

# GUIDE POUR L'INTERPRÉTATION D'UNE ANALYSE DE SOL

Cours « Fertilisation des sols en agriculture bio » / Cégep de Victoriaville / Ghislain Jutras

## NOTES

- À moins d'indications contraires, ce guide concerne principalement les **sols minéraux** → % M.O. < 30
- Les sources d'information peuvent varier d'un élément à l'autre. Dans chaque cas elles sont mentionnées.

## TEXTURE

- Pour déterminer la classe texturale exacte, référez-vous à l'abaque en p.11 du Guide de fertilisation du CRAAQ (2003).
- Le tableau suivant donne le nom vernaculaire des types de sols en fonction de leur classe texturale :

Types de sol	Classes texturales
Léger	Sables
Franc ou moyen	Loams
Lourd	Argiles

## ACIDITÉ

- « [...] même si l'on parle souvent d'un pH optimum pour telle ou telle plante, en fait, le pH ne répond pas à une exigence physiologique de la plante. C'est l'action du pH sur les propriétés physiques et chimiques [et biologiques] du sol qui crée un milieu plus favorable à l'alimentation minérale et à la croissance des plantes. D'ailleurs, les plantes s'accommodent le plus souvent d'un écart de pH atteignant une unité. On constate que la plupart des plantes se développent très bien dans un sol à pH 6,5 [...]» (Doucet, 2006. p.281)
- « Les légumes qui croissent au pH 6 préfèrent le plus souvent un pH de 6,5; toutes les plantes qui croissent dans un sol neutre [pH = 7] s'accommodent d'un pH de 6,5. » (Doucet, 2006. p.328)
- « Les pH cibles varient avec les types de sols et les cultures. En sol organique, il est de 5,4 en raison de l'immobilisation de plusieurs oligo-éléments et de la minéralisation rapide de la matière organique du sol lorsque le pH se rapproche de 6,0. En sol minéral, il est de 5,5 pour la pomme de terre en raison du risque de développement de la gale commune. Un pH cible de 6,0 est indiqué pour éviter le surchauffage en sol sableux, ou comme première étape de redressement d'un sol fortement acide. » (CRAAQ, 2003. p. 71)
- « [...] le pH visé varie selon la nature du sol. Par expérience, on a conclu que pour les sols lourds le pH devrait être de 6,8 à 7,5; pour les sols francs [loam], de 6,2 à 6,8; pour les sols légers, de 5,2 à 6,3; et pour les sols organiques, de 5,0 à 5,6. » (Doucet, 2006. p.382)

Classe de réaction du sol	pH eau
Extrêmement acide	< 4,5
Très fortement acide	4,5 – 5,0
Fortement acide	5,1 – 5,5
Moyennement acide	5,6 – 6,0
Faiblement acide	6,1 – 6,5
Neutre	6,6 – 7,3
Faiblement alcalin	7,4 – 7,8
Moyennement alcalin	7,9 – 8,4
Fortement alcalin	8,5 – 9,0
Très fortement alcalin	> 9,0

Source : Agriculture et agroalimentaire Canada. Système d'information sur les sols du Canada.  
[http://sis.agr.gc.ca/siscan/glossary/reaction\\_soil.html](http://sis.agr.gc.ca/siscan/glossary/reaction_soil.html)

## MATIÈRE ORGANIQUE (M.O.)

- « Les spécialistes s'entendent pour dire qu'un taux de 1,5 % est la limite critique théorique, au-dessous de laquelle la fertilité diminue rapidement. Il est souvent souhaitable de viser à maintenir un taux minimal de 2,5 % en général et même de 3,5 à 4 % dans les sols lourds. » (Doucet, 2006. p.174)
- « De façon générale, un taux de 4 à 8 % de matière organique correspond à une bonne productivité et à une bonne capacité de minéralisation. Cependant, de hautes teneurs en matière organique peuvent être révélatrices de mauvaises conditions de croissance si elles sont associées à de mauvaises conditions de drainage. De plus, un niveau élevé de matière organique peut induire une trop forte rétention en eau et favoriser le développement de certaines maladies, entre autre chez la pomme de terre. » (CRAAQ, 2003. pp.12-13)

Niveau	Texture légère	Texture lourde
	Sable à loam	Loam argileux à argile lourde
Très pauvre	0,0 – 2,0 %	0,0 – 2,0 %
Pauvre	2,1 – 3,5 %	2,1 – 4,5 %
Moyen	3,6 – 6,5 %	4,6 – 10,0 %
Riche	6,6 – 8,0 %	10,1 – 13,0 %
Très riche	> 8,0 %	> 13,0 %

