et elles devraient être largement encouragées et dispensées.
- **L'augmentation du contenu des matières organiques du sol** est la simple stratégie la plus importante pour améliorer la santé du sol et la production des cultures et devrait être centrale dans tout effort éducatif des petits agriculteurs. La matière organique améliore la rétention de l'humidité du sol, la structure du sol, la capacité de la tenue des éléments nutritifs, l'activité biologique, le stockage du pH, etc. Elle aide aussi les plantes à l'utilisation plus efficace des engrais chimiques. Comme la couleur du sol et son contenu de la matière organique sont

en proche relation, le mesurage des changements dans la couleur du sol en utilisant le diagramme standardisé des couleurs ou par comparaisons pour contrôler les champs est un moyen simple et relativement fiable permettant aux agriculteurs de discuter et de contrôler les changements des matières organiques du sol.

- **Démonstrations de l'infiltration et érosion du sol** en utilisant les petits champs ou conteneurs sont des moyens très efficaces pour démontrer l'impact de la gestion du sol et/ou les différences entre les sols en bonne santé et ceux épuisés (voir Annexe D).
- **Tests d'évaluation de la santé du sol**, comme développé par l'[USDA](#) ou la [Cornell University](#), sont un bon commencement pour encourager les agriculteurs à réfléchir sur l'amélioration de leurs sols.

Les recommandations des tests du sol pour le contrôle et l'évaluation du projet

- **Les tests complets des éléments nutritifs du sol** sont utiles pour montrer l'état de départ, et mesurer les changements dus aux pratiques de gestion avancées. 30 à 40 champs devraient être sélectionnés au hasard au début du Projet. Les tests essentiels de l'état de départ comprennent : le pH, le stockage du P, le K, et la matière organique. Le N, le S et le B ne sont pas les indicateurs appropriés au début parce qu'ils sont aussi mobiles pour être cohérents au fil du temps.
- **Les tests d'évaluation de la santé du sol**, y compris la couleur du sol, la structure, l'activité biologique, etc., sont aussi des bons paramètres pour le contrôle en tant que partie de la stratégie de contrôle et d'évaluation.
- **La texture du sol** n'est pas une mesure appropriée car elle n'est pas affectée par les pratiques de gestion.
- **L'échantillonnage de suivi pour contrôle** devrait avoir lieu dans les mêmes champs comme référence, **à la même période d'une année.** L'échantillon pris lors d'une saison sèche peut être difficile à comparer à celui d'un état de départ testé lors d'une saison humide. La comparaison des résultats de l'état de départ à ceux des années qui suivent peut-être utile, mais il est aussi plus utile de comparer les champs du projet à un champ adjacent qui n'a pas été géré suivant les méthodes recommandées. Les projets pouvant planifier les tests de suivi du sol pour contrôle et évaluation devraient donc prévoir un budget pour deux fois

plus d'échantillon du sol (60 à 80 champs) qu'ils ont prélevé dans leur échantillon de référence.

- **Les données détaillées** sur le sol ainsi que sur les pratiques de gestion des cultures pour ces champs **devraient être gardées** pour contrôle et évaluation. Ceci montrerait l'information qui guidera les recommandations futures du projet. Par exemple, l'utilisation des différents types et épaisseurs du paillis, différentes sortes de cultures de couverture servant d'engrais vert, ainsi que celle de la cendre de bois ou de la chaux, etc.

Défis des tests du sol envers les petits agriculteurs :

