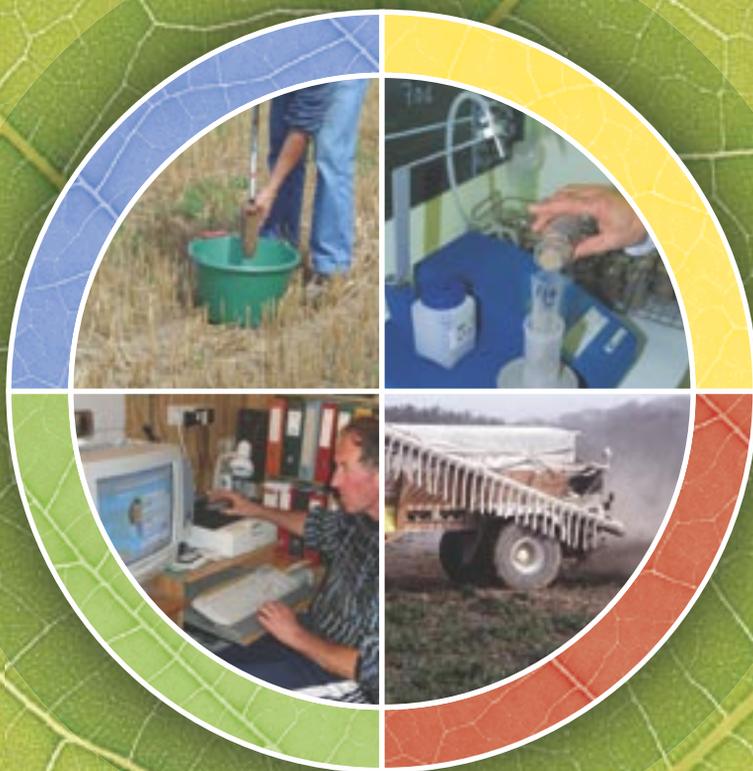


# GÉRER SON CAPITAL SOL



GUIDE PRATIQUE 2005



CHAMBRES  
D'AGRICULTURE  
BRETAGNE



### **Gérer son capital sol**

*L'analyse de terre est l'outil qui permet de connaître concrètement la fertilité de son sol. Il est indispensable de réaliser régulièrement des analyses de terre de ses parcelles, de l'installation jusqu'à la fin de sa carrière. C'est ainsi que l'on peut maîtriser l'évolution du potentiel de production de ses parcelles dans le temps.*

*Ce guide pratique, en vous donnant des repères objectifs pour l'interprétation des analyses, vous permettra de gérer le capital sol de votre exploitation. Il rappelle les bases de l'agronomie, en ajoutant les références récentes issues des travaux de recherche appliquée.*

*En faisant exprimer tout son potentiel à un sol, on mobilise l'ensemble des éléments, on obtient le meilleur rendement, on évite les pertes par ruissellement ou lessivage.*

*L'analyse de sol permet d'identifier les intrants en carence qu'il est impératif d'apporter, et les intrants en suffisance qu'on peut économiser. Vous concilierez ainsi l'intérêt économique et environnemental.*

*A consulter pour bien interpréter les résultats de vos analyses de terre.*

*Pierre DANIEL*

*Président du pôle régional  
Agronomie Productions Végétales  
des Chambres d'Agriculture  
de Bretagne.*

Responsable de la publication : Louis Jestin

Conception : Sylvie Tico, Daniel Hanocq, Louis Le Roux

Maquette : PRIMSET

Photos : Chambres d'Agriculture de Bretagne, INRA Quimper, CETIOM

Dépôt légal : 3<sup>e</sup> trimestre 2005

Prix : gratuit pour les agriculteurs bretons

Autres publics : contact commande, 02 98 52 49 11

20 € TTC l'unité de 1 à 10 exemplaires

15 € TTC l'unité de 10 à 50 exemplaires

10 € TTC l'unité au-delà de 50 exemplaires

**I N T R O D U C T I O N** ..... p. 4

## **F E R T I L I T É P H Y S I Q U E**

- granulométrie – texture ..... p. 6
- profondeur d'enracinement ..... p. 7
- hydromorphie ..... p. 8
- carte des sols ..... p. 9

## **F E R T I L I T É C H I M I Q U E**

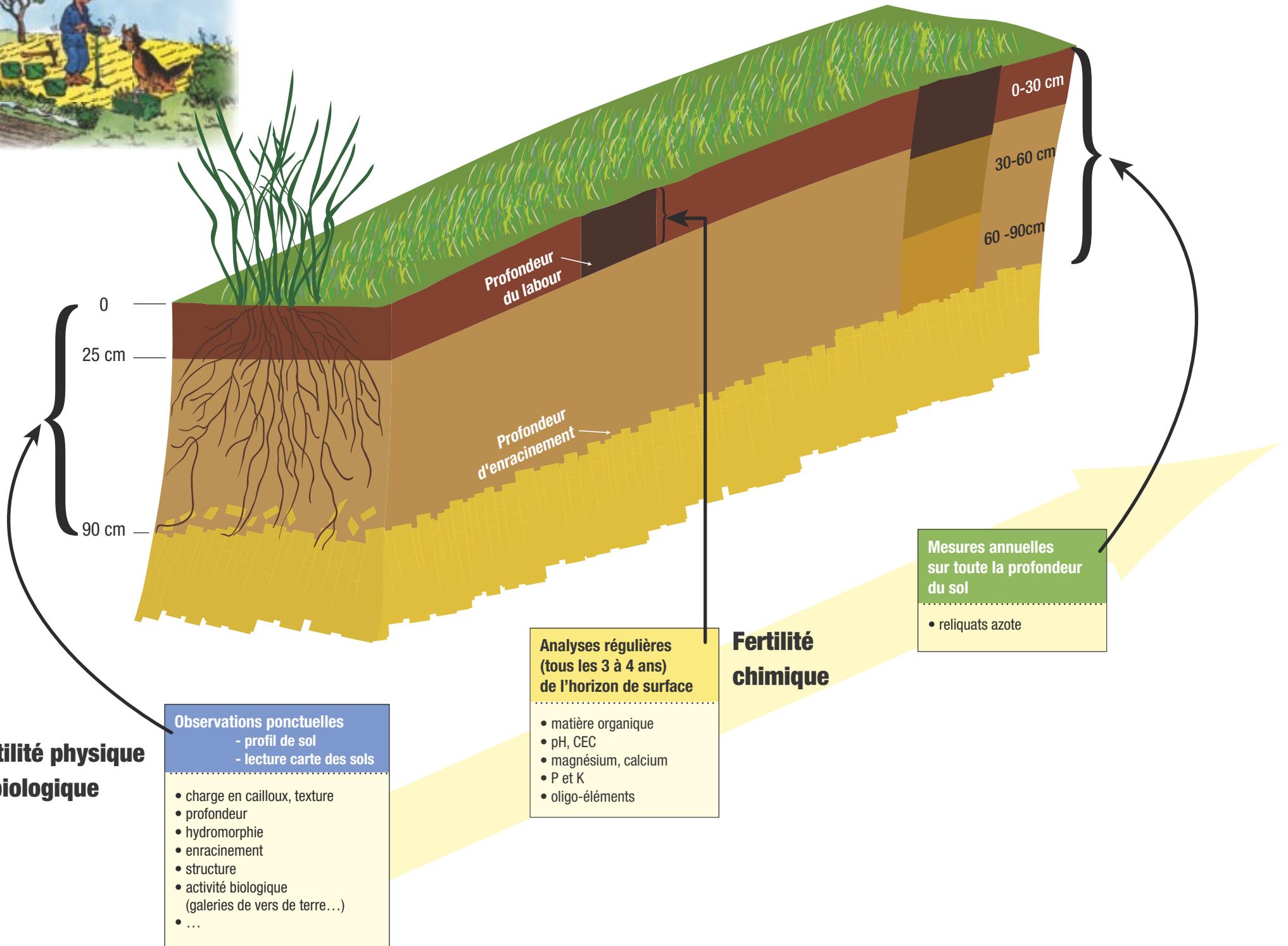
- prise d'échantillons ..... p. 10
- matière organique ..... p. 11
- phosphore et potassium ..... p. 12 à 21
- acidité : pH et CEC ..... p. 22-23
- magnésium et calcium ..... p. 24-25
- amendements basiques ..... p. 26-27
- oligo-éléments ..... p. 28 à 31

