

COMPRENDRE SON ANALYSE DE TERRE POUR ADAPTER SES PRATIQUES

L'analyse de terre est un outil permettant d'obtenir des informations complémentaires aux observations de terrain, qui peut être utilisée pour plusieurs objectifs :

- Mieux connaître le sol d'une parcelle, état des lieux agronomique (granulométrie, statut organique),
- Ajuster la fertilisation des cultures et les amendements minéraux.

Ainsi pour suivre l'évolution d'une parcelle et permettre si besoin un réajustement des éléments chimiques, il est conseillé de réaliser une analyse de terre tous les 3 à 5 ans. En revanche, pour qu'il y ait un meilleur suivi, il est important que le prélèvement de l'échantillon pour l'analyse de terre soit toujours fait au même endroit et à la même période de l'année.

© TERREOM

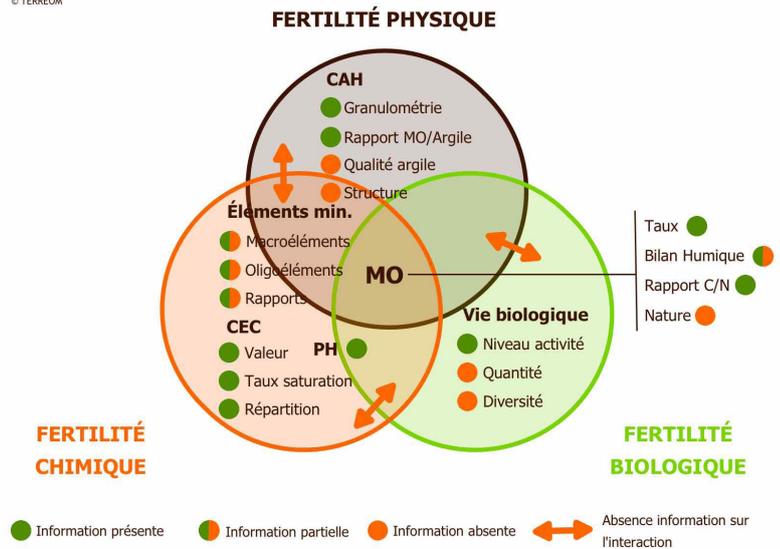


Schéma : Les indicateurs de fertilité fournis par une analyse de terre

COMPRENDRE LES CARACTÉRISTIQUES DE SON SOL

Texture

La texture est définie par la répartition des particules minérales de la terre fine (particules minérales < 2 mm). La texture est un paramètre qui n'évolue qu'à l'échelle de plusieurs milliers d'années, elle est par conséquent considérée comme fixe à notre échelle.

Propriétés	Sols sableux <10% d'argile	Sols sableux- limoneux 10 – 19% d'argile	Sols limoneux 20-29% d'argile	Sols argilo- limoneux 30-39% d'argile	Sols argileux > 40% d'argile
Perméabilité	Très bonne	Bonne	Bonne	Moyenne	Faible
Capacité hydrique	Faible	Moyenne	Elevée	Elevée	Très élevée
Aération	Très élevée	Bonne	Bonne	Moyenne	Faible
CEC	Faible	Faible à Moyenne	Moyenne	Bonne	Très bonne
Travail du sol	Facile	Facile	Moyen	Moyen à Difficile	Difficile
Pénétration des racines	Très bonne	Très bonne	Bonne	Médiocre	Faible

Capacité d'Échange Cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) peut être définie par le potentiel du sol à retenir les cations (Ca^{2+} , mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+}) disponibles pour la plante. Les facteurs influençant la CEC sont :

- La granulométrie : plus un sol aura une teneur en argile importante plus la CEC sera grande.
- La teneur en matières organiques (MO) : plus un sol est riche en MO plus la CEC sera grande.

La taille de la CEC permet d'ajuster sa stratégie de fertilisation : plus la CEC sera faible, moins le sol aura la capacité de retenir les éléments apportés et plus il faudra fractionner les apports (Fertisols, 2020). La CEC s'exprime en cmol/kg ou meq/100g. (1 cmol/kg = 1 meq/100g).