- Les tests du sol commercial incluent souvent les recommandations sur les éléments nutritifs. Ces recommandations devraient se baser sur les études relatives aux résultats des cultures conduites en utilisant des doses de fertilisants variées et dans les conditions variantes, résultant aussi aux recommandations relatives à l'utilisation des engrais basée sur les types des sols, les cultures, et le rendement attendu. Cependant, dans beaucoup d'environnements, et pour plusieurs cultures, de telles recherches n'ont jamais été conduites, surtout dans les pays où résident les petits agriculteurs. Donc, lorsque les vastes recommandations de fertilité peuvent être fournies pour une région, on n'a pas confiance aux taux spécifiques des champs individuels.
- Les études relatives aux résultats des cultures se concentrent généralement sur les engrais minéraux mais rarement sur les amendements d'étude comme le fumier et le compost. Ceci est dû partiellement au fait que la composition des éléments nutritifs de ces amendements varient largement.
- Même lorsque les tests du sol convenables et les données des résultats sont disponibles, les petits agriculteurs ont souvent accès à un nombre limité d'engrais et d'amendements du sol seulement.
- Les résultats du test ne révèlent pas souvent pourquoi les méthodes de laboratoire ont été utilisées pour l'analyse. Sans cette information il est quelque fois difficile d'interpréter ces résultats.
- Les genres d'analyse des sols à moins chers, tel que le quasi infrarouge spectroscopique utilisé par quelques laboratoires commerciaux, ayant besoin même d'une plus grande calibration que les méthodes de laboratoire traditionnelles, et dans plusieurs cas, les données pour la calibration adéquate n'est pas disponible.

Annexe A : Procédures d'analyse des sols

Les échantillons des sols bien collectés sont importants pour un test efficace. Les champs individuels ont habituellement un vaste niveau de variation, et il y'en a même plus de variation entre champs ou différentes parties d'une ferme. Pour développer une efficace stratégie de fertilité du sol, il est important d'être au courant de ces différences et analyser convenablement.

OU COLLECTER LES ECHANTILLONS

Avant d'effectuer l'échantillonnage, dessiner la carte de votre champ. Diviser votre carte en parties individuelles, ou zones de gestion, chacune consistant en un seul type de sol ou ayant sa propre condition (pente, couleur du sol, drainage ou texture). Si ces zones sont grandes de taille, échantillonnez chacune séparément. Les zones ayant été gérées différemment dans le passé peuvent se distinguer et doivent aussi être échantillonnées séparément. Par exemple, dans de nombreuses fermes, les champs environnant les maisons reçoivent des hauts taux d'intrants par rapport à ceux lointains. Les agriculteurs savent quelles parties de leurs champs sont plus ou moins productives, et cette connaissance peut être utilisée pour aider à orienter combien de zones différentes ont besoin d'être échantillonnées.

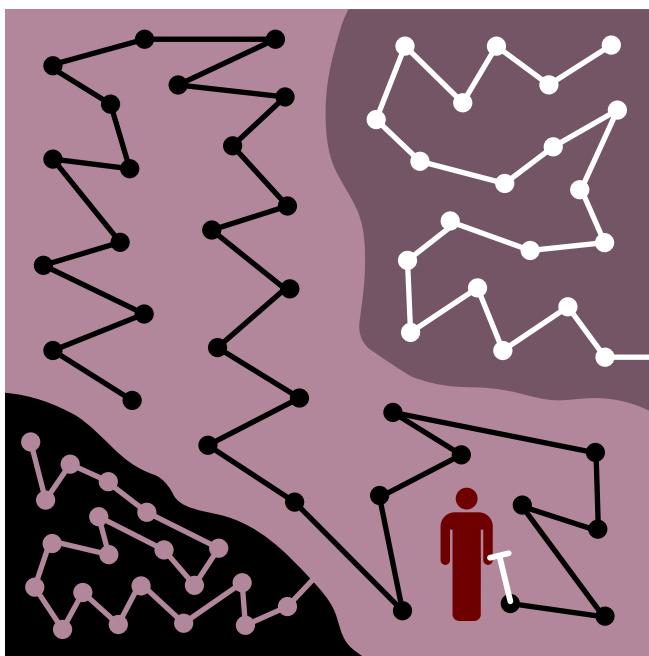


Schéma 3. Modèle d'analyse du sol pour un champ avec 3 zones de gestion différentes (Hardy, et al., 2002).

Pour s'assurer d'un échantillonnage représentatif, évitez de prélever des échantillons dans de petites zones où les conditions du sol peuvent différer considérablement de celles situées dans le reste du champ (par exemple les extrémités du champ, sous les arbres, zones humides, les zones sévèrement érodées, les vieux sites ou étables).

Dans les champs ayant des stations de plantation permanentes, un échantillon doit être pris des stations de plantation, et un échantillon en dehors des stations de plantation.