**F E R T I L I T É B I O L O G I Q U E** ..... p. 32

**A Z O T E E T S O U F R E** ..... p. 34 à 40

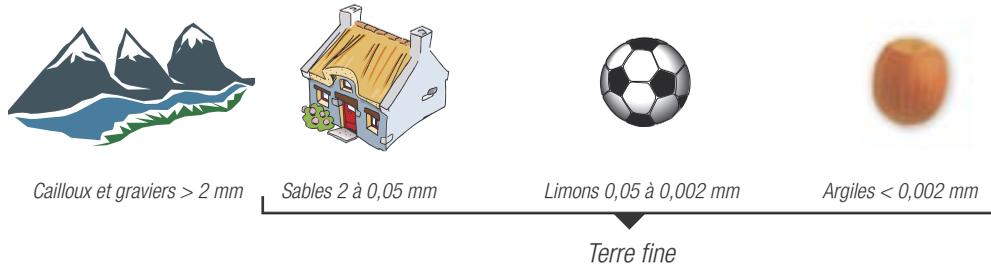
Lexique et éléments de calcul ..... p. 41

Laboratoires d'analyses ..... p. 42

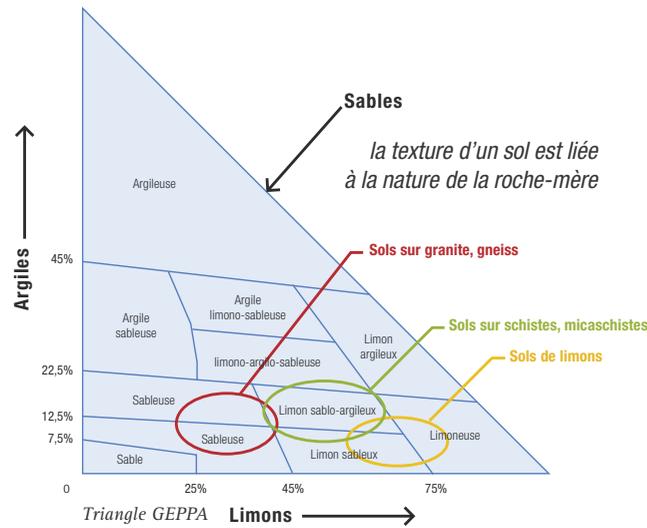
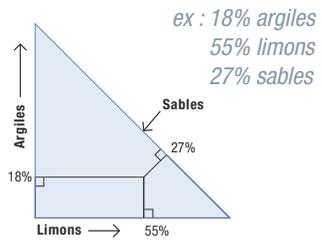


### GRANULOMÉTRIE - TEXTURE

Composition de la terre fine (tamisée) en sables, limons et argiles

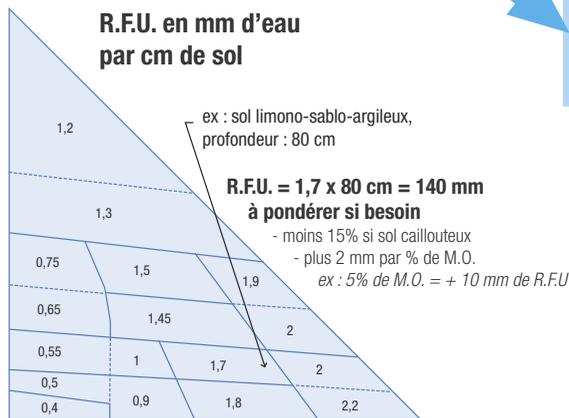


Les résultats se reportent sur un triangle de texture



- ! la texture peut s'apprécier aussi au toucher sur terre humide
- ça gratte : au moins 40% de sables
  - ça colle : au moins 20-25% d'argiles
  - toucher doux : dominante de limons (>60%)