Source : Association des fabricants d'engrais du Québec (1987)

## CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE (CEC)

Types de sol	CEC typique (meq/100 g. sol)
Léger	4 – 10
Moyen	10 – 25
Lourd	25 – 50
Organique	50 – 200

Source : Thi Sen Tran, IRDA (CRAAQ, 2003. p.41)

- « Ces normes de fertilité [voir le tableau suivant] peuvent varier suivant la structure et le pH et la nature de la plante. Les besoins des sols organiques notamment diffèrent considérablement. » (Doucet, 2006. p.327)

Catégories de sol	Fertilité du sol				
	Très faible	Faible	Moyenne	Élevée	Très élevée
	CEC (meq/100 g. sol)				
Sols légers (à pH >6)	< 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	> 10
Sols francs (loams)	< 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	> 25
Sols lourds	< 25	25 – 30	30 – 35	35 – 40	> 40
Sols organiques	< 50	50 – 100	100 – 150	150 – 200	> 200

Source : Tableau 12.9 : Normes de fertilité des différents types de sols (Doucet, 2006. p. 328)

## ÉLÉMENTS MINÉRAUX : NIVEAUX DE RICHESSE

Éléments	Seuils de richesse du sol MINÉRAL pour la culture maraîchère		
	Pauvre	Moyen à Bon	Riche
<b>Majeurs</b> (extraits par la méthode Mehlich-3)			
Phosphore (P)	Très pauvre : < 50 kg P/ha Pauvre : 51-100 kg P/ha	Moyen : 101-150 kg P/ha Bon : 151-200 kg P/ha	Riche : 201-300 kg P/ha Très riche : 301-400 kg P/ha Excessivement riche : > 400 kg P/ha
Aluminium (Al)	<b>Capacité de fixation du P :</b> Faible : < 1100 ppm Al	Moyenne : 1100-1600 ppm Al	Élevée : > 1600 ppm Al (Ex. : sols sableux podzoliques)
Saturation en P (P/Al) <sub>M3</sub>	<b>Risques environnementaux :</b> Faibles : < 4,9 %	Moyens : 5 - 9,8 %	Excessifs : > 7,6% (sol lourd → > 30% argile) > 13,1% (sol léger → < 30% argile)
Potassium (K)	Très pauvre : < 100 kg K/ha Pauvre : 101-200 kg K/ha	Moyen : 201-300 kg K/ha Bon : 301-400 kg K/ha	Riche : 401-500 kg K/ha Très riche : 501-600 kg K/ha Excessivement riche : > 600 kg K/ha
Calcium (Ca)	< 800-1000 kg Ca/ha	Valeurs attendues en Ca avec une bonne gestion : Sol sableux : 2000 - 4000 kg Ca/ha; Saturation : 55-60 % Loam : 4000 – 7000 kg Ca/ha; Saturation : 60-70 % Sol lourd : > 7000 kg Ca/ha; Saturation : > 70 % (ou plus faible si sol très riche en Mg)	
Magnésium (Mg)	Déficient si : Loam argileux à argile : < 150 kg Mg/ha Sable à loam : < 100 kg Mg/ha	Valeurs typiques en Mg des sols : Sol argileux : > 700 kg/ha Loam : 300 - 700 kg/ha Sol sableux : < 300 kg/ha	
Soufre (S)	Sols du Québec : rarement carencés		
<b>Mineurs</b>			
Bore (B)	Très bas : < 0,3 ppm; Bas : 0,3 - 0,7 ppm Note : L'analyse du bore doit être faite à l' <b>eau chaude</b> et non pas par la méthode Mehlich-3. Cependant, « dans les sols acides, la teneur du bore extrait par Mehlich-3 est proportionnelle à celle à l'eau chaude » (CRAAQ, 2003, p. 282)	Moyen : 0,8 - 1,1 ppm Adéquat : 1,1 - 1,5 ppm Si < 1,1 ppm B <sub>eau chaude</sub> → ajouter B pour les cultures sensibles : brocoli, chou-fleur, betterave, céleri feuille	Toxicité : > 5 - 8
Molybdène (Mo)	Pauvre : < 0,02 ppm Mo <sub>eau chaude</sub>		Adéquat : ≥ 0,02 ppm Mo <sub>eau chaude</sub>
Manganèse (Mn)	Bas : 0 - 5 ppm Mn <sub>Mehlich-3</sub>	Moyen : 6 - 11 ppm Mn Si < 11 ppm et pH > 6,5 → ajouter Mn	Adéquat : > 11 ppm Mn Valeurs acceptables : 8,5-12,5 ppm Mn <sub>Mehlich-3</sub>
Cuivre (Cu)	Bas : < 0,3 ppm Cu <sub>Mehlich-3</sub>	Moyen : 0,3-0,6 ppm Cu <sub>Mehlich-3</sub>	Adéquat : > 0,6 ppm Cu Valeurs acceptables : 0,7-1,1 ppm Cu <sub>Mehlich-3</sub>
Zinc (Zn)	Très bas : < 1,0 ppm Zn <sub>Mehlich-3</sub> Bas : 1,1 - 1,8 ppm Zn <sub>Mehlich-3</sub>	Moyen : 1,9 - 2,8 ppm Zn <sub>Mehlich-3</sub> Si < 2,8 ppm et pH > 6,5 → ajouter Zn	Adéquat : > 2,8 ppm Zn <sub>Mehlich-3</sub> Valeurs acceptables : 2-3 ppm Zn <sub>Mehlich-3</sub>
Fer (Fe)	Très bas : 0,3 ppm; Bas : 4-11 ppm Note : Le fer est extrait avec du HCl 0,1 N	Moyen : 12-24 ppm	Adéquat : 25-50 ppm Élevé : > 50 ppm

