

ÉVALUATION DE LA SANTÉ GLOBALE DES SOLS



Guide d'accompagnement pour l'interprétation des résultats associés à l'état de santé globale des composantes physiques, biologiques et chimiques des sols agricoles.

Mélanie Gauthier, Biologiste, M.Sc.
Responsable R&D

Juin 2015

L'évaluation de la Santé Globale des Sols (SGS) permet de caractériser le sol par des indicateurs reliés aux composantes physiques, biologiques et chimiques. Ces indicateurs permettent de mesurer une ou plusieurs propriétés nécessaires au bon fonctionnement du sol. **Les indicateurs physiques** apportent de l'information sur des propriétés qui favorisent la prolifération des racines et l'accès aux éléments nutritifs telles que la structure, l'agrégation et la porosité. D'autres indicateurs physiques sont reliés à des propriétés hydrauliques des sols, comme l'infiltration, la perméabilité, le drainage naturel ainsi que la rétention de l'eau. En ce qui concerne **les indicateurs biologiques**, ils apportent de l'information sur l'activité des microorganismes du sol. Le rôle des microorganismes consiste à décomposer la matière organique, former l'humus stable et recycler les éléments nutritifs pour les rendre disponibles aux plantes cultivées. Ils participent aussi au maintien de la structure du sol et réduisent l'incidence des maladies des cultures en raison de leur compétitivité avec les agents pathogènes du sol. Finalement, **les indicateurs chimiques** se réfèrent à la fertilité des sols. Un premier indicateur est la mesure de l'acidité ou la basicité du sol. Les autres indicateurs apportent de l'information sur la richesse et la disponibilité en éléments nutritifs dans le sol pour les plantes cultivées.

LE RAPPORT ET SON INTERPRÉTATION

Le rapport d'évaluation de la SGS présente les informations de l'état de santé d'un sol qui provient d'un champ ou d'une zone prédéterminée d'un champ. À cet effet, la surface prélevée doit être relativement uniforme. Le rapport est soumis sur une page et est subdivisé en quatre sections (**Annexe I**). La section 1 du rapport est la description et la provenance de l'échantillon. La section 2 indique la composition de la texture* ainsi que le pourcentage d'humidité de l'échantillon. La section 3 du rapport présente l'indicateur mesuré ou calculé, les valeurs brutes obtenues en laboratoire, l'évaluation sur une échelle entre 0 et 100 ainsi que les problèmes associés à chaque indicateur. Des mots clés apparaissent dans la colonne « Problèmes » lorsque la valeur d'un indicateur n'est pas optimale. De cette façon :

-  → Un code de couleur ROUGE est attribué à une évaluation qui se situe entre 0 et 30. Ceci indique un **problème lié au fonctionnement du sol** qui risquent de limiter les rendements, d'affecter la qualité des cultures et la durabilité de l'équilibre de l'agroécosystème.
-  → Un code de couleur JAUNE est attribué à une évaluation qui se situe entre 30 et 70. Ceci indique que le **fonctionnement du sol n'est pas optimal**. Si ces conditions persistent, la santé du sol et les rendements risquent d'être affectés, surtout si la note se rapproche de 30.
-  → Un code de couleur VERT est attribué à une évaluation qui se situe entre 70 et 100. Ceci indique que le **fonctionnement du sol est optimal ou près de l'optimal**. Il est quand même pertinent de connaître les pratiques culturales qui sont responsables de cette situation afin de les maintenir dans le temps.

Finalement, la section 4 est l'évaluation globale sur 100 de l'échantillon de sol analysé. Cette dernière considère l'ensemble des valeurs des indicateurs afin d'évaluer la santé globale du sol. Toutefois, pour identifier les fonctions du sol qui ne sont pas optimales, il est recommandé de considérer les indicateurs individuellement. Lorsqu'un ou plusieurs indicateurs sont associés à un code de couleur jaune ou rouge, **le tableau de l'annexe II de ce document contient une liste de suggestions de pratiques culturales.** Les pratiques culturales peuvent ensuite être appliquées à la ferme selon les recommandations émises par le conseiller agricole.