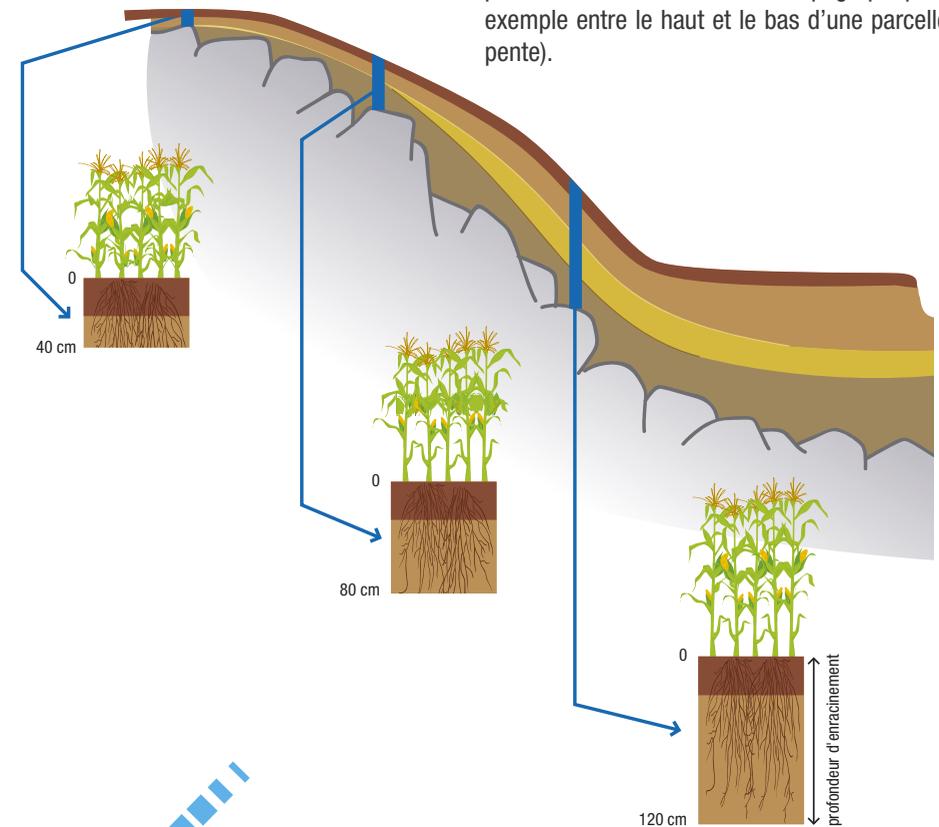
**R.F.U.** : réserve en eau facilement utilisable c'est à dire effectivement accessible pour la plante : généralement 3/4 de la Réserve Utile (R.U.) (Volume d'eau entre 2 humidités : sol ressuyé et sol au point de flétrissement).



! Le tassement excessif du sol peut créer des mottes compactes qui se comporteront comme des cailloux.

### PROFONDEUR D'ENRACINEMENT

Le volume de terre exploitable par les racines dépend de la profondeur du sol. Celle-ci varie le plus souvent avec la situation topographique (par exemple entre le haut et le bas d'une parcelle en pente).



La profondeur du sol se détermine par plusieurs sondages à la tarière sur l'ensemble de la parcelle ou en lecture sur une carte de sols.

En sol profond, les racines peuvent atteindre plus d'un mètre.

! Cette profondeur potentielle d'enracinement peut être limitée par une semelle de labour ou l'excès d'eau.

déterminent la réserve en eau du sol

La réserve en eau se répartit en classes → Un critère pour :

- faible : inférieure à 100 mm
  - moyenne : 100 à 180 mm
  - élevée : supérieure à 180 mm
- viser des rendements réalistes
  - adapter les choix de cultures et les rotations

## HYDROMORPHIE

Signes d'engorgement en eau temporaire ou permanent du sol



Sol sain, couleur homogène, brun-ocre.



Sol hydromorphe  
- Taches rouilles (fer oxydé) : zone où passe encore de l'air.  
- Taches grises (fer réduit) : porosité saturée par l'eau.

L'hydromorphie a des conséquences importantes sur le fonctionnement du sol : asphyxie (diminution de la concentration en oxygène), mauvaise décomposition de la matière organique, lenteur de réchauffement en surface, diminution de portance... Par la limitation de l'enracinement, elle diminue la R.F.U.

L'hydromorphie se repère par sondages à la tarière ou lecture d'une carte des sols (ex votre étude agro-pédologique...).

### Intensité d'hydromorphie et contraintes agronomiques

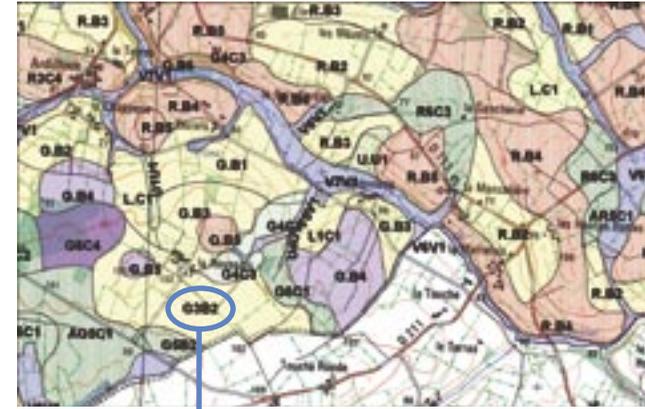
nulle	Absence d'hydromorphie : sol sain	•
faible	Pas d'incidence agronomique	1 à 2
moyenne	Contraintes pour les cultures d'hiver : engorgement possible, retard pour les semis, le désherbage, ...	3 à 4
élevée	Pas d'interventions hivernales. Délais de ressuyage plus longs au printemps et à l'automne. Exploitation en prairies conseillée	5 à 6
très forte	Zones humides à préserver	7 à 9



En parcelles hydromorphes pour limiter les contraintes il est conseillé :

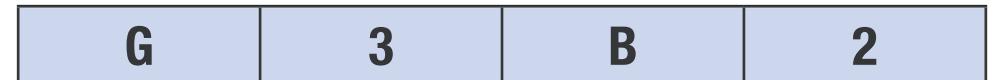
- d'adapter les cultures
- de faire attention à la praticabilité des sols vis à vis
  - des épandages
  - du travail du sol
  - des récoltes

## Lecture d'une carte des sols



Extrait carte des sols au 1/25 000<sup>ème</sup>

ex : sol brun, profond, peu hydromorphe sur granite



Matériau géologique

Hydromorphie

Développement de profil

Profondeur du sol

**G** : granite  
**I** : gneiss  
**F** : micaschistes  
**N** : schistes tendres  
**O** : schistes moyens  
**R** : schistes gréseux  
**L** : limons  
**A** : alluvions  
: ...

**Classification pédologique**  
ex **B** : sol brun  
**C** : sol faiblement lessivé  
**A** : sol d'apport alluvial  
: ...

**sol profond**  
1 supérieur à 1 mètre  
2 80 cm à 1 m

**sol moyennement profond**  
3 60 à 80 cm  
4 40 à 60 cm

**sol peu profond**  
5 20 à 40 cm  
6 inférieure à 20 cm

Pour en savoir plus :

### Le film sur les sols en Bretagne

Il vous permet de découvrir la formation des sols, leurs diversités, leurs fonctions et les organismes qui y vivent.