Source :

- P et K : Guide de référence en fertilisation, 1ère ed. (CRAAQ, 2003) cité dans le Guide de gestion globale du maraîchage biologique diversifié (Équiterre, 2011)
- Ca : Guide de gestion globale du maraîchage biologique diversifié (Équiterre, 2011)
- Mg : CRAAQ (2003, p. 280), Doucet (2006), Weill (2009) et Guide de gestion globale du maraîchage biologique diversifié (Équiterre, 2011)
- Mo, Mn, Cu, Zn : Anne Weill (2009) et Bilodeau (1999) pour les « valeurs acceptables »
- B, Fe, Mn, Zn : Guide de référence en fertilisation, 2<sup>e</sup> ed. (CRAAQ, 2011)
- Al : Guide de référence en fertilisation, 1ère ed. (CRAAQ, 2003)
- Saturation en P : Adapté de Giroux et Tran (1996) dans Doucet (2006)

## ÉLÉMENTS MINÉRAUX : SATURATION DES BASES

- « L'interprétation des analyses suppose [...] une bonne compréhension [...] des interactions entre les divers éléments. En effet, dans certaines situations, le taux de saturation des divers éléments devient un aspect important de l'interprétation, et la connaissance de ces interactions permet d'apporter les correctifs appropriés. » (Doucet, 2006. p. 329)
- « [...] la détermination de la CEC fournit beaucoup de renseignements sur la fertilité des sols, et la connaissance de la saturation de chacune des bases est très utile pour suivre les variations de la saturation en bases du complexe argilo-humique du sol. Cela permet d'ajuster les recommandations dans le cas où un cation atteint un seuil critique [...] » (Doucet, 2006. p.332)
- Voici les seuils critiques pour chacune des bases en fonction du type de sol :

Catégories de sols	% de saturation idéale				
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>
Sols lourds CEC > 23 meq/100 g sol	80 – 95 %	10 – 15 %	2,5 %	< 1 %	5 – 10 %
Loams CEC = 10 à 23 meq/100 g sol	60 – 70 %	10 – 12 %	2,5 – 3,5 %	< 1 %	20 %
Sols légers CEC < 10 meq/100 g sol	20 – 30 %	6 – 10 %	4 – 5 %	< 1 %	60 – 75 %
Tous les sols dont le pH n'est pas trop acide	65 – 85 %	6 – 12 %	2 – 5 %	< 1 %	10 – 26 %

Source : Tableau 12.11 : Taux de saturation idéal des cations adsorbés sur le complexe argilo-humique. (Doucet, 2006. p.329)

### ATTENTION :

Le % de saturation pour chaque base se calcule de la façon suivante :

$$(\text{meq /100 g. sol} \div \text{CEC}) \times 100$$

Or, pour convertir les valeurs de l'analyse en « kg/ha » en valeurs de « meq/100 g. sol », soit les mêmes unités que la CEC, on doit d'abord effectuer les opérations suivantes :

$$\begin{aligned} \text{K :} & \quad \text{kg K/ha} \div 876 = \text{meq K /100 g. sol} \\ \text{Mg :} & \quad \text{kg Mg/ha} \div 272 = \text{meq Mg /100 g. sol} \\ \text{Ca :} & \quad \text{kg Ca/ha} \div 448 = \text{meq Ca /100 g. sol} \end{aligned}$$