*LA TEXTURE DU SOL

La texture représente la grosseur des particules qui compose le sol. C'est une propriété intrinsèque du sol, ce qui signifie qu'elle ne peut être changée par les pratiques culturales. La texture devrait guider la planification des pratiques culturales, incluant la régie du travail du sol. Elle influence les trois composantes du sol : la physique, la biologie et la chimie. C'est pourquoi sa valeur est nécessaire pour l'interprétation des indicateurs. Les sols sont caractérisés en fonction de 3 groupes : G1, G2 et G3. Le groupe G1 étant les sols qualifiés de *lourds* (ALo, A, ALi, AS, LA, LLiA et LSA), G2 de *moyens* (L, LLi et Li) et G3 de *légers* (LS, SL et S.) (Figure 1 a). La texture mesurée en laboratoire détermine la composition du sol en pourcentage d'argile, de sable et de limon (Figure 1 b). La combinaison de ces trois pourcentages représente une classe texturale (sable, sable loameux, loam sableux, etc).

a)

| Classes texturales du sol | |
|---------------------------|----------------------|
| S | Sable |
| SL | Sable loameux |
| LS | Loam sableux |
| L | Loam |
| LLi | Loam limoneux |
| Li | Limon |
| LSA | Loam sablo-argileux |
| LA | Loam argileux |
| LLiA | Loam limono-argileux |
| AS | Argile sableuse |
| ALi | Argile limoneuse |
| A | Argile |
| ALo | Argile lourde |

b)

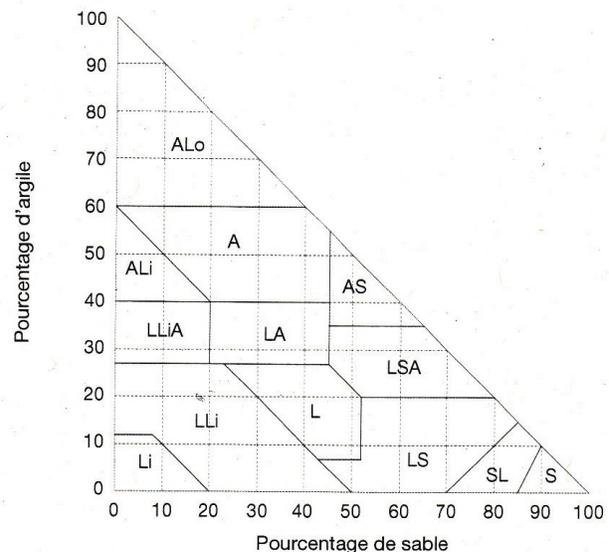


Figure 1. a) Classes texturales du sol; b) pourcentages d'argile et de sable dans chaque classe texturale (la composition est complétée par le limon).

Source : Adaptée du Guide de référence en fertilisation, 2^e édition.

LES INDICATEURS PHYSIQUES DU SOL

LES AGRÉGATS

Les agrégats sont composés de sable, de limon, d'argile, de matière organique et d'exsudats racinaires regroupés sous forme de grumeaux. L'état des agrégats est directement lié à la qualité de la structure du sol. L'organisation des agrégats détermine aussi la distribution et la dimension des pores dans le sol, donc sa porosité. Les agrégats sont séparés les uns des autres par des liens de moindre résistance que ceux qui lient les particules entre elles⁽¹⁾. Ils sont donc susceptibles de se désagréger, se coller et s'entasser, ce qui réduit la porosité et indique un début de compaction. Les agrégats aident à prévenir le croûtage, le ruissellement et l'érosion. Ils facilitent l'aération, l'infiltration et la rétention d'eau en plus d'améliorer la germination des semences, la santé des racines et des microorganismes du sol. Les agrégats sont un indicateur de la qualité de la structure d'un sol. La structure du sol est liée à sa texture, au climat, à son activité biologique, aux pratiques culturales, dont le travail du sol (Figure 2), la rotation des cultures et les manières d'utiliser la machinerie⁽²⁾. En laboratoire, les agrégats testés sont ceux dont le diamètre se situe entre 0,25 mm et 2 mm puisqu'ils répondent significativement aux pratiques culturales telles que le travail du sol et les rotations⁽³⁾.