Contact : 02 97 46 22 29



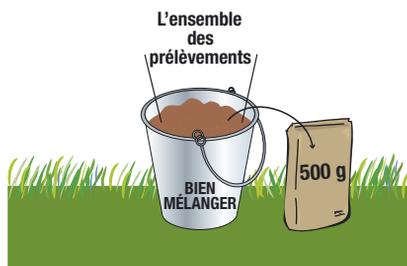
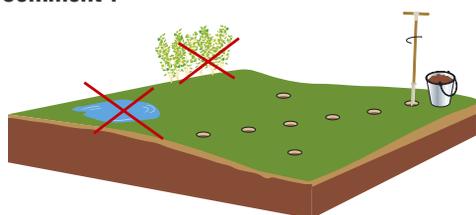
## LA PRISE D'ÉCHANTILLONS

### Des règles simples à respecter

#### Quand ?

- attendre 1 à 2 mois après un apport d'engrais, 6 mois après un chaulage ou un apport organique important
- éviter les périodes où le sol est détrempé ou trop sec  
périodes favorables : automne et printemps
- prélever avant un labour ou un travail du sol profond

#### Comment ?



Un échantillon de 500 g à envoyer au laboratoire avec sa fiche de renseignements.

#### • Nombre de prélèvements :

12 à 15 en diagonale ou en zigzag dans une zone homogène, représentative de la parcelle.



*L'échantillonnage conditionne la validité de l'analyse : 500 g c'est 0,00002% d'une parcelle d'un ha.*

#### • Profondeur :

- travail simplifié ou prairies permanentes : 15 à 20 cm en évitant les 5 premiers cm sous prairie
- terre labourée : ne pas dépasser la profondeur de travail

#### • Emplacement :

Pas trop près des bordures ou entrées de champs, ni sur des emplacements de talus, tas de fumiers ou silos.

☛➡ **L'agriculteur est souvent le mieux placé pour le faire !**

#### • Fréquence :

En suivi régulier, l'analyse est à renouveler tous les 4 ans. Prélever à la même période de l'année et si possible après la même culture.

## MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique (*M.O.*) est composée de molécules à base de carbone qui forment l'humus du sol. Elle joue avec les argiles, un rôle important dans la stabilité structurale, la porosité et le complexe argilo-humique (*réservoir nutritif du sol*).

Elle influence la couleur du sol et donc son réchauffement. Cependant, une couleur très noire peut révéler des dysfonctionnements présents ou passés (*excès d'eau, pH, ...*).

### Le taux de M.O. va dépendre :

- de la M.O. héritée (*historique*) et du type de sol
- du système de cultures
- des apports organiques (*type, fréquence*)

### Différentes méthodes pour déterminer la teneur en M.O. d'un sol

Élément analysé	Coefficient multiplicateur	Employée par
Carbone organique total	1,72 ou 1,73	la plupart des laboratoires nationaux
Carbone organique total	2	certains laboratoires en Bretagne
Azote organique total	20	rarement utilisé aujourd'hui

*Des résultats exprimés en %, ‰ ou g/kg  
ex : 4 % = 40 ‰ = 40 g/kg*

Teneur	Interprétation indicative
supérieure à 5%	élevée
3 à 5%	moyenne
inférieure à 3%	faible



*La seule indication du stock total de M.O. dans un sol ne permet pas de préjuger :*

- de l'activité biologique,
- des fournitures d'azote par le sol.

*Un prélèvement trop profond peut expliquer une teneur plus faible que la réalité (dilution).*

### Ne pas se polariser sur un taux de M.O. élevé ou faible

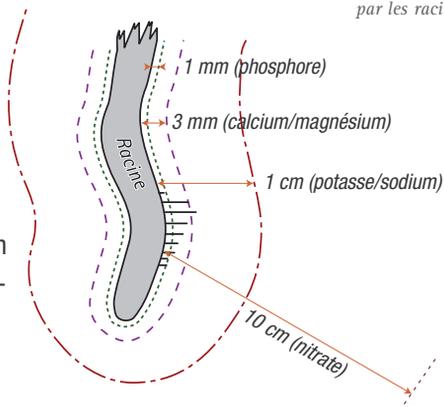
- ➡ privilégier les apports réguliers sous forme d'amendements organiques (fumiers, ...), d'enfouissement d'engrais verts, de résidus de cultures
- ➡ maintenir des prairies dans les rotations

## LE PHOSPHORE

Distance maximale d'attraction des minéraux par les racines

Le phosphore (P) est assimilable sous forme d'ions phosphates, présents dans la solution du sol ou fixés au complexe argilo-humique par des « ponts calciques ».

Il est très peu mobile. La qualité de l'alimentation en phosphore dépend beaucoup de la qualité de l'enracinement et de la disponibilité du phosphore du sol.



L'analyse ne donne qu'une partie du P total du sol. Trois méthodes sont couramment pratiquées avec pour chacune un pouvoir extractif du phosphore assimilable différent.

**DYER** extrait plus que **JORET-HEBERT** qui extrait plus que **OLSEN**

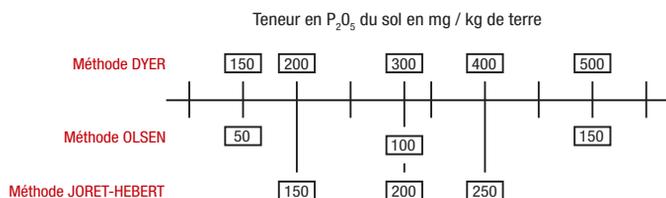
**DYER** : la plus utilisée car bien adaptée à notre contexte (sols acides), nombreuses références expérimentales en Bretagne.

**JORET-HEBERT** : pour les sols à pH voisin de la neutralité ou supérieur à 7.

**OLSEN** : n'extrait qu'une faible fraction du phosphore du sol. Méthode plus fluctuante, peu de références.

Les résultats doivent être interprétés à partir de références expérimentales spécifiques à chacune des méthodes. Quelle que soit la méthode, cela reste un indicateur sur la disponibilité de l'élément mais pas une mesure de stock.

Bien qu'il n'y ait pas de liens entre ces trois méthodes, on peut proposer une échelle de correspondance à titre indicatif.



## LE POTASSIUM

Le potassium (K) « assimilable » se trouve sous forme d'ions potassium libres dans la solution du sol ou fixés sur le complexe argilo-humique. Ce sont des éléments plus mobiles et lessivables. Une seule méthode d'analyse est utilisée : celle du potassium échangeable.

Les résultats en  $P_2O_5$  et  $K_2O$ , exprimés en mg/kg ou g/kg ou p.p.m (partie par million)  
ex : 250 mg/kg = 0,250 g/kg = 250 p.p.m.

## FERTILISATION PHOSPHO-POTASSIQUE

### Bases du raisonnement

L'objectif n'est plus de constituer un stock dans le sol (*la notion de vieille graisse est erronée*) mais d'adapter l'offre du sol à l'exigence précise de la culture à venir.

