

## NUTRITION DES PLANTES, PHYSIOLOGIE VEGETALE ET FERTILITE DES SOLS

Au sommaire de ce compte-rendu :

1. Eléments minéraux	1
2. Analyses de sol	2
3. Stratégie de correction des carences	3
4. Exercice – correction des facteurs limitants de la parcelle	5
5. Fertilisation starter	6
6. Engrais organiques	7
7. Potentiel d'oxydoréduction	8
Conclusion	8

Intro :

Pour passer en SDSC, toujours se demander « Quel est le facteur le plus limitant de ma parcelle ? »

→ Je pose le diagnostic de fertilité des sols et je répare mes facteurs limitants

→ Voir exercice en page 4

### 1. Eléments minéraux

Bien faire la distinction entre la présence des éléments chimiques et leur disponibilité.

C'est le milieu aqueux de la physiologie du sol qui permet les interactions.

Les carences peuvent induire des maladies ! Ex : Fusariose = carence en Zinc, Alternariose = carence en cuivre.

Une plante malade, les insectes viennent la nettoyer, c'est le cycle de la vie.

**Analyse de sol :**

- A réaliser tous les 3-4 ans
- La profondeur de prélèvement dépend des pratiques culturales : 40 cm si labour / 10 cm si TCS
- Pour éviter des biais dans la lecture :
  - o Toujours à la même période
  - o Toujours avec le même labo
  - o Sur une zone homogène

**Le frigo :**

La Capacité d'Echanges Cationiques (CEC) serait donc comparée à la taille du frigo. En augmentant le taux de MO du sol, j'obtiens un frigo américain, qui permet de mieux fixer les éléments.

- Rapport MO/Argile < 10 % : à corriger
- Rapport MO/Argile = 17 % : quantité minimale de MO pour une bonne stabilité du sol
- Rapport MO/Argile > 24 % : tooop !

Plus il y a de la MO, mieux c'est car l'humus à 30 fois plus de CEC. Et en même temps, la qualité des matières organiques a toute son importance.

Le frigo étant chargé en ions -, seuls les éléments + seront fixés au sol :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ .

A contrario, le sol ne pourra retenir  $\text{SO}_4^{2-}$  ou  $\text{NO}_3^-$ . A noter, le Slake Test, permet de mesurer la résistance des agrégats à l'eau. Sous l'effet de la glomaline, préservée par la limitation du travail du sol,  $\text{SO}_4^-$  et  $\text{NO}_3^-$  sont retenus dans le sol.

**Le pH :**

Le pH mesure le potentiel hydrogène du sol (c'est-à-dire la quantité d'ions  $\text{H}^+$ ). Ainsi, le pH optimum pour l'efficacité des engrais est à 6.5. Chauler permet de remonter le pH et de mieux valoriser des apports minéraux qui coûtent chers. A titre d'exemple, un pH à 5 engendra une efficacité faible des engrais, de l'ordre de 43% pour l'azote, 34% le phosphore et 52% le potassium.

### Correction du pH :

- Dans tout produit de chaulage, c'est la base associée ( $\text{HCO}_3^-$  ou  $\text{SO}_4^{2-}$ ) qui chaulent et le choix de l'amendement dépendra des taux de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  du sol.
- En situation où les roches-mères sont naturellement acidifiantes, il sera nécessaire de chauler. Chauler sert à remonter le pH. Eviter les chaux vive et aller plutôt sur des carbonates de calcium. Les quantités dépendent des pratiques culturales. Par exemple, pour la prairie, prévoir 400 kg / ha / an de carbonate. Attention à ne pas faire des apports trop gros car risque de blocage par le calcium.
- Epanchage en hiver : c'est le froid qui dissout la chaux. Idéalement, sortie d'automne, début d'hiver.
- En situation à pH >7
  - o **Si  $\text{Ca}^{2+}$  >90%** :  
20 kg de soufre élémentaire à l'automne  
*petites billes jaunes – processus de transformation : entre 2 et 6 mois*  
 $\text{S} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$   
ET  
100 à 150 Kg de Kiesérite au printemps  
 $\text{Mg SO}_4 \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$
  - o **Si  $\text{Mg}^{2+}$  >20%** :  
400 kg / ha de gypse au printemps  
 $\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

## 2. Analyse de sol

Sur l'analyse de sol, regarder :

- pH
- $\text{Ca}^{2+}$  /  $\text{Mg}^{2+}$  (80% - 15%)
- $\text{K}^+$  (3 à 5%)
- $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , B, Mo