## ÉLÉMENTS MINÉRAUX : INTERACTIONS

Rapports	Équilibre entre les éléments (meq/100 g sol)				
	Insuffisant	Acceptable	Optimal	Fort	Trop fort
Ca/Mg	< 1	1 – 2	2 – 9	10 – 30	> 30
Plantes acidiphiles			0,8 - 5		
K/Mg	< 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,50	0,5 – 1	> 1
(Ca + Mg) / K	< 12	12 – 15	15 – 30	30 – 40	> 40
Plantes acidiphiles			6 – 8		

Source : Tableau 12.12 : Barème d'appréciation de l'équilibre entre les cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  (Doucet, 2006. p.332)

**ATTENTION** : Les rapports se calculent en « meq/100 g sol ». Il faut donc convertir les « Kg/ha » en « meq/100 g. sol ».

- « [...] la recommandation en fertilisation basée sur l'équilibre de saturation des bases est un concept délaissé de nos jours [...] au Québec [...]. Les chercheurs québécois préfèrent se baser sur la richesse des éléments disponibles obtenus par l'analyse de sol [...]. » (Doucet, 2006. p.332)
- « La fertilisation basée sur les rapports de saturation des bases souhaités commande des ajouts d'engrais qui dépassent les besoins de la plante [...] » « [...] l'obtention des rapports exacts souhaités a peu d'effet sur l'augmentation des rendements des cultures. » « [...] lorsque tous les éléments nutritifs sont en quantités suffisantes peu importe leur équilibre (à moins d'extrême), la croissance des plantes n'est pas affectée, ou très rarement. » (Doucet, 2006. p.331)
- « Les rapports non souhaités [...] dévoilent des antagonismes et des blocages d'absorption quand la teneur d'une des bases est faible ou non suffisante. » (Doucet, 2006. p.331)
- « C'est dans les sols à faible CEC qu'il faut davantage tenir compte de l'équilibre entre les cations échangeables. Les proportions de ces éléments peuvent être très variables dans les sols très fertiles, mais les influences des uns sur les autres sont très marquées dans les sols pauvres. » (Doucet, 2006. p.329)
- « Les antagonismes entre les bases échangeables peuvent être la cause de diminutions de rendements ou de non augmentation de rendements. Au Québec, l'antagonisme causant fréquemment des problèmes est entre le potassium et le magnésium. En sols légers, un K/Mg trop élevé provoque une carence en magnésium, diminuant les rendements alors qu'en sols argileux un K/Mg trop faible ralentit le taux d'absorption du potassium, limitant ainsi les rendements. » (Synagri)

## CONVERSIONS UTILES

ppm = mg/kg

ppm x 2,24 = kg/ha

1 ppm = 1 partie par million = 1 mg/kg ou 1 mg/L

1 meq/100 g sol = 1 cmol<sub>c</sub>/kg sol

Pour convertir les valeurs de « kg/ha » en valeurs de « meq/100 g. sol », soit les mêmes unités que la CEC, on doit effectuer les opérations suivantes :

K : kg K/ha ÷ 876 = meq K /100 g. sol

Mg : kg Mg/ha ÷ 272 = meq Mg /100 g. sol

Ca : kg Ca/ha ÷ 448 = meq Ca /100 g. sol

Le % de saturation pour chaque base se calcule de la façon suivante :

(meq /100 g. sol ÷ CEC) X 100

## RÉFÉRENCES

Agriculture et agroalimentaire Canada. Système d'information sur les sols du Canada. <http://sis.agr.gc.ca/>

Association des fabricants d'engrais du Québec. 1987. Guide de fertilisation, 2ième édition. Montréal.

Bilodeau, C. 1999. Notes de cours. Cégep de Victoriaville, Québec.

CRAAQ. 2003. Guide de référence en fertilisation. ed. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Sainte-Foy. xx, 294 pp.

Doucet, R. 2006. Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec. xv, 443 pp.

Duval, J et A. Weill. 2011. Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique diversifiée. Équiterre. Montréal, Québec. 359 pp.

Robitaille, R. 2003. Mon analyse de sol, facile ! MAPAQ.

Synagri. Guide d'interprétation des analyses de sols minéraux Géosol. [www.synagri.ca/dir\\_files/Guide\\_interpretation\\_analyses\\_sols\\_mineraux.pdf](http://www.synagri.ca/dir_files/Guide_interpretation_analyses_sols_mineraux.pdf)

Tabi, M. et coll. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. Min. de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec. 71 p.

Weill, A. 2009. Communication personnelle