

DÉCRYPTER LE BULLETIN D'ANALYSE

CRITÈRE ANALYSÉ	UNITÉ	INTÉRÊT DU CRITÈRE ANALYSÉ		ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION	
		Sols non calcaires	Sols calcaires		
<b>Statut acido basique</b>					
<b>pH<sub>eau</sub></b>		++++	+	Critère fondamental du diagnostic d'acidité qui permet de définir l'urgence du chaulage. Interprétation à adapter à l'époque de prélèvement en raison de variations saisonnières proches de 0.5 point de pH entre l'hiver (plus élevé) et l'été (plus faible). Le pH est parfois utilisé dans certains modèles de minéralisation. La gestion d'un pH <sub>eau</sub> entre 6 et 6.5 représente un compromis acceptable dans une majorité de sols de grandes cultures et prairies temporaires.	
<b>pH<sub>KCl</sub></b>		+	+	Son évolution temporaire suit rigoureusement la même tendance que le pH <sub>eau</sub> avec un écart de -0.5 à -1 par rapport au pH <sub>eau</sub> . Le pH <sub>KCl</sub> est redondant avec le pH <sub>eau</sub> et n'est donc pas indispensable pour l'interprétation.	
<b>CaO (calcium) échangeable</b>	ppm, mg/kg ou g/kg	+	+	Cet élément calcium n'est pas interprété en terme de nutrition des cultures car il n'est jamais limitant en grandes cultures en France métropolitaine. Le résultat de cette analyse détermine aussi la concentration en ions Ca <sup>2+</sup> qui sert au calcul du taux de saturation.	
<b>Calcaire total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	% ou ‰ (g/kg)	++	+++	Permet de préciser le type de sol auquel on peut relier l'échantillon. La teneur en CaCO <sub>3</sub> total (ou carbonates totaux) est indispensable pour l'identification du type de sol calcaire (sol sur craie, marne ou calcaire dur) qui influe grandement sur l'interprétation de la biodisponibilité des éléments nutritifs et des paramètres de l'état organique. Pour des niveaux très faibles, il s'agit souvent de traces, le plus souvent en lien avec le chaulage pratiqué dans le passé. La teneur en CaCO <sub>3</sub> est utilisée dans certains modèles de minéralisation.	
<b>CEC (Capacité d'échange cationique)</b>	meq/100 g ou cmol+/kg	++++	++	La CEC (Capacité d'Echange Cationique) correspond à la quantité de charges négatives portées par l'argile et la matière organique, sur lesquelles les cations Calcium (Ca <sup>2+</sup> ), Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ), Potassium (K <sup>+</sup> ), Sodium (Na <sup>+</sup> ) (appelés cations échangeables, d'acidité négligeable), H <sup>+</sup> et Al <sup>3+</sup> (cations acides), peuvent être retenus à l'état échangeable (disponibles pour les cultures). Le sol a ainsi une fonction de réservoir de ces cations, mesurée par la CEC. En France, on utilise soit la méthode Metson qui mesure la CEC potentielle à pH <sub>eau</sub> = 7, soit les méthodes Cobaltihexamine ou Chlorure de Baryum qui mesurent la CEC potentielle au pH <sub>eau</sub> du sol. Elle est élevée en sol argileux et/ou riche en matière organique et faible en sol sableux. La CEC permet de calculer la dose d'amendement basique à apporter en cas de redressement.	