Eléments non interprétables :

- Phosphore : il y a 0 corrélation entre la teneur en phosphore dans le sol et la teneur en phosphore dans la plante. En revanche, il y a une grande corrélation avec l'activité biologique : ce n'est pas parce qu'il y a beaucoup de phosphore dans le sol que la plante peut aller le chercher. Cela dépendant de l'activité biologique.
- Fer,
- Manganèse

## 3. Stratégie de correction des carences en oligo-éléments

Outils d'analyses :

- BRIX : mesure du taux de sucre dans la plante. Il est variable selon le moment de la journée ;
- ANALYSES DE SEVE : aucun retour sur investissement aujourd'hui sur grandes cultures. Intéressant en arboriculture.

Observations et gestion des carences :

MOLYBDENE	MANGANESE	SOUFRE
Davantage disponible en pH 8. Parfait pour la luzerne >> à appliquer à chaque coupe pour l'aider à redémarrer	Pour savoir s'il y a une carence, se fier uniquement aux plantes (l'analyse de sol est non pertinente). Les observations de carences se font sur les feuilles du bas. La carence en manganèse est souvent observée sur orge et blé, et sur sol travaillée (car il y a une forme oxydée du Mn) → passer le rouleau pour chasser l'air. Sulfate de manganèse en foliaire, possible jusqu'à 2 nœuds. Après, c'est trop tard pour intervenir.	Carence en Soufre : pieds rouges, feuilles pâles  C'est un élément très important Colza : si toutes les fleurs ne fleurissent pas en même temps = manque de soufre
POTASSIUM	CUIVRE	ZINC
Carences en K : points blancs sur la feuille	Carences en cuivre : orge et blé plus sensible. Visible jusqu'au stade 2 feuilles étalées. Quand les symptômes sont visibles, il est trop tard pour intervenir. Il faut donc se fier à l'analyse de sol. Correction par sulfate de cuivre, si nécessaire. Sinon risque de toxicité.  Contre l'excès de Cuivre : vesce ( <u>exportée impérativement</u> ) ou tournesol	Sensibilité du lin et du maïs : Décoloration blanche sur les feuilles jeunes, au stade 6-12 feuilles sur maïs. ⇒ Regarder l'analyse de sol.  Possibilité d'enrobage de semence avec du zinc
AZOTE	PHOSPHORE	FER
Carences en N : Observation de V jaunes sur les feuilles du bas  Max. 30 U N / passage Urée : sol chaud et pluie dans les 24h Importance de l'indice de salinité : - Indice < 30 si l'engrais est au contact de la graine - Indice > 30 s'il existe un espace de 5 cm minimum entre la graine et l'engrais	Carences en P : violet  Très peu mobile (seulement sur 3 à 4 mm) : il faut donc le localiser = 3 fois plus efficace qu'en surface	Toxicité en fer : les plantes deviennent noires
<p><b>Pour les corrections →</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Application en <b>individuelle</b>, à une semaine d'intervalle : pas de cocktail d'éléments,</li> <li>- Si carence de 2 éléments, il vaut mieux fractionner et éviter les mélanges qui pourraient induire des blocages d'absorption,</li> <li>- Application <b>en condition poussante uniquement</b> : pas d'application en période de stress</li> </ul>		

### Zoom sur les apports azotés :

Quelles formes azotées la plante peut-elle prélever ?

- $\text{NH}_4$  → excrétion de  $\text{H}^+$  pour obtention de l' $\text{N}$
  - $\text{NO}_3^-$
  - N organique (acides aminés → schéma ci-contre)
  - $\text{N}_2$  (légumineuses)
- ⇒ Avec des mécanismes d'adsorption différents.

Humification dans le sol, par les champignons  
Minéralisation dans le sol, par les bactéries.

La plante préfère la formule « acides aminés » qui lui fait économiser de l'énergie : elle en profite pour « faire du gras », des lipides, qui vont l'aider à se préserver.

La fertilité des sols repose donc sur sa biologie : le plus important, c'est la diversité de la biologie du sol : chaque bactérie est spécialiste d'un type d'acide aminé dédié. Il existe 20 AA.

Au bilan, les leviers :

- Fractionnement de l' $\text{N}$  ;
- Augmenter le taux de MO et la biologie du sol.