Figure 2. Évolution de la détérioration de la structure d'un sol lourd causée par le passage de la machinerie et du travail du sol en conditions humides. La destruction des agrégats tend à entraîner des problèmes de compaction.

Source : adaptée du CRAAQ, Les profils de sols agronomiques.

LA STABILITÉ DES AGRÉGATS (%)

Le test de stabilité des agrégats (SA) traduit la capacité du sol à soutenir la structure suite à de forte pluie sur une surface de sol sec. Les sols dont la SA est faible ont tendance à croûter et limiter l'infiltration de l'air et de l'eau. Dans ces circonstances, les sols sont plus difficiles à

gérer et ont tendances à rester humides et à se compacter. À long terme, le travail intensif du sol a aussi un impact négatif sur la SA (Figure 3)⁽⁴⁾. Le test de SA évalue la résistance des agrégats (0,25 mm à 2 mm) lorsque le sol est mouillé et frappé par des gouttes de pluie. Le test permet de déterminer le pourcentage d'agrégats entre 0,25 mm et 2 mm d'un sol qui restent intacts lorsque soumis à une forte pluie. Un simulateur de pluie simule un orage en faisant tomber des gouttes de pluie sur un tamis qui contient un poids connu d'agrégats d'un sol.



Figure 3. a) Le travail du sol influence le pourcentage de SA. a) Influence du travail du sol sur un échantillon de sol prélevé dans un champ labouré, après le test de pluie. Le pourcentage de SA est de 22%. b) Influence du travail du sol réduit sur un échantillon de sol prélevé dans un champ en semis direct, après le test de pluie. Le pourcentage de SA est de 72%.

Source : adaptée de Cornell Soil Health Assessment Training Manual

LA PROPORTION D'AGRÉGATS (%)

La proportion d'agrégats (PA) est une façon d'exprimer le degré de structure d'un sol. Par exemple, dans un sol sans structure, la PA est faible ou nulle. La PA d'un sol est influencée par sa teneur en argile, les apports en matières organiques fraîches, la présence de cultures de couvertures et l'intensité de l'activité microbienne et du travail du sol. Par conséquent, la PA est souvent plus faible dans les sols ayant une teneur en sable plus élevée. La PA évalue la quantité d'agrégats entre 0,25 mm et 2 mm d'un sol. Elle est déterminée en séparant les

grains de sable grossiers et les débris organiques afin d'obtenir le poids des agrégats d'un sol.

LA RÉSERVE EN EAU UTILE (%)

La réserve en eau utile (RU) d'un sol représente la quantité d'eau que le sol peut absorber et redonner à la plante. C'est un indicateur de la capacité du sol à entreposer l'eau. Les sols avec une faible RU ont plus de risque de sécheresse et de diminution de l'efficacité des engrais, ce qui peut avoir des effets néfastes sur le rendement. Les sols à texture grossière (sableuse) retiennent naturellement moins d'eau que les sols à texture fine (argileuse) (Figure 4). En présence de faible pluviométrie, les sols sableux sont plus susceptibles de manquer d'eau. La teneur en matière organique influence aussi la RU en augmentant la capacité de rétention d'eau. C'est pourquoi, il est suggéré de favoriser l'implantation de cultures de couverture et l'ajout de compost.