Texture du sol	Sableuse	Limoneuse	Limono-argileuse	Argileuse
CEC (meq/100g)	< 10	8 à 14	14 à 20	> 16

Source : Chambre d'agriculture Bourgogne, 2015

Etat organique

La teneur en MO d'un sol est l'un des paramètres majeurs de sa fertilité. Elle joue un rôle sur la fertilité chimique (amélioration de la CEC, réservoir d'eau et nutriments), la fertilité biologique (stimulation de la vie biologique) et la fertilité physique des sols (amélioration de sa structure et de sa stabilité). La teneur en MO est obtenue par la mesure du carbone organique du sol multipliée par 1,72.

En complément de la mesure du taux de matières organiques du sol, le ratio carbone/azote (C/N) permet d'avoir une indication sur l'évolution des matières organiques du sol. Un C/N inférieur à 8 indique que les matières organiques se minéralisent très rapidement. Si le ratio est supérieur à 12, la minéralisation des matières organiques est ralentie et donc le stock d'humus augmente. Pour qu'il y ait un bon équilibre entre minéralisation et humification le ratio C/N doit être compris entre 8 et 12.

La battance

Cet indicateur révèle la sensibilité d'un sol à former une croûte imperméable à la surface du sol lors de précipitations. La battance implique une déstructuration de l'horizon de surface avec pour conséquence un risque de tassement et d'érosion du sol mais aussi une limitation de la germination des plantes. Les facteurs augmentant la sensibilité des sols à la battance sont : la richesse en limon et une faible quantité de matière organique.

L'indice de battance (IB) est calculé par :

$$IB = \frac{(1.5 \times \% \text{ Limon fin}) + (0.75 \times \% \text{ Limon grossier})}{(\% \text{ Argile}) + (10 \times \% \text{ Matière Organique})}$$

Indice de battance	Appréciation
IB > 2.0	Sol très battant
2.0 > IB > 1.8	Sol battant
1.8 > IB > 1.6	Sol assez battant
1.6 > IB > 1.4	Sol peu battant
IB < 1.4	Sol non battant

LA GESTION DU CHAULAGE PAR L'ANALYSE DE TERRE

Le pH

Le pH permet de caractériser les sols en fonction de leur acidité ou de leur alcalinité. Le pH est une caractéristique majeure des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

- **Composante chimique** : il joue un rôle sur la disponibilité des éléments nutritifs par la plante dans le sol. La plage d'assimilation optimale du pH est comprise entre 6,5 et 7.
- **Composante physique** : il influe indirectement sur la formation d'agrégat et sur la stabilité structurale. La baisse de pH du sol induit une sensibilité plus importante aux dégradations.
- **Composante biologique** : il influence la composition de la microflore (bactéries et champignons), de la flore et de certaines population de lombrics.

Il existe de multiples mesures de pH mais deux sont utilisées pour les analyses de sol :

- **Le pH_{eau}** : permet de mesurer l'acidité active, il rend compte du pH que subissent les racines et les micro-organismes. Le pH_{eau} peut varier jusqu'à 1 point au cours d'une année. Il est très utilisé et référencé en France et peut être utilisé pour le calcul de la dose de chaulage.
- **Le pH_{KCl}** : permet de mesurer l'acidité d'échange d'un sol. Le pH_{KCl} peut également varier au cours d'une année. Cette mesure est peu utilisée en France et ne permet pas, avec les références actuelles, de calculer une dose de chaulage.

Le pH varie au cours d'une année en fonction de l'activité biologique du sol. L'augmentation de l'activité biologique entraînant une diminution du pH, ce dernier sera par conséquent plus faible en été comparé à l'hiver (COMIFER 2009). De plus, l'amplitude saisonnière du pH est liée au pouvoir tampon du sol, qui est conditionné par la teneur en argile et en MO. Ainsi, plus un sol aura des teneurs en argile et MO importantes, moins la variation de pH sera importante. Il est donc important de prendre en compte la période de prélèvement pour interpréter la valeur du pH.