3 raisons pour décider de composter :

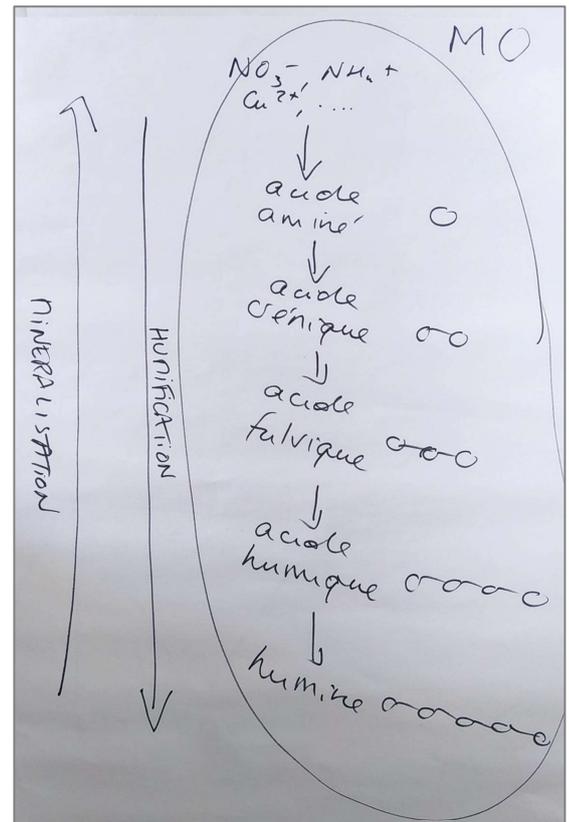
- pour supprimer des graines d'adventices,
- pour gagner du temps,
- parce que j'ai de la luzerne.

Apports organiques à valeur amendante :

- Compost
- Fumier pailleux
- BRF

Apports organiques à valeur fertilisante :

- Lisier
- Effluents peu pailleux



#### 4. Exercice

FACTEUR LIMITANT	ACTIONS A COURT TERME	ACTIONS A LONG TERME
Pas / peu de rétention d'eau	Ajouter des matières organiques stables : compost, fumier, ligneux	Cultures pérennes
Croûte de battance	Couvrir mes sols Espèces avec un système racinaire se développant en surface	Couvrir les sols Augmenter la MO
Compaction en profondeur (s'observe en regardant les racines) : on décompacte sur sol ressuyé et en sol couvert	Faut-il fissurer ? Le végétal prend le relais du métal : CV et cultures	Pas de trafic en conditions humides Poids des engins (2t/roue – TERRANIMO) Trafic contrôlé
Agrégation faible	Favoriser la vie biologique des sols pour créer la globalime Introduire des cultures avec des mycorhizes	Maintenir et favoriser la vie biologique des sols Introduire des cultures avec des mycorhizes
MO labile faible	CV avec C/N faible Introduire des légumineuses	Gérer les rapports C/N de ce qui est apporté au sol Choix des espèces utilisées dans la rotation
pH acide	Corriger avec les amendements basiques (carbonates de calcium)	Analyses chimiques
pH basique	Vérifier l'équilibre Ca / Mg Considérer les amendements basiques	Analyses chimiques
Salissement important	CV mono-espèce Alterner les cultures d'hiver, de printemps et d'été Eviter les cultures associées	Rotations adaptées Introduction de prairies
Phosphore faible	Apport en localisé car P mobile sur 2-4 mm Couverts végétaux qui recyclent P : Sarrasin, brassicacées, lupin, phacélie + lentille	
Potassium faible (obj : 3 à 5%) Sulfate de potassium à préférer par rapport au chlorure de potassium	Apporter du K Couverts végétaux qui recyclent K : Lupin	Analyses chimiques
Déficiences en oligos	Utiliser des oligos Utiliser les couverts pH < 6.5	Favoriser les mycorhizes Eviter les excès Ca Améliorer le taux de MO Analyses chimiques pour vérifier le pH
Zone hydromorphe	Drainage	Plantes pérennes (fétuques, lotier des marais)