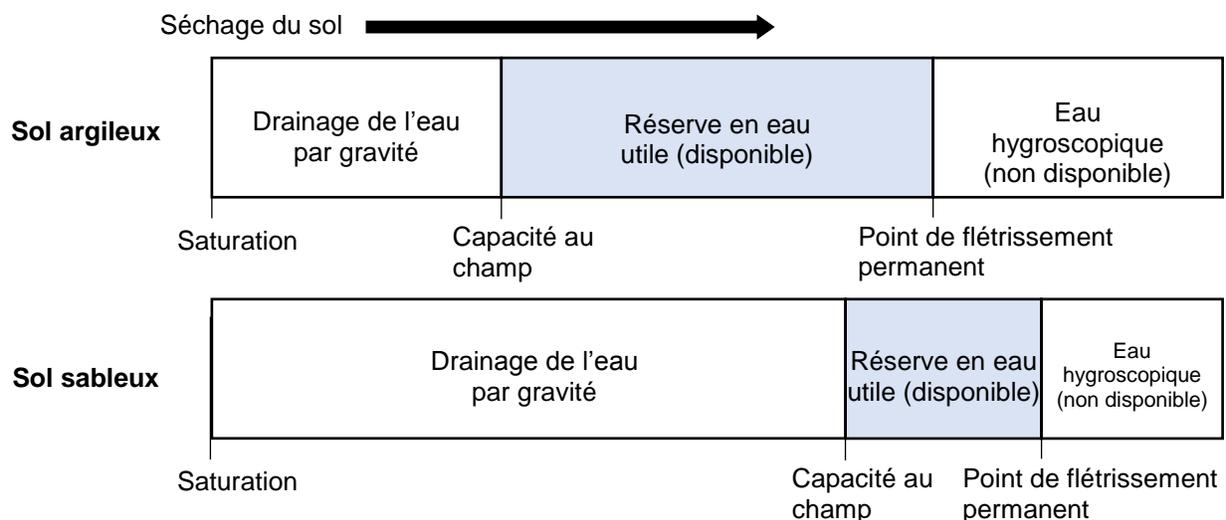


Figure 4. Compartimentation de la teneur en eau pour deux types de sol. La fenêtre en bleu représente l'eau que les plantes en culture peuvent utiliser.

Source : adaptée de Cornell Soil Health Assessment Training Manual

La RU est la différence entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement permanent (Figure 4). La capacité au champ étant la capacité maximale de rétention en eau du sol et le point de flétrissement, humidité du sol à partir de laquelle la plante ne peut plus prélever d'eau. La valeur de la RU résulte d'une analyse de modélisation mathématique qui considère plusieurs paramètres du sol tels que la texture et la matière organique. La RU est présentée sous forme d'un pourcentage d'un volume total de sol.

LES INDICATEURS BIOLOGIQUES DU SOL

LA MATIÈRE ORGANIQUE TOTALE (%)

La matière organique (MO) représente la fraction du sol qui provient de la décomposition des organismes vivants, végétaux ou animaux. Elle est constituée de trois fractions : 1) la fraction labile ou active, facilement disponible ou minéralisable; 2) la fraction lentement minéralisable et 3) la fraction plus stable, l'humus. La teneur en MO est très importante pour les fonctions biologiques (activité microbienne et minéralisation des composés organiques), physiques (agrégation et rétention en eau) et chimiques du sol (capacité d'échange cationique). Elle varie selon le type de sols, les conditions climatiques et les pratiques culturales⁽¹⁾. Par conséquent, le choix des pratiques culturales visant la conservation des sols (Annexe I) est un bon moyen de maintenir ou d'augmenter la teneur en MO. Par exemple, l'implantation d'une prairie permet d'augmenter l'apport de carbone organique par les racines et réduire les pertes par minéralisation causée par le travail du sol⁽¹⁾. Dans ces conditions, le sol résiste mieux à certaines contraintes telles que la compaction, la sécheresse et les fortes pluies. La teneur en MO totale est mesurée par la masse perdue lors de l'incinération du sol au four. La valeur est présentée comme un pourcentage de la masse totale du sol.

L'AZOTE POTENTIELLEMENT MINÉRALISABLE ($\mu\text{g NH}_4^+$ / g SOL / SEMAINE)

L'azote potentiellement minéralisable (APM) est la capacité de la communauté microbienne du sol à recycler l'azote organique en une forme disponible pour les plantes.

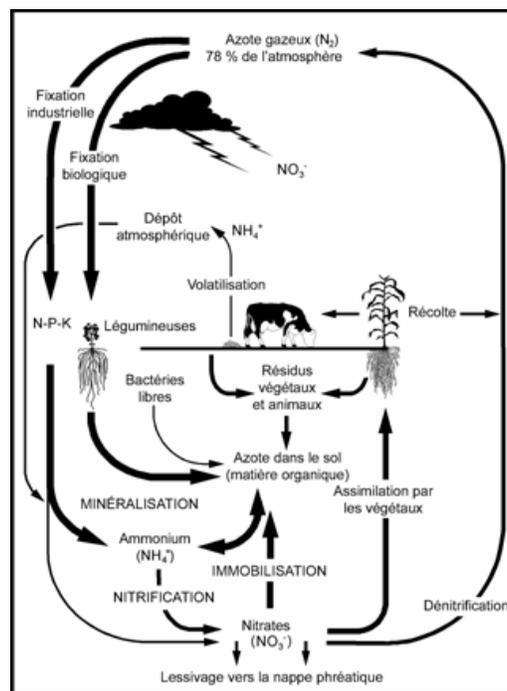


Figure 5. Formes et trajets de l'azote à l'intérieur du système de production agricole.