Le taux de saturation de la CEC (S/CEC)

Il représente la part en élément fertilisant présent dans la CEC (Ca^{2+} , mg^{2+} , K^+ , Na^+), les protons constituant la part restante. L'objectif est d'avoir un taux de saturation d'au moins 70% pour les prairies et 80% pour les cultures, correspondant à un pH_{eau} minimum de 5.8 et 6.0.

Avec ces deux indicateurs (pH et S/CEC), il est possible de gérer le chaulage des sols en comparant la valeur de l'analyse avec une valeur objective qui varie selon la culture.

Type de sol	Sol très acide	Sol acide	Sol peu acide		Sol neutre à basique
S/CEC (%)	<55	55 - 70	70-90	90-120	>120
pH_{eau}	<5.5	5.5-5.8	5.8-6.3	6.3-6.8	>6.8
Prairies permanentes	Redressement	Entretien	Entretien	Impasse	Impasse
Prairies Temporaire, cultures	Redressement	Redressement	Entretien	Entretien	Impasse

- Si la **valeur de l'analyse > valeur objective** → **Impasse**, aucun apport,
- Si la **valeur de l'analyse ≈ valeur objective** → **Stratégie de chaulage d'entretien** qui consiste à apporter régulièrement (tous les 4-5 ans) un amendement basique dans le but de maintenir la valeur du pH. La quantité de Valeur Neutralisante (VN)¹ à apporter est évaluée en fonction des exportations des cultures, du lessivage et de l'action acidifiante des engrais minéraux.

Cultures	Besoins à l'entretien (uVN/ha/an)	Fréquences d'apport
Prairie Permanente (PP) : sans fertilisation	200	5 ans
PP : fauche et/ou pâture avec fertilisation modéré	250	4-5 ans
PP : fauche-pâture avec forte fertilisation	300	4 ans
Prairies temporaires, Cultures	350	5 ans

- Si la **valeur de l'analyse < valeur objective** → **Stratégie de redressement**, qui consiste à apporter une dose importante d'amendement basique dans le but de remonter le pH du sol. Cependant il est recommandé de ne pas augmenter le pH de 0.5 point par amendement, pour ne pas modifier trop rapidement les caractéristiques du sol et éviter les risques de blocage des oligo-éléments. La quantité de VN nécessaire est déterminé avec la CEC et pH objectif selon les références du COMIFER :

Quantité de valeur neutralisante exprimée en unité VN/ha

Modification de pH recherchée :		CECMetson (cmol+/kg ou meq/100g)		
passer de	à	5	10	15
pH 5,0	pH 5,5	500	1000	1300
pH 5,5	pH 6,0	700	1300	1700
pH 6,0	pH 6,5	1000	1900	2800

Source : Groupe chaulage COMIFER, 2012

¹ La valeur neutralisante (VN) correspond à la quantité d'acide qu'un produit basique est potentiellement susceptible de neutraliser. 1kg de CaO = 1 uVN | 1kg de MgO = 1,4 uVN. Exemple : 100 kg de dolomie titrant 32.6% de CaO et 19.7% de MgO apporte 32,6 kg de CaO × 1 uVN + 19,7 uVN × 1,4 uVN soit 60,2 uVN. Avec ces deux indicateurs (pH et S/CEC), il est possible de gérer le chaulage des sols en comparant la valeur de l'analyse avec une valeur objective qui varie selon la culture.

Il existe de nombreux produits d’amendements basiques ayant des caractéristiques et des fonctions très différentes. Le choix des produits à utiliser se fait en fonction de :

- la composition (quantité de VN et présence ou non de MgO),
- la nature (produits cuits, crus, transformé ou non),
- la rapidité d’action, conditionnée par la finesse de mouture et la dureté du produit. Plus il sera fin et/ou tendre plus sa vitesse d’action sera rapide et inversement.