### Echanges et questions :

- Plus on sème clair (surtout les crucifères), plus la plante développe son système racinaire ;
- Colza fourrager : restera au ras du sol, ne va pas monter à graines
- Moutarde brune : va monter à graines
- Maïs grain : monoculture  
Moissonner le plus haut possible, enlever les broyeurs sous becs  
Semer un CV de **céréales** ? à la volée / semis de phacélie (elle produit des mycorhizes et le semis fin octobre reste possible)  
Broyer les cannes de maïs  
Détruire le couvert le plus tard possible (⚠ se heurte au frein psychologique du labour !)
- Clés pour le SD :  
Il faut des racines présentes dans le sol, qu'elles soient mortes ou vivantes, peu importe  
Détruire les couverts végétaux plus tardivement qu'en « traditionnel » : les échecs en SD se sont observés lorsque les CV ont été détruits trop précocement.  
Savoir attendre ; le semis de maïs ou de tournesol se fera plus tardivement qu'en « traditionnel », lorsque la température du sol atteint 12°C
- Quand détruire les CV ?  
Cela dépend de la RU du sol.  
Sachant que pour produire 1t de biomasse, le couvert a besoin de 25mm d'eau.
  - o Si peu de RU : stopper le couvert un mois avant, pour conserver ce qui a été retenu par le couvert,
  - o Si RU suffisante dans le sol : détruire le couvert le plus tard possible, au plus proche du semis.
- Comment évaluer la restitution des éléments du CV ?  
La méthode MERCI donne une photo du CV à l'instant T.  
La restitution de ces éléments interviendra, même si on ne sait pas trop à quel moment ni à quelle cadence cette restitution s'opèrera.

## 5. Fertilisation starter

### Fertilisation N : Zoom sur l'indice de salinité

Elle est indispensable en SD, pour venir en remplacement de la minéralisation du sol.  
Moins on touche le sol, plus l'engrais starter est nécessaire.  
⚠ à l'indice de salinité : ne pas dépasser 30 en indice de salinité (c'est-à-dire ok pour polyphosphate d'ammonium, DAP 18-46, MAP). Plus il y a de sel, moins ça va, à cause de l'osmose inverse.

### Fertilisation P indispensable

P indispensable à l'activité biologique des sols, en starter  
Associer systématiquement 30 U P/ ha au starter  
P liquide est 7 fois plus efficace que le P solide en conditions sèches  
P liquide = 60 L/ha  
Polyphosphate d'ammonium est soluble et disponible tout le temps  
Matériel possible : Semis avec une trémie qui débite le P sur la graine, et un disque qui rappaue

	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_2-\text{C}-\text{NH}_2$    O
Ammo	50%	50%	
Sol N	25%	25%	50%
UREE			100%
UREE classique			
UREE NBPT			
UREE COTEN RIX			

### Que penser des activateurs de vie du sol ?

« La fertilité des sols ne s'achète pas, elle se construit. Les bactéries achetées entrent en compétition avec celles du sol ».

Les retours sur investissement sont controversés.

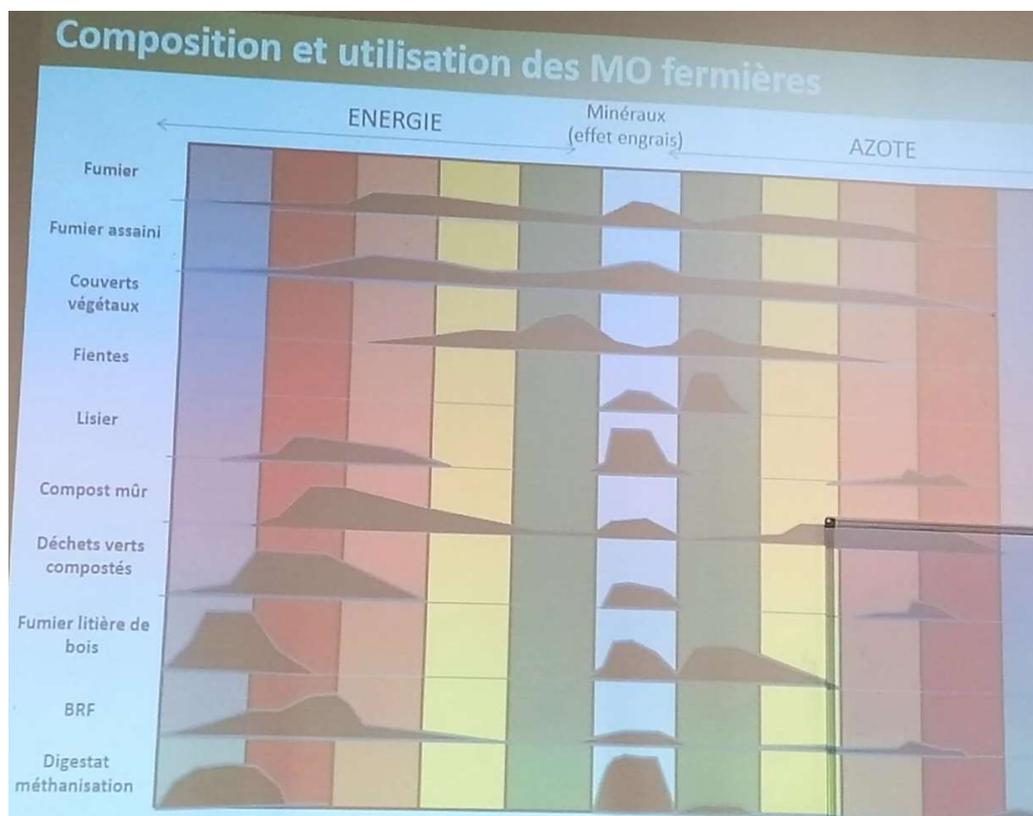
Même si le produit « Bactériolit » (SOBAAC) aurait un effet sur le fumier / lisier, en réorganisant l'azote, stabilisant l'azote de ces engrais organiques.