**La stratégie de fertilisation va donc se définir chaque année en fonction de deux critères :**

- l'exigence des cultures en P et K
- les teneurs en  $P_2O_5$  et  $K_2O$  dans les sols

**La dose précise sera calculée sur la base de deux critères supplémentaires :**

- la fertilisation (*minérale ou organique*) des deux dernières années
- les restitutions par les résidus de récolte

STRATÉGIE DE FERTILISATION		Teneur du sol		
Exigence de la culture	forte	Fumure renforcée	Fumure normale	Impasse ou fumure réduite
	moyenne	Fumure renforcée	Fumure normale	Impasse ou fumure réduite
	faible	Fumure normale	Impasse ou fumure réduite	Impasse

#### Type de fumure

- impasse : pas d'apport (*ni organique, ni minéral*)
- réduite : inférieure aux exportations
- normale : exportations compensées
- renforcée : plus que les exportations (*de 1,2 à 2,5 fois selon les cultures*)

#### Teneurs seuils

Elles doivent être adaptées régionalement (*type de sol*) et pour  $P_2O_5$  faire référence à une analyse (*ex : DYER*).

#### Exigence de la culture

Elle dépend de son aptitude à prélever des formes plus ou moins solubles de P ou de K dans le sol.

Elle est indépendante des besoins en P ou en K de la culture.

*ex : une céréale peut absorber 200 kg de  $K_2O$ /ha et reste peu sensible à l'impasse en  $K_2O$ .*

**PRÉCONISATIONS D'APPORT EN ACIDE PHOSPHORIQUE (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha)**

Exemple de lecture du tableau :

- culture : colza grain
- objectif rendement : 35 q
- précédent : blé avec apport phosphaté (sans impasse)
- analyse P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 350 mg/kg (méthode DYER)

→ Dose à apporter : 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha

- Les valeurs peuvent être modulées en fonction des rendements et de l'évolution de la teneur des sols.

- Pour les teneurs proches des seuils, on peut choisir une dose intermédiaire entre les valeurs du tableau ci-contre.

ex : ici pour un sol à 220 mg/kg, on peut retenir la dose de 35 à 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha

- Au delà de 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, l'apport n'est plus valorisé quels que soient le niveau des exportations et l'état chimique du sol.

Exigences des cultures	Cultures et rendements/ha	sans impasse			avec impasse							
		avec fertilisation minérale ou organique sur la culture précédente			pas de fertilisation minérale ou organique l'année précédente			pas de fertilisation minérale ou organique depuis 2 années ou plus				
		Teneurs seuil en mg/kg de terre*			Teneurs seuil en mg/kg de terre*			Teneurs seuil en mg/kg de terre*				
FORTE	<b>BETTERAVES-FOURRAGÈRES</b> <i>14 t de M.S. - 90 t M.V.</i>	190	400		70	70	0	115	70	45		
	<b>POMMES DE TERRE</b> <i>40 t de P. Brut</i>	90	60	0	90	90	0	150	90	60		
	<b>COLZA GRAIN</b> <i>35 q</i>	120	80	0	120	120	0	150	120	80		
	<b>LUZERNE</b> <i>12 t de M.S.</i>	125	85	0	125	125	0	150	125	85		
MOYENNE	<b>POIS PROTÉAGINEUX</b> <i>50 q</i>	170	250		85	55	55	0	85	85	55	30
	<b>MAÏS ENS.</b> <i>12 t de M.S.</i> <b>MAÏS-GRAIN</b> <i>70 q</i>	80	65	0	100	65	65	0	100	100	65	35
	<b>RGL 18 mois pâturé, ensilé ou fauché</b> <i>6 à 10 t M.S.</i>	50	40	0	60	40	40	0	60	60	40	20
	<b>ORGE</b> <i>60 q</i>	70	60	0	90	60	60	0	90	90	60	30
FAIBLE	<b>BLÉ, TRITICALE</b> <i>70 q</i>	240			75	0	0	90	75	0		
	<b>SEIGLE</b> <i>70 q</i>	90	0	0	90	0	0	110	90	0		
	<b>AVOINE</b> <i>60 q</i>	65	0	0	65	0	0	80	65	0		
	<b>CHOUX, COLZA</b> <i>7 t M.S.</i>	70	0	0	70	0	0	85	70	0		

\* Méthode DYER, si autres analyses (Olsen, Joret-Hebert) voir p 12 pour faire la correspondance

**Excédent de fertilisation de l'année passée :**  
Lorsque l'apport en phosphore sur le précédent a dépassé la dose conseillée ci-contre, **80 % de l'excédent est disponible.**  
Le déduire de la dose à apporter pour la culture.

ex : précédent blé avec apport de 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha le besoin du blé était égal à 0  
→ donc excédent de 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha l'an passé et 80 % (48 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) encore disponible cette année

→ Dose à apporter en tenant compte du report d'excédent :  
**80 - 48 = 32 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha**

Le phosphore très peu mobile ne lessive pas, mais il peut se retrouver dans les eaux de surface par entraînement des particules (érosion).

**PRÉCONISATIONS D'APPORT EN POTASSE (Kg K<sub>2</sub>O/ha)**

**Exemple de lecture du tableau**

- culture : maïs ensilage
- objectif rendement : 12 t M.S./ha
- précédent : blé sans apport potassique
- analyse K<sub>2</sub>O : 300 mg/kg

→ Dose à apporter : 75 kg K<sub>2</sub>O/ha

Exigences des cultures	Cultures et rendements/ha	sans impasse				avec impasse											
		avec fertilisation minérale ou organique sur la culture précédente				pas de fertilisation minérale ou organique l'année précédente											
		Teneurs seuil en mg/kg de terre				Teneurs seuil en mg/kg de terre											
<b>FORTE</b>	<b>BETTERAVES-FOURRAGÈRES</b> <i>14 t de M.S. - 90 t M.V.</i>	190	400	250	180	0	190	400	250	180	90	250	250	180			
	<b>POMMES DE TERRE</b> <i>40 t de P. Brut</i>	250	240	250	240	0	250	240	250	240	120	250	250	240			
<b>MOYENNE</b>	<b>LUZERNE</b> <i>12 t de M.S.</i>	140	200	250	250	150	0	140	200	250	250	150	250	250	150		
	<b>COLZA GRAIN</b> <i>35 q</i>	200	105	70	105	70	0	200	105	70	105	70	200	200	105	70	
	<b>POIS PROTÉAGNIEUX</b> <i>50 q</i>	200	195	100	195	100	0	200	200	195	100	200	200	195	100		
	<b>MAÏS ENS</b> <i>12 t. M.S.</i> <b>MAÏS-GRAIN</b> <i>70 q</i>	200	115	75	115	75	0	200	115	75	115	75	0	200	200	115	75
	<b>RGI 18 mois pâturé, ensilé ou fauché</b> <i>6 à 10 t M.S.</i>	180	150	75	150	75	0	200	150	150	75	75	200	150	150	75	
<b>FAIBLE</b>	<b>ORGE</b> <i>60 q</i>	170	115	0	115	0	0	170	115	0	115	0	0	170	115	0	
	<b>BLÉ, TRITICALE</b> <i>70 q</i>	120	120	0	120	0	0	120	120	0	120	0	0	180	120	0	
	<b>SEIGLE</b> <i>70 q</i>	125	125	0	125	0	0	125	125	0	125	0	0	180	125	0	
	<b>AVOINE</b> <i>60 q</i>	120	120	0	120	0	0	120	120	0	120	0	0	180	120	0	
	<b>CHOUX, COLZA</b> <i>7 t M.S.</i>	115	115	0	115	0	0	115	115	0	115	0	0	175	115	0	