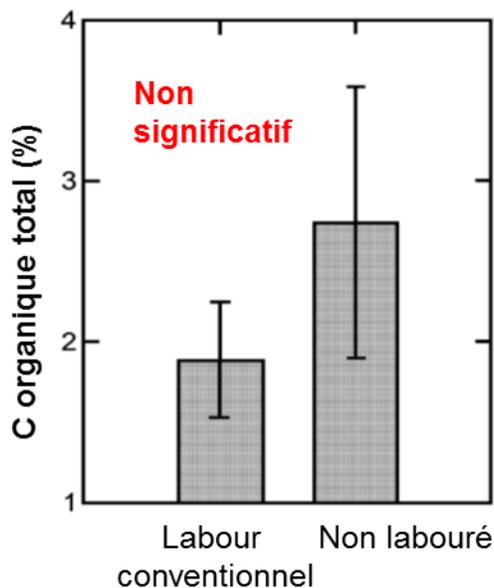
Source : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-074.htm>

En effet, dans le système de production agricole, l'azote se trouve sous plusieurs formes (Figure 5). L'azote dans le sol se retrouve principalement sous forme organique et doit être minéralisé par les microorganismes du sol afin de devenir par la suite disponible pour les plantes durant la saison de croissance⁽⁴⁾. L'APM indique aussi le niveau de l'activité microbienne du sol puisque les microorganismes utilisent une partie de cet azote pour leurs besoins en protéines. L'APM évalue la concentration en ammonium (NH₄⁺) produit sur une période d'incubation de sept jours qui reflète la capacité du sol à minéraliser l'azote.

LE CARBONE ACTIF (ppm)

Les microorganismes décomposeurs du sol utilisent le carbone comme source d'énergie. Le carbone actif (CA) est la fraction labile de la matière organique du sol qui est facilement disponible à la communauté microbienne. Le carbone est apporté au sol par les cultures (pailles, tiges, feuilles et racines) et les apports de fumiers, de composts et de matières résiduelles fertilisantes.

a)



b)

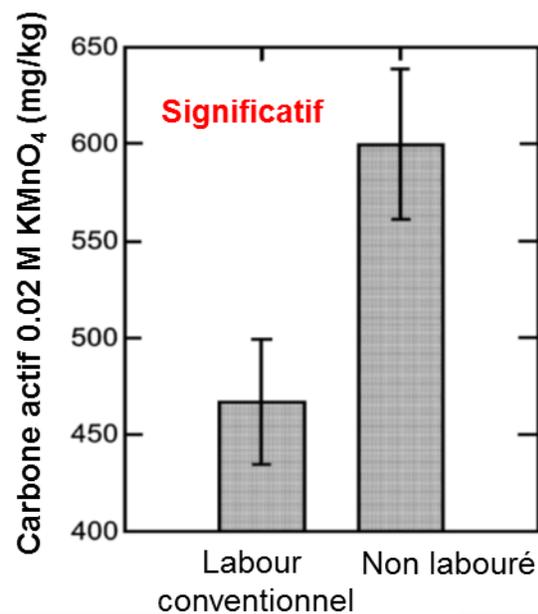


Figure 6. Comparaison entre la sensibilité des méthodes de quantification de la matière organique totale et du carbone actif. a) La comparaison du taux de matière organique total entre deux traitements de sol (labour conventionnel versus non labouré). La méthode ne détecte pas de différence significative entre les deux traitements. b) La comparaison du taux de carbone actif entre deux traitements de sol (labour conventionnel versus non labouré). La méthode détecte une différence significative entre les deux traitements. Le sol analysé est un loam sableux⁽⁷⁾.