## 6. Engrais organiques

L'engrais doit chercher à avoir toutes les « couleurs » possibles (cf. : photo ci-dessous), aussi bien en effet attendu sur « l'énergie », les « minéraux » et « l'azote ».

Le compostage n'améliore qu'un fumier bien stocké.

Le BRF : Bois Raméale Fragmenté = rameaux de l'année qui ne fait pas plus de 7 cm de long.



## 7. Potentiel d'oxydoréduction ou REDOX

Le potentiel REDOX s'apparente à de la physique quantique, dans laquelle on ne s'intéresse qu'au plus petit état possible de l'agriculture.

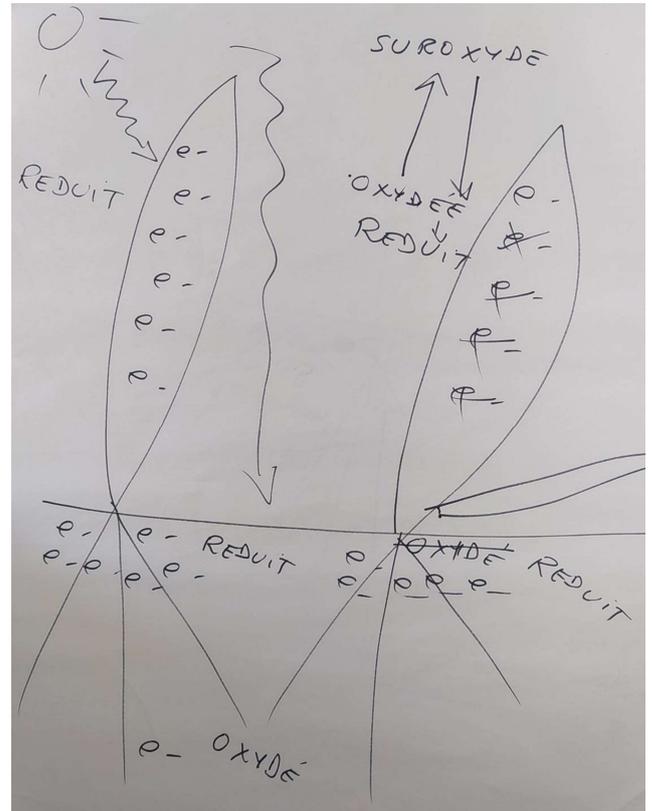
Une plante et son sol ont besoin d'un bon équilibre redox pour se développer et résister aux agressions « oxydé, on a des maladies ».

Par réduction, la **photosynthèse permet aux plantes de fixer l'énergie solaire**. Dans les réactions d'oxydoréduction, ce sont les électrons qui sont échangés (partie gauche du schéma ci-contre). Plus il y a des électrons, plus la plante est réduite.

Effet du labour : on retourne = oxydation en surface (la plante a les pieds oxydés), réduction en profondeur >> la plante prendra ses électrons dans ses feuilles, pour les envoyer vers ses racines. Elle oxyde ses feuilles. Plus il y a d'oxydation, plus il y a des champignons.

A contrario, en situation de SD, il y a moins de maladie. Ça ne signifie pas qu'il n'y a pas de maladie.

Ce n'est pas parce qu'il y a de la vitamine C que la plante (ou nous) est moins malade.



## Conclusions

OAD = Agriculture de précision. Elle sera toujours à coupler (et nécessite de maîtriser) la LOWTECH, l'agronomie et l'observation.

Pour progresser, le travail mené par le collectif est bien, motivant et permet l'entraide.

La mise en place d'un groupe WHATSAPP peut être utile pour partager ses pratiques, ses engagements en début d'année. Par exemple pour donner à voir « 3 choses positives de l'année, 2024 » et « 1 chose sur laquelle on va progresser ».