- Les valeurs peuvent être modulées en fonction des rendements et de l'évolution de la teneur des sols.

- Pour les teneurs proches des seuils, on peut choisir une dose intermédiaire entre les valeurs du tableau ci-contre.

- Les préconisations sont limitées à :

- 250 kg/ha sur betteraves, pommes de terre, luzerne
- 200 kg/ha sur les autres cultures quels que soient le niveau des exportations et l'état chimique du sol.

**Excédent de fertilisation de l'année passée**

Lorsque l'apport en potasse sur le précédent a dépassé la dose conseillée ci-contre, **80 % de l'excédent est disponible**. Le déduire de la dose à apporter pour la culture (voir exemple de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> page 15).

Il importe aussi de déduire de ces préconisations, **les résidus de récolte** du précédent qui fournissent de la potasse rapidement disponible particulièrement en cas de cultures légumières (frais et industrie). Voir pages 19 et 20.

**Pertes par lessivage :**

- en fertilisation équilibrée, elles restent limitées : 15 à 40 kg/ha/an
- ces pertes sont intégrées dans les préconisations ci-dessus

## PRÉCONISATIONS D'APPORT EN P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ET EN K<sub>2</sub>O pour les prairies pâturées, installées depuis au moins 2 ans

La dynamique de prélèvements des éléments P et K sous prairies installées, est différente des grandes cultures. Le raisonnement demande de tenir compte à la fois de la nature de la prairie, du sol mais aussi de l'équilibre nutritionnel de l'herbe vis à vis des besoins du troupeau.

### Préconisations en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha)

Part du pâturage dans la production annuelle de la prairie			
Objectif de rendement (rendement produit)	< 50% (ex : 2 fauches + pâturage) ou RGA TB	50-75% (ex : 1 fauche + pâturage) ou parcelles uniquement pâturées par les génisses	> 75%
<b>Élevé</b> (8-10 t MS)	50	30	0
<b>Moyen*</b> (6-8 t MS)	30	0	0
<b>Faible</b> (< 6 t MS)	0	0	0

\* Situations les plus fréquentes

### La stratégie de fertilisation va dépendre :

- des objectifs de rendement recherchés pour la prairie,
- du type d'exploitation

### Préconisations en K<sub>2</sub>O (kg/ha)

Part du pâturage dans la production annuelle de la prairie			
Objectif de rendement (rendement produit)	< 50% (ex : 2 fauches + pâturage) en RGA TB	50-75% (ex : 1 fauche + pâturage) ou parcelles uniquement pâturées par les génisses	> 75%
<b>Élevé</b> (8-10 t MS)	90	70	40
<b>Moyen*</b> (6-8 t MS)	70	40	0 ou 40 <sup>(1)</sup>
<b>Faible</b> (< 6 t MS)	40	0 ou 40 <sup>(1)</sup>	0 ou 40 <sup>(1)</sup>

\* Situations les plus fréquentes

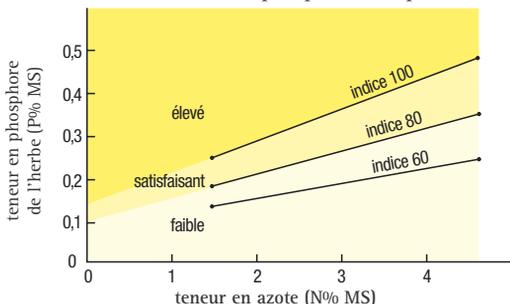
(1) si plus de 40% de sables sur 30 cm



Ces préconisations tiennent compte des restitutions au pâturage en P et en K. L'apport sera d'autant plus faible que la part du pâturage est importante.

Pour valider, sur 3 à 5 ans, les pratiques de fertilisation, l'analyse d'herbe est plus pertinente que l'analyse de terre. Elle mesure le degré d'absorption de P et K pour la plante en fonction de sa teneur en azote (excès ou déficit) et permet de calculer un indice de nutrition : I (IP ou IK)

### Indice de nutrition phosphatée sur prairie



l'écart au comportement optimum (indice 100)

permet de juger des pratiques actuelles :

100 > I > 80 : satisfaisant : maintien des pratiques

I > 100 : élevé : réduction des apports

I < 80 : faible : augmentation des apports



Cette mesure ne s'applique pas aux prairies avec plus de 25 % de trèfle au printemps.

Sur le long terme, l'évolution des teneurs du sol est aussi une indication sur le bien-fondé des pratiques de fertilisation.

## PRÉCONISATIONS D'APPORT EN P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ET EN K<sub>2</sub>O pour les principaux légumes d'industrie

Ces légumes sont classés en exigence forte vis à vis du phosphore et de la potasse.  
Les préconisations sont exprimées sur la base des mobilisations c'est à dire des quantités  
totales d'éléments absorbés par la culture sur l'ensemble de son cycle (*semis-récolte*).

$$\text{Mobilisations sur le cycle de la culture} = \text{Exportations par les récoltes} + \text{Restitutions par les résidus qui restent au champ}$$

Préconisations en P2O5 (kg/ha) pour un rendement moyen (sans effet précédent)			Restitutions en K <sub>2</sub> O (kg/ha)
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en unités (kg/ha)	K <sub>2</sub> O en unités (kg/ha)	
Pois	70 <i>si teneur du sol de 200 à 300 mg/kg</i>	200	150
Epinards	0 <i>si teneur du sol &gt; 300 mg/kg</i>	200	150
Haricots	50 à 70 <i>sous forme d'engrais starter</i>	160	120
Flageolets		200	120
Jeunes carottes	50	250	150
Grosses carottes	60	300	150
Céleri branche	100	300	100
	0 <i>si teneur du sol &gt; 400 mg/kg</i>	200 <i>si teneur du sol &gt; 400 mg/kg</i>	100



*Les restitutions importantes,  
notamment en potasse,  
doivent être prises en compte  
pour la culture suivante.*

- Teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, exprimée en méthode DYER
- Pour des préconisations de K<sub>2</sub>O > 200 kg/ha, fractionner les apports



## PRÉCONISATIONS EN P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ET EN K<sub>2</sub>O POUR LES LÉGUMÉS FRAIS

Se référer à la brochure :  
« *L'agronomie et la fertilisation des cultures légumières* »  
Chambre d'Agriculture du Finistère Janvier 2002.  
contact : 02 98 69 17 46

## LES FORMES D'APPORT en $P_2O_5$ et en $K_2O$

Les doses conseillées dans les tableaux de préconisations seront apportées par les résidus de récolte, les engrais de ferme et si nécessaire, par les engrais minéraux.