QUAND COLLECTER LES ECHANTILLONS

Collectez et présentez au laboratoire pour analyse les échantillons prélevés plusieurs fois avant de planifier la plantation. L'obtention des résultats d'analyse peut prendre du temps, est c'est important de s'assurer qu'il y'a du temps adéquat pour trouver et utiliser des intrants recommandés avant la plantation. *S'il s'agit de la répétition de l'échantillonnage, veuillez toujours échantillonner pendant la même saison de l'année que la précédente.*

COMMENT COLLECTER LES ECHANTILLONS

Les outils essentiels pour la collection des échantillons du sol comprennent un sceau en plastique et une pioche, une houe ou une sonde de sol. S'il s'agit de l'analyse des microéléments nutritifs, veuillez ne pas utiliser les outils en laiton, bronze ou galvanisés car ils peuvent contaminer les échantillons avec les métaux. Veuillez nettoyer le sceau et les outils avant de collecter les échantillons pour éviter que des petites quantités comme cendre, composte ou engrais ne contaminent les échantillons ou ne déforment les résultats d'analyse.

La profondeur requise pour un échantillonnage dépend de la gestion antérieure du champ. Pour les cultures en rangs ou les jardins potagers, échantillonnez jusqu'à la profondeur de 15cm. Les cultures pérennes à racines profondes doivent être échantillonnées plus profondément. Collectez les échantillons du sol de 15 à 20 locations distancées à travers un champ et placez-les dans le sceau ensemble. Les modèles en zigzag permettent de garantir que les échantillons reflètent convenablement les conditions générales du champ. Même si une sonde de sol est idéale, les échantillons peuvent être collectés en utilisant une pioche, une houe ou une sonde de sol comme suit : débarrassez tout matériel/paillis présent sur la surface et puis creusez un trou de 15cm de profondeur.

Coupez maintenant une épaisse couche de sol de 2 à 3cm d'un côté du trou et placez-la soigneusement dans le sceau. Mélangez soigneusement les noyaux et placez 250 à 400 ml de terre dans un sac étiqueté avec un stylo à encre permanent. Les échantillons doivent être séchés à l'air, surtout au moment de l'analyse de l'azote. Les sacs en papier accélèrent ce processus. Cependant, une fois séchés, les sacs en plastique peuvent être utilisés pour le stockage.

A QUELLE FREQUENCE FAUT-IL ECHANTILLONNER

Les éléments nutritifs du sol ne changent pas rapidement en réponse aux pratiques de gestion. Dans la plupart des cas, il suffit d'échantillonner tous les 3 ou 4 ans.