Source : adaptée de Weil et al., 2003

La contribution en carbone des racines des plantes est souvent plus importante que celle des tiges. Les graminées et les légumineuses fourragères possèdent la biomasse racinaire la plus importante, suivis par les céréales, le maïs et le soya⁽⁵⁾. Le CA est un indicateur très sensible à la dégradation du taux de matière organique. Son dosage permet de détecter rapidement l'impact des changements de pratiques culturales sur la santé du sol, et ce, beaucoup plus tôt que le taux de matière organique (Figure 6). C'est pourquoi, le suivi du CA est un test très utile pour un producteur qui souhaite reconstruire la matière organique d'un sol par des changements de pratiques culturales. Le CA est dosé en exposant le sol à une solution de permanganate de potassium qui oxyde la fraction labile (ou active) du carbone du sol, ce qui fait diminuer la couleur pourpre de la solution. Plus la couleur pourpre diminue, plus la concentration de CA est élevée.

LES INDICATEURS CHIMIQUES

Le rapport d'évaluation de la SGS est accompagné du certificat d'analyse de sol standard, traditionnellement utilisé pour évaluer la fertilité d'un sol et élaborer les recommandations en éléments fertilisants. De ce fait, les résultats transmis au conseiller agricole lui permettent de réaliser le Plan Agro-environnemental de Fertilisation ou PAEF.

LE pH

Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité du sol. Il conditionne la plupart des processus chimiques et biologiques et, indirectement, les propriétés physiques qui en dépendent. La disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes cultivées peut varier en fonction du pH au point d'entraîner des carences ou de la phytotoxicité⁽¹⁾. Conséquemment, le pH a une incidence majeure sur les rendements. L'intervalle de pH recherché pour la plupart des plantes cultivées se situe entre 6,0 et 7,0, à l'exception des cultures qui ont une meilleure croissance en milieu acide. L'activité des microorganismes du sol ainsi que les agents pathogènes qui affectent les plantes cultivées sont aussi influencés par le pH. Enfin, le pH contribue au maintien de la structure du sol puisqu'il a un impact sur la disponibilité de l'ion calcium (Ca^{2+}) nécessaire à la formation du complexe argilo-humique. L'application de chaux ou de matière résiduelle chaulante favorise l'apport de Ca^{2+} . Le pH est mesuré avec une électrode et il évalue l'activité chimique des ions hydrogènes.

LE PHOSPHORE (kg/ha), LE POTASSIUM (kg/ha), LE MAGNÉSIUM (kg/ha), LE CALCIUM (kg/ha) ET LES OLIGO-ÉLÉMENTS (ppm)

Les éléments majeurs (phosphore, potassium, magnésium et calcium) sont les principaux éléments nutritifs utilisés par les plantes. Les oligo-éléments ou éléments mineurs (bore, cuivre, fer, manganèse, molybdène et zinc) sont aussi nécessaires, mais requis en quantité moindre. Afin d'assurer le rendement et la qualité des cultures, ces éléments doivent être présents en quantités suffisantes et sous une forme disponible car ils sont indispensables à la croissance des plantes. Au sein de la plante, ils sont impliqués dans plusieurs processus

physiologiques tels que la photosynthèse, la respiration cellulaire, les transferts d'énergie, le stockage des glucides, etc. Pour apporter ou maintenir les éléments nécessaires au développement des plantes en culture, l'apport d'amendement et d'engrais minéraux est suggéré. Pour un apport juste d'amendement et d'engrais minéraux, il est important de consulter les recommandations émises par le Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, le conseiller agricole et le certificat d'analyse de sol. Pour doser les éléments du sol, ils sont d'abord extraits par la méthode Mehlich III (solution extractive). Un appareil de spectrophotométrie d'émission dans le plasma permet ensuite d'en faire le dosage.