### Résidus de récolte (valeurs indicatives)

Précédent	$P_2O_5$ (kg/ha)	$K_2O$ (kg/ha)
chou-fleur	Valeurs négligeables	250
colza		120
pois protéagineux		120
maïs grain		80
maïs ensilage		0
pomme de terre		80
betterave		80
céréales (paille enfouie)		80
céréales (paille exportée)		0

### Engrais de ferme (valeurs indicatives)

Produit	Type d'animaux	Matières sèches %	$P_2O_5$ kg/t ou $m^3$	$K_2O$ kg/t ou $m^3$
<b>Fumier</b>	vache laitière	25	2,5	8
	bovin viande	24	3	4
	porc lit. accumulée	28	7,5	12,5
	volailles	50 à 55	23	18
	poulets label	55 à 60	17	14
	ovin	30	4	10
<b>Compost</b>	fumier bovin	33	4	9
	fumier volailles	65	24	19
	guernevez	26	8,4	8
<b>Lisier</b>	vache laitière	7	1,5	2,7
	bovin viande	12	3	4
	veau	2	1,5	3
	porc eng. standard	5	3	3,2
	porc eng. biphase	5	2,1	2,8
	truite gest. standard	3	2,1	1,6
	truite gest. biphase	3	1,6	1,4
	canards	10 à 15	6	4
<b>Fientes sèches</b>	poules	80	38	25

Pour les produits organiques, il faut tenir compte d'un coefficient d'équivalence engrais.

Pour le phosphore, certaines formes organiques sont difficilement utilisables à court terme.

Par contre, pour la potasse, la disponibilité pour les cultures est très bonne. Le coefficient est de 100 %.

### Coefficient d'équivalence engrais pour $P_2O_5$ (valeurs indicatives)

<b>Fumiers et composts</b>	
- bovins, ovins, chevaux	100%
- porcs	85%
- volailles	65%
<b>Lisiers et composts, issus de ces lisiers</b>	
- bovins, porcs	85%
- volailles	65%
<b>Boues stations eaux usées</b>	
- traitement biologique	100%
- traitement physico-chimique	25%

## ENGRAIS MINÉRAUX

**Engrais phosphatés** : utiliser les produits les plus solubles (*solubles dans l'eau et le citrate d'ammonium*) comme les superphosphates, phosphates d'ammoniaque et les phosphates bicalciques.

**Pour les produits composés** (*binaires, ternaires*) attention aux solubilités dosées avec :

- un acide fort ou formique = phosphates naturels (*déconseillés car trop peu solubles*)
- de l'acide citrique = scories

**Engrais potassiques** : toutes les formes sont très solubles

Nature de l'engrais	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O kg/100 kg
	Teneur kg/100 kg	solubilité	
superphosphates	18, 25 ou 45	très soluble	
phosphate d'ammoniaque (18.46.0)	46	très soluble	
«scories 10»	10	moyennement soluble à éviter si pH > 6	
chlorure de potassium			60
sulfate de potassium			50
super PK	15	très soluble	25
phospho potassique	13	moyennement soluble	12
engrais complexes	variable	éviter les formes peu solubles	variable

*Les informations sont marquées sur l'étiquette pour les sacs de 50 kg.*

*Pour les bulks, demander un « bon d'accompagnement » précisant les caractéristiques du produit.*

### En plein ou en localisé ?

La mobilité des ions phosphates est très faible (*voir p. 12*). Cela explique la carence possible en phosphore pour les cultures qui ont du mal à s'enraciner : sol froid, tassé.

D'où l'intérêt d'apporter le phosphore en localisé près des racines.

C'est plus son placement qui jouera sur son efficacité que sa quantité.

*ex : sur maïs 60 kg/ha de 18-46 suffisent dans ces situations*



*Les quantités ainsi apportées sont aussi à comptabiliser dans la dose d'apport.*



*Un outil en ligne pour le plan de fumure N mais aussi les doses P et K.*

**Informations : [www.synagri.com](http://www.synagri.com) ou tél : 02 23 48 27 55**

Pour éviter les calculs fastidieux : dose d'apport, restitution des cultures, report des excédents de fertilisation, coefficient d'équivalence engrais,... et aboutir rapidement aux résultats pour l'ensemble de vos parcelles.

## ACIDITÉ ET STATUT ACIDO-BASIQUE DU SOL

Les sols bretons, à de très rares exceptions près, sont dépourvus de carbonates et sont naturellement acides et dépourvus de carbonates.

Cette acidité naturelle est entretenue en particulier par deux phénomènes :

- le rejet des protons ( $H^+$ ) par les cultures lorsqu'elles absorbent des cations :  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ , ...
- le lessivage des nitrates : pour un nitrate absorbé, la plante absorbe un  $H^+$ . Donc quand des nitrates sont lessivés, ce sont autant de  $H^+$  qui restent dans le sol.
- **pH eau** : mesure l'acidité actuelle du sol c'est à dire la concentration en ions  $H^+$  de la solution du sol.
- **pH KCl** : représente l'acidité potentielle du sol. Il est plus bas que le pH eau de 0,5 à 1 point.

Le pH de la solution du sol conditionne un grand nombre de phénomènes chimiques et organiques.

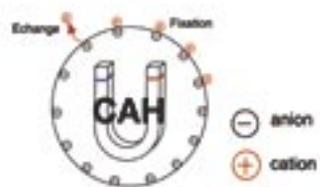
	Mécanismes favorisés par un pH bas	Mécanismes favorisés par un pH élevé
<b>Favorable aux cultures</b>	- disponibilité des oligo-éléments - certains rhizobiums fixateurs d'azote	- activité biologique (nitrification) - d'autres rhizobiums fixateurs d'azote
<b>Défavorable aux cultures</b>	- toxicité aluminique - moindre disponibilité P et K - certains micro-organismes pathogènes (hernie du chou)	- blocage oligo-éléments - moindre disponibilité P et K - certains micro-organismes pathogènes (galle...)