Ainsi, les produits utilisés pourront être adaptés selon la stratégie de chaulage retenue. Pour un chaulage d’entretien, il est préférable d’utiliser des produits à action lente. A l’inverse, pour un redressement, il est préférable d’utiliser des produits à action rapide. Un autre paramètre pouvant conditionner l’utilisation de certains produits est le coût de ces derniers : le coût ramené à la VN permet une comparaison économique des produits. En général, le coût des produits fins et transformés est plus élevé que ceux présentant une taille plus grossière.

Produits	CaO %	MgO %	u VN	Action*	Coût indicatif
Produits crus					
Calcaire pulvérisé	46 à 60	0 à 5	45 à 54	Rapide	Moyen
Calcaire broyé	46 à 60	0 à 5	45 à 54	Moyenne	Faible
Dolomie pulvérisé	30 à 35	18 à 20	58 à 60	Moyenne	Moyen
Dolomie broyé	30 à 35	18 à 20	58 à 60	Lente	Faible
Produits cuits					
Chaux vive	90 à 95	0	92 à 94	Très rapide	Élevé
Chaux magnésienne	48 à 50	30 à 32	92		
Amendements sidérurgiques phosphates	40 à 45	4	40 à 45		Élevé
Engrais neutralisants ex. : Scories Thomas	40 à 45	1 à 3	40 à 45	Rapide	Faible

Source : Chambre d’agriculture Bourgogne, 2015

*Action rapide : quelques semaines / moyenne : quelques mois / lente : plusieurs années

Pour calculer la quantité d’amendement à apporter, il faut utiliser la formule :

$$\text{Quantité d'amendement} = \frac{\text{Quantité de VN à apporter (uVN/ha)}}{\text{VN de l'amendement (uVN)/100}}$$

Exemple : Pour un sol ayant un pH de 5,5, une CEC de 10 et pH objectif de 6,0, il faudra apporter 1300 uVN. Si le produit apporté est de la dolomie ayant une VN à 60, il faudra épandre :
 $1300/0,6 = 2167 \text{ t/ha de dolomie.}$

AJUSTER SA FERTILISATION

Phosphore

Le phosphore (P) agit sur la croissance et le développement racinaire de la culture. Cet élément est important en début de végétation et dans les jeunes organes. Si un excès de phosphore peut induire un risque d’eutrophisation des milieux lenticques, un déficit de cet élément peut entraîner un retard de croissance et de développement des cultures.

Potassium

Le potassium (K) agit sur la croissance des cellules et le fonctionnement de la photosynthèse. L’excès de potassium peut induire un blocage du magnésium, tandis qu’un déficit peut entraîner des carences minérales (transport des sucres, régulation stomatiques).

Pour la gestion de la fertilisation en P et K le COMIFER propose une méthode basée sur l’exigence des cultures, la teneur obtenue par analyse de terre, l’historique de fertilisation et les résidus de cultures. Cette méthode n’est cependant pas adaptée aux prairies permanentes, car les teneurs en P et K peuvent être surestimées. Dans le cas des prairies permanentes il est ainsi préférable de réaliser une analyse d’herbe (ou analyse foliaire) qui va évaluer la disponibilité en P et K pour la végétation prairiale.

Pour des recommandations d'apport en P et K selon le mode d'utilisation de la prairie et son potentiel de production, reportez vous à la note technique « Gestion de la fertilisation organique » (2020) : <https://www.herbe-fourrages-centre.fr/publications/notes-techniques/prairie/>

Pour les cultures, l'analyse de terre est suffisante pour calculer les doses de P et K à apporter avec la méthode COMIFER. Elle repose sur le calcul ci-dessous, avec la teneur en P₂O₅ et K₂O des exportations à reprendre dans le document COMIFER (<https://comifer.asso.fr/ressources-documentaires/>) .

$$\text{Dose P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O} \text{ conseillée (kg/ha)} = \text{Coefficient multiplicateur des exportations} \times \text{Rendement prévu (t MS/ha ou q/ha)} \times \text{Teneur P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O} \text{ dans les exportations (kg P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O /rendement)}$$

Le classement des cultures selon leurs exigences en P₂O₅ et K₂O a été repris dans le tableau suivant :