<b>Cations échangeables (S)</b>	<b>% Ca<sup>2+</sup></b> (ions calcium)	%	++	+	Représente la part des ions calcium adsorbés sur la CEC. En général la part de cet ion domine largement celle des autres ions. La part des ions calcium adsorbés sera très élevée en sols calcaires ou dans les sols à pH élevés, et faible dans les sols très acides.
	<b>% Mg<sup>2+</sup></b> (ions magnésium)		++	+	Représente la part des ions magnésium sur la CEC. En général ce cation arrive en 2 <sup>de</sup> position quant à sa part sur la CEC, mais loin derrière le calcium.
	<b>% K<sup>+</sup></b> (ions potassium)		++	+	Représente la part des ions potassium sur la CEC. Ce cation arrive en général en 3 <sup>e</sup> position quant à sa part sur la CEC.
	<b>% Na<sup>+</sup></b> (ions sodium)		++	+	Représente la part des ions sodium sur la CEC (généralement faible). Dans certains sols appelés sols sodiques (sols de marais maritime), la part de sodium peut être élevée et peut devenir défavorable à la structure du sol.
<b>Taux de saturation (S/CEC)</b>	%	++	+	Le taux de saturation (S/CEC) définit la part des cations d'acidité négligeable (Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; Na <sup>+</sup> ; K <sup>+</sup> ) sur la CEC. Le complément à 100% représente les charges négatives bloquées par des protons (H <sup>+</sup> ) ou des cations acides (Al <sup>3+</sup> ...). À pH élevé et en sols calcaires, le complexe est saturé (voire sursaturé) par les cations calcium (Ca <sup>2+</sup> ) et cet indicateur n'a plus aucun intérêt. Ce taux peut permettre de déclencher un apport d'amendement s'il est inférieure à 80%. Il existe une relation entre le pH <sub>eau</sub> et le taux de saturation, relation qui doit être établie par type de sol. Cet indicateur est moins précis que le pH <sub>eau</sub> (il cumule les incertitudes des analyses de la CEC et des 4 cations échangeables). Il est aussi moins pertinent que le pH <sub>eau</sub> pour définir l'urgence du chaulage.	
<b>Matière organique</b>					
<b>Matière organique (MO)</b>	% (g/100 g) ou ‰ (g/kg)	++++		La teneur en matière organique est calculée à partir de celle en carbone (C) organique (MO = C org * 1.72 ou 2 selon les laboratoires). La teneur multipliée par une masse de terre fine pour avoir un stock de MO sur une épaisseur d'au moins 20 cm (labour ou anciens labours), permet d'estimer la minéralisation en azote du sol, et de calculer le bilan humique. Autant que son niveau à un moment donné, c'est aussi son évolution observée au cours du temps entre prélèvements réalisés selon des modalités identiques, qu'il est important de connaître. La connaissance de sa teneur couplée à celle en argile permet d'apprécier certaines propriétés physiques du sol (notamment le risque de battance et de prise en masse). La matière organique participe également à l'estimation du risque de carence en cuivre et manganèse.	
<b>N total</b>	%	+++		L'azote total (N) est essentiellement présent sous forme organique. La teneur en N total multipliée par une masse de terre fine pour avoir un stock de N sur une épaisseur d'au moins 20 cm (labour ou anciens labours) pour laquelle on affecte par défaut un C/N de 12, couplée à celle en carbone organique, permettent d'estimer la minéralisation en azote du sol, de manière plus précise qu'avec la seule teneur en carbone.	