Annexe I



Évaluation de la santé globale des sols

| 1 | | champ: | <i>Provenance</i> | | <i>Échantillons</i> | | |
|-------------------|--|-------------------|-------------------|--|---------------------|--|--|
| lab: | | SG-914 | | | | | |
| reception: | | 4 mai 2015 | | | | | |
| Date du rapport: | | 5 juin 2015 | | | | | |
| Échantillonné le: | | 2 mai 2015 | | | | | |
| Par: | | Nathalie Gaudette | | | | | |

| 2 | | Sable % | | 61,5 | Classe texturale: | Groupe textural | Humidité du sol (v/v %) | 22,3 | Sec |
|---------|--|----------|--|------|---------------------|-----------------|---|------|-----|
| Texture | | Limon % | | 16,1 | Loam sablo-argileux | G1 | En % de la réserve utile 100 % = capacité au champ | 33,8 | |
| | | Argile % | | 22,4 | | | | | |

| 3 | | Indicateurs | Valeur | Évaluation /100 | Problèmes |
|----------|--|-------------|--------|---|-----------|
| Physique | Stabilité des agrégats (%) | 51,7 | 52 | Risque de détérioration de la structure: compaction, limite des mouvements de l'eau (infiltration, perméabilité et drainage), porosité, croûte de battance et érosion | |
| | Proportion d'agrégats (%) | 55,4 | 2 | Détérioration de la structure: compaction, limite des mouvements de l'eau (infiltration, perméabilité et drainage), porosité | |
| | Réserve en eau utile (v/v %) | 9,9 | 13 | Manque d'eau pour la culture (baisse des rendements et de l'efficacité des engrais) | |
| Biologie | Matière organique (%) | 6,5 | 45 | Risque de détérioration de la structure, diminution de la vie microbienne, de la disponibilité des éléments nutritifs, et de la quantité d'eau utile | |
| | Azote minéralisable (µg NH ₄ ⁺ /g sol / sem) | 12,9 | 92 | | |
| | Carbone actif (ppm) | 841 | 61 | Source d'énergie (nourriture) peu élevée pour les microorganismes | |
| Chimie | pH | 7,1 | 94 | | |
| | Phosphore (kg/ha) | 102 | 52 | Risque de difficulté d'enracinement des cultures et de la formation des fruits | |
| | Potassium (kg/ha) | 129 | 11 | Diminution de la résistance des cultures aux maladies, au gel et à la sécheresse | |
| | Magnésium (kg/ha) | 188 | 20 | Diminution de la capacité de photosynthèse et synthèse protéique (décoloration des feuilles) | |
| | Calcium (kg/ha) | 5 833 | 62 | Risque détérioration de la structure du sol, résistance et soutien des tiges, développement du réseau racinaire | |
| 4 | Évaluation globale | | 49 | Sol comportant des problèmes à solutionner | |

couleur du paramètre Valeur /100 est donné selon les valeurs suivantes: 0 à 30 % = Rouge, 30 à 70 % = Jaune, > 70 % = Vert

1. Description et provenance de l'échantillon de sol
2. Texture et pourcentage d'humidité de l'échantillon de sol à la réception
3. Résultats des indicateurs et problèmes associés à une faible évaluation
4. Évaluation globale sur 100