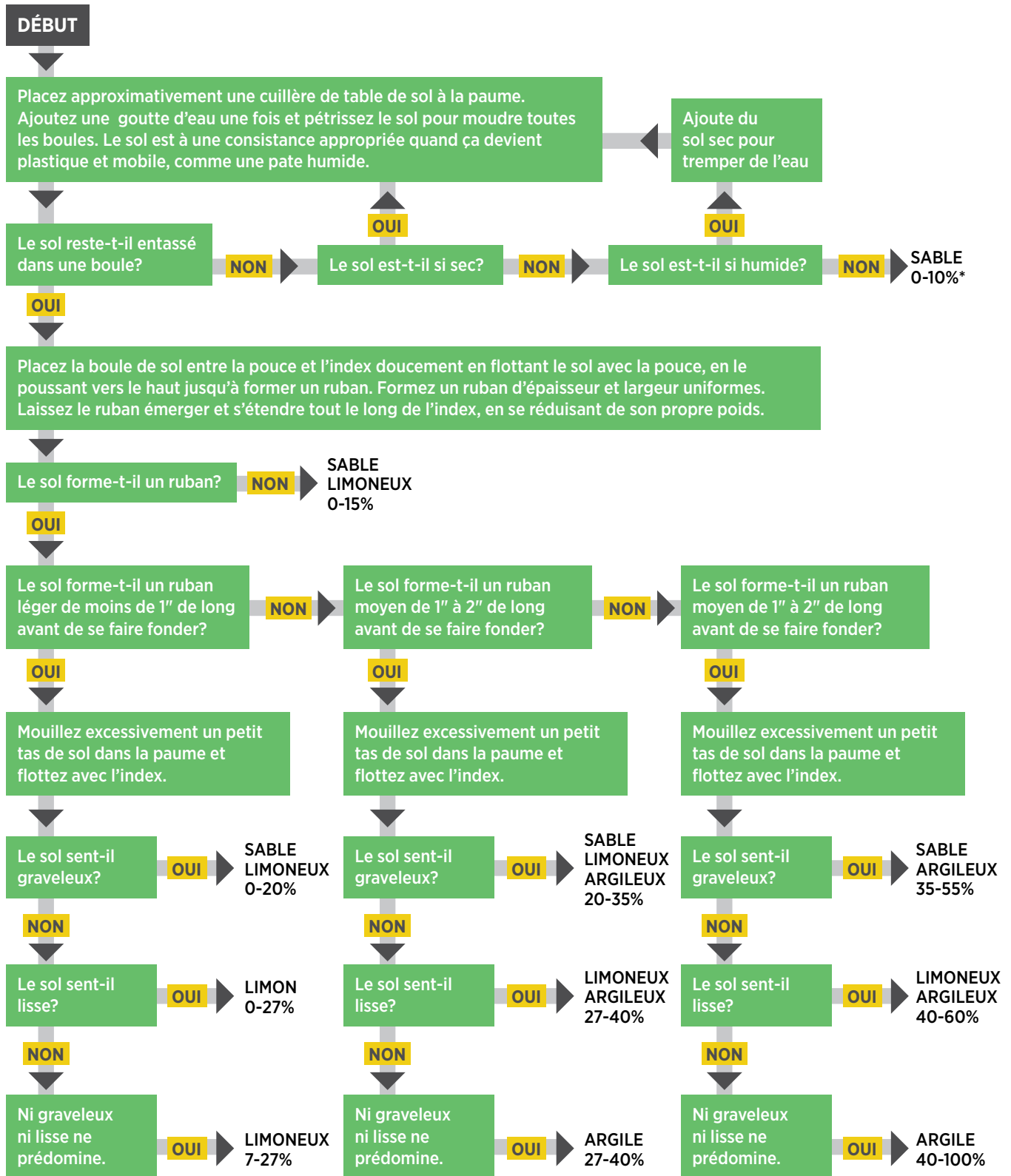
Annexe B : Mesurer le pH du sol avec les bandelettes de pH

Les bandelettes de pH sont disponibles chez les dépôts médicaux ou ceux offrant les services généraux de laboratoire. Cependant, leurs qualité et facilité des résultats sont largement différentes. Avant l'utilisation d'une marque particulière de bandelettes de pH, il est préférable de tester son exactitude en la comparant à l'outil de mesurage de pH de laboratoire. Le papier litmus ordinaire montre seulement si le pH est supérieur ou inférieur à 7,0. Les meilleurs bandelettes trouvées pour l'échantillonnage du sol sont celles de papier pH fabriquées par Kemphasol, India et sont disponibles aux dépôts de fourniture des services de laboratoire au Kenya (et possiblement dans d'autres pays).

PROCEDURES

1. Echantillonnez les morceaux de terre en utilisant les procédures standards d'échantillonnage du sol (voir Annexe B).
2. Marquez deux bouteilles de 500 ml d'eau avec le dessus coupé. Utilisez un stylo à encre permanente pour tracer une ligne à 3 cm du fond de chaque bouteille d'eau.
3. Remplissez une bouteille jusqu'à la ligne que vous avez tracée avec du sol bien mélangé de l'échantillon que vous avez prélevé.
4. Remplissez la 2ème bouteille jusqu'à la ligne avec de l'eau distillée (i.e. eau de batterie chez un fournisseur automobile).
5. Verser de l'eau dans la bouteille contenant l'échantillon du sol et secouez suffisamment jusqu'à ce que tous les bouquets du sol se réduisent en une solution.
6. Placez 2 couches de tissu du matériel t-shirt dans la première bouteille et versez le liquide de la deuxième bouteille sur le tissu pour le filtrer.
7. Laisser le mélange stable pendant quelques minutes.
8. Tremper une couche de l'indicateur de la bandelette de pH dans le liquide clair pendant 15 secondes ou pendant tout moment recommandé par le fabricant. Si le liquide est fortement coloré par le sol, immergez seulement une petite partie de la couche (5-8 mm) dans la solution, et laissez le liquide s'emmener au niveau plus haut sur la couche. Utilisez la partie haute (effaceur) pour analyser le pH.
9. Comparez la couleur finale de la couche sur la balance d'estimation des couleurs fournie avec les couches.