■ Très pertinent  
 ■ Pertinent  
 ■ Insuffisant, doit être complété par d'autres indicateurs  
 ■ Peu d'intérêt  
 ■ Critère sans intérêt

CRITÈRE ANALYSÉ	UNITÉ	INTÉRÊT DU CRITÈRE ANALYSÉ		ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION
		Sols non calcaires	Sols calcaires	
<b>C/N</b>		++		Le rapport des teneurs mesurées en carbone organique et azote total est un indicateur d'évolution de la matière organique dont la gamme optimale pour la minéralisation se situe entre 10 et 12. Ce rapport peut être utilisé dans les modèles de minéralisation, mais il ne peut conduire seul au conseil d'apports organiques. Un C/N > 12 traduirait une capacité de minéralisation du N organique plus réduite (% C élevé par rapport à % N). Un tel rapport est observable dans les sols riches en matière organique.
<b>Éléments nutritifs</b>				
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (phosphore) Olsen	ppm (mg/kg) ou % (g/kg)	++++		Méthode Olsen : méthode d'extraction douce, la plus proche de la biodisponibilité réelle. À interpréter selon les seuils COMIFER régionalisés par ARVALIS selon le type de sol et l'exigence des cultures.
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (phosphore) Joret Hebert		++++		Méthode Joret Hebert : méthode surtout utilisée dans les sols neutres à basiques. À définir selon seuils COMIFER régionalisés par ARVALIS selon le type de sol et l'exigence des cultures.
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (Phosphore) Dyer		+++		Méthode Dyer : méthode d'extraction la plus agressive. Cette méthode est surtout utilisée dans les sols acides ou neutres. À interpréter selon les seuils COMIFER régionalisés par ARVALIS en fonction du type de sol et de l'exigence des cultures.
<b>K<sub>2</sub>O</b> (potassium) échangeable		++++		À interpréter selon les seuils COMIFER régionalisés par ARVALIS selon le type de sol et l'exigence des cultures.
<b>MgO</b> (magnésium) échangeable		++++		Seuils d'interprétation définis en fonction du type de sol (référentiel ARVALIS) : Sables : 30 ppm ; Limons : 60 ppm ; Argilo calcaires, craies, argiles : 80 ppm.
<b>Na<sub>2</sub>O</b> (sodium) échangeable		+		Aucun rôle nutritif du sodium (Na) pour les grandes cultures. Mesuré par convention pour calculer le taux de saturation en cations échangeables (S/CEC).
<b>K<sub>2</sub>O/MgO</b>		+		Ce ratio n'a aucune utilité lorsque le sol est correctement pourvu (teneur > T <sub>impasse</sub> ) en l'un et l'autre des deux éléments. C'est seulement lorsque la teneur en magnésium est proche voire inférieure au T <sub>impasse</sub> , qu'un ratio K <sub>2</sub> O/MgO élevé renforce le risque de déficience en magnésium.
<b>CaO/MgO</b>		0		Ratio qui n'apporte aucune d'information complémentaire à l'interprétation de la teneur en magnésium.
<b>Oligo-éléments</b>				
<b>Zn</b> (zinc) EDTA	ppm (mg/kg)	++++		Le risque de carence concerne principalement le maïs et le lin. Le seuil est établi en fonction du pH <sub>eau</sub> : < 1 mg/kg pour pH <sub>eau</sub> < 6.2 ; < 2 mg/kg pour pH <sub>eau</sub> > 6.2.
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Zn</b> EDTA et <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Cu</b> EDTA		++		Des très fortes teneurs (ou des apports importants) en phosphore peuvent entraîner un blocage des éléments zinc ou cuivre.
<b>Cu</b> (cuivre) EDTA	ppm (mg/kg)	+		Le risque de carence concerne principalement les céréales à paille. C'est le ratio Cu EDTA / MO qui détermine le risque de carence.
<b>Cu EDTA/MO</b>		++++		Le ratio Cu EDTA (ppm) /MO du sol (%) est le plus pertinent pour déterminer le risque de carence. Il dépend du type de sol : < 0.4 en sols argilo calcaires ; < 0.5 en limons caillouteux ; < 1 en limons.
<b>Mn</b> (manganèse) EDTA	ppm (mg/kg)	++		Le risque de carence concerne principalement les céréales à paille mais peut aussi concerner le maïs. Pour cet élément, la teneur-seuil est indicative, un seuil de 10 ppm pour pH <sub>eau</sub> > 6.8 (dans les sols limoneux de l'Ouest de la France) est souvent indiqué. La carence est le plus souvent induite : le risque de carence augmente pour les sols avec pH <sub>eau</sub> > 6.8, et/ou des taux de matière organique élevés, et/ou dans les sols à dominante sables grossiers (ou en sols soufflés en sortie hiver).
<b>B</b> (bore)		++++		Le risque de carence concerne principalement les cultures de tournesol, colza, betterave et féverole. Attention, vérifier la méthode d'extraction (méthodes «eau chaude», ou «bore soluble à l'eau bouillante»). Exemple : le seuil de carence colza (méthode «eau chaude») est < 1.2 ppm en sol argilo-calcaires et < 0,3 à 0,8 ppm dans les autres types de sol.
<b>Fe</b> (fer) EDTA		0		Le risque de carence concerne principalement le pois de printemps et le soja, mais il s'agit exclusivement de carence induite, la teneur du sol n'est pas un bon indicateur de risque de chlorose ferrique. Une teneur en fer élevée est le plus souvent observée dans les sols à faible pH. Comme l'aluminium, le fer se solubilise à pH faible.
<b>Mo</b> (molybdène) Grigg		0		Les carences en cet élément sont rares. Cette détermination n'est généralement pas proposée en routine. Le risque de carence concerne surtout le tournesol, le colza, mais aussi la luzerne et la betterave. Elle s'exprime dans les sols acides principalement mais aussi dans certains sols calcaires. Les teneurs du sol sont faibles et l'interprétation est difficile.

(\*Les références sur les seuils de déficiences en zinc et cuivre ont principalement été acquises avec la méthode EDTA. D'autres méthodes peuvent être interprétées à condition d'avoir été calées par rapport à la méthode EDTA. C'est par exemple le cas de la méthode DTPA.