	Exigence des cultures en P ₂ O ₅	Exigence des cultures en K ₂ O
Cultures très exigeantes	Betterave sucrière, pomme de terre, colza, luzerne	Betterave sucrière, pomme de terre
Cultures exigeantes	Maïs fourrage, pois, orge, Ray grass, blé dur, sorgho	Colza, luzerne, maïs grain, maïs fourrage, pois, Ray grass, soja, tournesol
Cultures peu exigeantes	Avoine, blé tendre, maïs grain, seigle, soja, tournesol	Avoine, blé tendre, blé dur, orge, sorgho

Exemple de calcul de dose de P₂O₅ et K₂O à apporter :

Sur un sol situé dans le sud de la région Centre-Val de Loire, ayant une texture limono-argileux avec des teneurs en P₂O₅ de 35 mg/kg et en K₂O de 252 mg/kg. Il n'y a eu aucune fertilisation depuis 1 an. La culture en place est un Ray Grass anglais, catégorisée en culture moyennement exigeante à la fois en P₂O₅ et en K₂O, avec un rendement prévu de 7 t MS/ha. La teneur des exportations du Ray Grass anglais est de 6.7 kg P₂O₅/t MS et 28.6 kg K₂O/t MS.

D'après les références COMIFER (tableau ci-dessous), la teneur en P₂O₅ est inférieure à la teneur seuil renforcée (Trenf)², alors que la teneur en K₂O est supérieure à la teneur seuil d'impasse (Timp)².

Région Centre Limousin	Seuils P ₂ O ₅ (mg/kg) - méthode Olsen						Seuils K ₂ O (mg/kg)					
	Forte exigence		Moyenne exigence		Faible exigence		Forte exigence		Moyenne exigence		Faible exigence	
	Trenf	Timp	Trenf	Timp	Trenf	Timp	Trenf	Timp	Trenf	Timp	Trenf	Timp
Limon argileux	50	80	50	80	20	70	200	400	150	220	100	150

On diagnostique une possible absence de fertilisation en K₂O et une fertilisation conséquente en P₂O₅. Cependant il faut prendre en compte l'historique de fertilisation.

En prenant en compte une année sans fertilisation et une culture moyennement exigeante, les coefficients multiplicateurs à appliquer sont de 1.8 pour le phosphore et 0.6 pour le potassium.

Ainsi la dose à apporter pour le phosphore est de : **1.8 x 7 x 6.7 = 96 kg P₂O₅/ha.**

La dose pour le potassium est de : **0.6 x 7 x 28.6 = 137 kg K₂O/ha.**

² Trenf/Timp : Teneurs seuils en fonction du type de sol et de l'exigence de la culture pour un apport renforcé ou une impasse, à reprendre dans le document COMIFER.

Teneur du sol
Positionner la teneur par rapport aux seuils

P₂O₅

Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation

Teneur faible	Trenf.	Timp. -10%	Timp.	Timp. +10%	2x Timp.	3x Timp.	Teneur élevée
	50	72	80	88	160	240	

Teneurs seuils pour cultures moyennement exigeantes (mg/kg)

Teneur parcelle (mg/kg) **35**

Moyennement exigeantes Blé / Blé - Blé dur Maïs fourrage - Pois Orge - R.G. - Sorgho	Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0
		1 an	1.8	1.2	1.0	1.0	0.8	0
2 ans ou +	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.6	0	

K₂O

Cas des fourrages
Pour toute destination des résidus du précédent

Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation

Teneur faible	Trenf.	Timp. -10%	Timp.	Timp. +10%	2x Timp.	3x Timp.	Teneur élevée
	150	198	220	242	440	660	

Teneurs seuils pour cultures moyennement exigeantes (mg/kg)

Teneur parcelle (mg/kg) **252**

Cultures Moyennement exigeantes Maïs fourrage Ray-Grass - Luzerne	Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	1.0	1.0	0.8	0.6	0	0
		1 an	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
2 ans ou +	1.5	1.2	1.0	1.0	0.8	0.4	

Les doses conseillées par la méthode COMIFER peuvent parfois être importantes avec un coût final élevé. Une expérimentation faite par les Chambres d'agriculture de l'Indre et du Cher a montré que seulement 50 kg K₂O/ha et 20 kg P₂O₅ ont un effet sur le rendement pour des sols carencés. Un apport plus important n'augmente pas le rendement mais permet de reconstituer les réserves du sol. (<https://centre-valdeloire.chambres-agriculture.fr/ird/ird-publications-elevage/>).