| Résultats | | Suggestions de régie des pratiques culturales | | |
|--|---|--|---|--|
| Indicateurs | Cultures | Travail du sol | Amendements et engrais organiques | Amendements et engrais minéraux |
| PHYSIQUE | | | | |
| Faible stabilité et proportion des agrégats | <ul style="list-style-type: none"> • Planter une culture de couverture ou intercalaire (introduire des plantes de familles variées et complémentaires aux autres plantes de la rotation) • Favoriser le maintien d'une couverture du sol durant l'hiver • Incorporer dans les rotations des prairies et des céréales | <ul style="list-style-type: none"> • Réduire les passages de la machinerie • Réduire le travail du sol (travail superficiel ou semis direct) | <ul style="list-style-type: none"> • Ajouter du paillis, fumier, du compost ou des résidus municipaux et industriels (bois raméal fragmenté, résidus pâtes et papiers, etc.) • Incorporer ou laisser en surface des résidus de culture (feuilles, brindilles racines mortes) • Incorporer des cultures à biomasse élevée (e.g. rafles ou tiges de maïs) | <ul style="list-style-type: none"> • Maintenir un pH optimal par l'ajout de chaux |
| Faible réserve en eau utile | <ul style="list-style-type: none"> • Planter une culture de couverture ou intercalaire | <ul style="list-style-type: none"> • Réduire le travail du sol (travail superficiel ou semis direct) | <ul style="list-style-type: none"> • Ajouter de la matière organique stable (humus) • Incorporer des résidus de culture (feuilles, brindilles racines mortes) • Ajouter du paillis | |
| BIOLOGIQUE | | | | |
| Faible teneur en matière organique | <ul style="list-style-type: none"> • Planter une culture de couverture ou intercalaire • Incorporer dans les rotations des prairies, céréales, culture avec masse racinaire élevée | <ul style="list-style-type: none"> • Réduire le travail du sol (travail superficiel ou semis direct) | <ul style="list-style-type: none"> • Ajouter du paillis, du fumier, du compost ou des résidus municipaux et industriels (bois raméal fragmenté, résidus pâtes et papiers, etc.) • Incorporer des résidus de culture (feuilles, brindilles racines mortes) • Incorporer des cultures à biomasse élevée (e.g. rafles ou tiges de maïs) • Augmenter le taux de matière organique en favorisant des amendements dont le C/N > 25 | <ul style="list-style-type: none"> • Maintenir un pH optimal par l'ajout de chaux |
| Faible potentiel de minéralisation de l'azote | <ul style="list-style-type: none"> • Planter une culture de couverture ou intercalaire • Incorporer dans les rotations des prairies, légumineuses (trèfles ou luzernes), culture avec masse racinaire élevée • Inoculer les semences des légumineuses | | <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier le rapport C/N des amendements (paillis, fumier ou compost) et engrais organiques apportés au sol (C/N < 20) • Enfouir les engrais verts (C/N bas) pour favoriser la minéralisation | <ul style="list-style-type: none"> • Maintenir un pH entre 6,2 et 6,5 favorable aux microorganismes fixateur d'azote par l'ajout de chaux si nécessaire • Réduire l'usage des produits phytosanitaires pour préserver les microorganismes du sol |
| Faible teneur en carbone actif | <ul style="list-style-type: none"> • Planter une culture de couverture ou intercalaire et des engrais verts | | <ul style="list-style-type: none"> • Enfouir les engrais verts (C/N bas) pour favoriser la minéralisation • Ajouter du paillis, fumier ou compost. | |
| CHIMIQUE | | | | |
| pH trop acide | <ul style="list-style-type: none"> • Favoriser l'implantation de cultures adaptées | | <ul style="list-style-type: none"> • Ajouter des matières résiduelles fertilisantes ou amendements calciques ou magnésiens d'origine industrielle ou municipale (cendres de bois, boues de chaux, etc.) | <ul style="list-style-type: none"> • Maintenir un pH optimal par l'ajout de chaux • Éviter l'application d'engrais acidifiants |
| pH trop alcalin | <ul style="list-style-type: none"> • Favoriser l'implantation de cultures adaptées | | | <ul style="list-style-type: none"> • Ajouter des engrais acidifiants |
| Faibles teneurs en P, K, Mg, Ca, et éléments mineurs | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Consulter les recommandations et les résultats sur le certificat d'analyse de sol |

RÉFÉRENCES

- 1) CRAAQ. 2010. Guide référence en fertilisation, 2^e Édition.
- 2) <http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/french/soil-diagnostics/soil-structure.html>. Consulté le 2 juin 2015.
- 3) Moebius, B.N., Harold, V.M., Schindelbeck, R.R., Omololu, J.I., Clune, D.J., and Thies, J.E. 2007. Evaluation of laboratory-measured soil properties as indicators of soil physical quality. *Soil science*, Vol. 172, No. 11.
- 4) Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Van Es, H.M., Wolfe, D.W., Moebius-Clune, B.N., Thies, J.E., et Abawi, G.S. 2009. *Cornell Soil Health Assessment Training Manual*, 2^e Édition. Cornell University, Geneva, NY.
- 5) N'Dayegamiye, A. 2007. La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la matière organique : facteurs climatiques et régions agricoles influençant les taux de minéralisation de l'azote. Colloque sur l'azote.
- 6) Vanasse, Anne. 2014. Rotations et qualité des sols : quels impacts sur les cultures? Conférence INPACQ 2014. Grandes cultures et conservations des sols.
- 7) Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B., and Samson-Liebig, S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol 18, No 1.