Annexe C : Procédures d'analyse des sols



*Gamme de pourcentage d'argile.

Schéma 4. Texture du sol par méthode manuelle

Annexe D : Infiltration d'eau/érosion

DEMONSTRATION

www.caguide.act-africa.org/core-training-modules

I. Créer une Expérience:

A. Exposez l'expérience (30 minutes)

1. *Mesurez deux parcelles de 1m x 1m et marquez-les avec des bouts de bois (ou remplissez du sol deux containers de 20 litres coupés de côté).*
2. *Etendez le paillis sur les 2 parcelles.*
3. *Remplissez l'arrosoir de 8 litres d'eau et arrosez la parcelle **sans paillis** en tenant l'arrosoir aussi haut que possible pour impacter le sol.*
 - a) *Notez toute érosion d'eau et du sol sur la parcelle.*
4. *Remplissez l'arrosoir de 8 litres d'eau et arrosez la parcelle **avec le paillis** en tenant l'arrosoir aussi haut que possible pour impacter le sol dans la même façon.*
 - a) *Notez toute érosion d'eau et du sol sur la parcelle.*
 - b) *Enlever le paillis pour examiner le sol en bas.*

B. Questions à Discuter (30 minutes)

1. *Qu'avez-vous remarqué dans chaque parcelle?*
2. *Quelles différences attendez-vous sur les 2 parcelles si vous revenez dans 2 jours? Pourquoi?*

Remplacez le paillis et laissez les parcelles se sécher.

II. Suivi (Cette activité devrait avoir lieu plusieurs heures jusqu'à 1 journée après avoir arrosé les deux parcelles. Si cette leçon a lieu le même jour que celle relative à la Plantation avec Précision, vous pouvez diriger cette leçon maintenant, puis revenir la compléter à la fin de l'après-midi).

A. Observations au terrain (30-45 minutes)

1. *Enlever le paillis des parcelles.*
2. *Laissez les participants sentir les différences de la température dans les deux parcelles.*
3. *Tourner le sol au centre de chaque parcelle à l'aide d'une Pioche.*
4. *Donnez à chaque participant une main pleine du sol de chaque parcelle.*
5. *Questions à Discuter:*
 - a) *Quels changements voyez-vous depuis que nous avons arrosé les 2 parcelles?*
 - b) *Quelles différences voyez-vous entre les 2 parcelles? Pourquoi?*
 - c) *Sur quel sol pourriez-vous planter une culture?*
 - d) *Si nous avons planté une semence dans chaque parcelle aujourd'hui, quelle différence attendriez-vous voir dans 1 semaine?*

Annexe E : Ouvrages de référence sur l'analyse du sol, gestion de la santé et de la fertilité du sol

- Brady, N. C. 1974. *The Nature and Property of Soils*. Macmillan Publishing Co., Inc. New York.
- Canadian Foodgrains Bank. 2017. *Soil Health Assessment Field Manual*.
- Fairhurst, T. (ed.) (2012) *Handbook for Integrated Soil Fertility Management*. Africa Soil Health Consortium, Nairobi.
- Magdoff, F. and H. van Es. 2009. *Building Soils for Better Crops*, 3rd Ed. Sustainable Agriculture Network.
- McCauley, Ann, Clain Jones, and Jeff Jacobsen. 2009. *Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms*, Nutrient Management Module No. 9. Montana State University Extension.
- Moebius-Clune, B.N., et al. 2016. *Comprehensive Assessment of Soil Health - The Cornell Framework Manual* Edition 3.2, Cornell University, Geneva, NY.
- USDA. *Soil Health for Educators*. Natural Resource Conservation Service, USDA.
- Wichman, W. 2004. *World Fertilizer Manual*. International Fertilizer Association.
- Youdeowei, A. F.O.C. Ezedinma, & O.C. Onazi. 1986. *Introduction to Tropical Agriculture*. Longman. pp. 58-79.



foodgrainsbank.ca