Magnésium

Le magnésium agit sur le processus de photosynthèse de la culture, ainsi que sur la synthèse, le transport et le stockage des sucres. L'excès de magnésium dans le sol peut provoquer une diminution de la stabilité structurale du sol. Un déficit peut entraîner des carences minérales de l'herbe (chlorophylle, transport des sucres) et des tétanies d'herbage³ (COMIFER, 2019).

Les besoins des cultures vont de 30 à 50 kg MgO/ha selon les espèces. La teneur obtenue par l'analyse de terre reflète la disponibilité du magnésium pour les plantes. Il est possible de comparer cette valeur analysée à une teneur seuil pour évaluer le risque d'une impasse d'apport de magnésium (Fertisol, 2020).

Type de sol	Sables	Limons	Argilo-calcaires, craies, argiles
Teneur seuil de risque (g/kg de MgO)	< 0.03	< 0.06	< 0.08

³ La tétanie d'herbage est une carence en magnésium sanguin. Elle provoque des troubles nerveux qui se traduisent par des tremblements musculaires, agitation, hypersensibilité, hyperexcitabilité, convulsions.

Oligo-éléments

Les oligo-éléments correspondent à des éléments nutritifs présents en faibles quantités dans le sol. Les principaux oligo-éléments étudiés en agriculture sont le Fer (Fe), Cuivre (Cu), Molybdène (Mo), Manganèse (Mn), Zinc (Zn) et Bore (B). Ils sont essentiels aux mécanismes intervenants dans la croissance des plantes (photosynthèse, croissance, fixation de l'azote, synthèse des protéines, de la lignine et des glucides).

Pour certains oligo-éléments, l'analyse de terre est un bon outil pour diagnostiquer un risque de carence et permettre ainsi d'anticiper un éventuel apport selon la sensibilité de la culture.

Synthèses de l'intérêt de la mesure par analyse de terre pour chaque oligo-éléments

	Intérêt	Seuil de risque	Cultures très sensibles	Cultures sensibles
Manganèse	Insuffisant	<10 ppm (extraction EDTA)	Céréales à paille, sorgho, betterave, pois, soja	Maïs, colza, tournesol, luzerne, trèfle, pomme de terre
Cuivre Cuivre / MO	Très pertinent	Ratio Cu EDTA (ppm) / MO% : <0.4 sols argilo-calcaires ; <0.5 limons caillouteux ; <1 limons	Céréales à paille	Maïs, sorgho, luzerne, pois
Zinc	Très pertinent	<1 mg/kg pour pH _{eau} <6.2 <2 mg/kg pour pH _{eau} >6.2	Maïs, lin, haricot	Sorgho, pomme de terre, soja
Bore	Très pertinent	<1.2 ppm pour les sols argilo-calcaire <0.3-0.8 pour les autres types de sols	Betterave, tournesol, luzerne	Colza, lin, pomme de terre, pois, trèfle
Molybdène	Sans intérêt	Difficile à interpréter	Luzerne, pois, trèfle	Colza, soja
Fer	Sans intérêt	Il est très rare d'observer une carence vraie de fer	Pois, soja	Maïs, sorgho, haricot, lupin

Sources : LOUE 1993, COMIFER 2005, Arvalis 2020

L'analyse de terre et son interprétation constitue un outil de pilotage indispensable permettant d'appréhender de nombreux aspects du fonctionnement et de la fertilité des sols. D'autres outils et méthodes complémentaires, comme le test bêche (structure du sol), le profil cultural (fonctionnement et structure du sol), le slake-test (stabilité structurale) ou encore le test du slip (activité biologique), peuvent être mobilisés pour évaluer d'autres indicateurs essentiels.