*Un compromis est donc à trouver entre types de cultures et risques de carence en oligo-éléments.*

 *Le pH est un indicateur très pertinent, mais il est soumis à variation selon les saisons, l'humidité du sol, ... Le pH est plus élevé l'hiver et plus faible en été (écart de 0,5 pt). L'idéal est de prélever en période d'humidité normale (éviter de juin à septembre) et avant un labour ou un apport d'amendement.*

### Complexe Argilo-Humique (C.A.H.)

C'est le site de stockage et d'échanges des ions et des molécules dans le sol. Il est constitué de particules d'argiles et de matières organiques, chargées négativement. Les cations fixés peuvent être soit des bases échangeables (*surtout Ca, Mg, K*) soit des ions  $H^+$  qui constituent l'acidité de réserve du sol.



### Capacité d'Echange Cationique (C.E.C.)

mesure la quantité maximale de cations ( $Ca^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $H^+$ ...) susceptibles d'être retenus sur le complexe argilo-humique. Elle s'exprime en milli-équivalent (meq) ou centi-mole (cmol) par poids de terre.

$$1 \text{ meq}/100 \text{ g} = 1 \text{ cmol}/\text{kg} = 10 \text{ meq}/\text{kg}$$

La méthode d'analyse la plus courante (*méthode METSON*), se fait à pH 7. Cette mesure est donc souvent surestimée dans nos sols à pH éloignés de 7 et riches en M.O.

**Pour les sols avec une M.O. supérieure à 4,6 % (ou 46 g / kg) une correction est nécessaire.**

$$\text{ex : } M.O. = 50 \text{ g / kg}, \quad C.E.C._{\text{METSON}} = 12 \text{ meq}/100 \text{ g}$$

$$\text{---} \rightarrow C.E.C. \text{ corrigée} = 12 - [0,155 (50-45)] = 11,2 \text{ meq}/\text{kg}$$

En Bretagne, les sols ont une C.E.C. comprise le plus souvent entre 8 et 15 meq/100g

### Taux de saturation de la C.E.C. (S/C.E.C.)

$$S/C.E.C. \text{ en } \% = \frac{\text{Somme des bases échangeables présentes dans le sol}}{C.E.C. \text{ corrigée si nécessaire}} \times 100$$

Plus le Complexe Argilo-Humique est pourvu en bases échangeables, plus le taux de saturation est élevé et plus l'acidité de réserve sera faible.

## BESOINS EN BASES

Le raisonnement de besoins en bases (B.E.B.) se distingue en :

- **besoins de redressement** : apport d'amendement basique nécessaire pour corriger une dérive du pH
- **besoins d'entretien** : apport pour compenser l'acidification inévitable du sol

Le B.E.B. est exprimé en unités de Valeur Neutralisante par ha : u VN/ha

• **Besoins de redressement** : 2 méthodes possibles de calcul

- **Méthode pH** : choix d'un pH objectif en fonction du système de culture de la parcelle

7	↑ autres primeurs (chou fleur, artichauts, ...)
6,5	légumes primeurs avec PdT + cultures
6,5	légumes d'industrie + cultures
6-6,2	cultures + prairies
6	prairies

**B.E.B. redressement** =  
(pH objectif – pH actuel)  
x 3500 u VN

Les 3 500 u VN correspondent aux besoins moyens pour remonter le pH d'une unité.

- **Méthode C.E.C.** : choix d'un objectif de saturation

S/C.E.C. = 80 % : système grandes cultures dominant

S/C.E.C. = 70 % : système prairie dominant

*ex : C.E.C. = 11,2 meq/100 g, taux saturation actuel = 60 %, objectif = 80 %  
et un poids de terre fine du labour = 3500 t/ha*

$$B.E.B. \text{ redressement} = 11,2 \times \frac{(80 - 60)}{100} \times 0,28^* \times 3500 = 2195 \text{ u VN/ha}$$

\* coefficient de conversion : 1 milli-équivalent de  $Ca^{++}$ /100 g x 0,28 = 1 kg CaO / t

• **Besoins d'entretien** :

Les besoins sont aussi adaptés aux systèmes

- situation standard : **300 u VN/ha/an**
- situation avec apport régulier de fumier ou fientes de volailles (riches en carbonates) : **150 u VN/ha/an**
- zones légumières : **400 u VN/ha/an**

 *Les besoins en entretien sont les mêmes quelle que soit la méthode (pH ou C.E.C.) utilisée pour les besoins de redressement.*

• **Pour une planification sur 3 ans :**

B.E.B. sur 3 ans = B.E.B. redressement + (B.E.B. entretien x 3)

 *Quelle que soit la méthode utilisée (pH ou C.E.C.), l'efficacité d'un redressement est à contrôler par une mesure de pH après 3 ans.*

*Si pH très acide, éviter une remontée trop brutale (risque de blocage des éléments).*

## LE MAGNÉSIUM

Le magnésium (*Mg*) « assimilable » par la plante se trouve sous forme d'ions  $Mg^{++}$  libres dans la solution du sol ou fixés sur le CAH.

Le magnésium intervient à deux titres :

- il est nécessaire de gérer la disponibilité en magnésium du sol afin d'éviter une carence possible de la culture
- dans ses formes d'apport, il est en général associé à un anion basique qui limitera l'acidité du sol. C'est le second cation après le calcium à saturer le C.A.H.

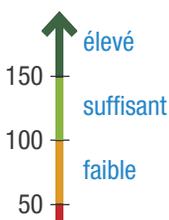
Le raisonnement du besoin en bases devra donc toujours se faire de pair avec celui de l'entretien en magnésie. Il faut éviter absolument d'avoir à faire un apport de magnésie alors que l'on a déjà redressé ou entretenu le pH.

Une seule méthode d'analyse est utilisée : celle du magnésium échangeable. Les résultats en MgO sont exprimés en mg/kg, g/kg ou ppm.

### Plusieurs approches pour interpréter les résultats d'analyse et quantifier les besoins :

#### • Méthode forfaitaire

Teneur en MgO  
du sol en mg/kg



l'objectif est d'atteindre la teneur minimale en MgO échangeable de 100 mg/kg de terre.

Teneur en MgO du sol en mg/kg	< 55	55 à 64	65 à 74	75 à 84	85 à 94	95 à 100	> 100
Doses à prévoir en magnésie en kg/ha	400	370	330	290	230	150	0



*Si besoins d'une correction, choisir un amendement riche en magnésie (ex : chaux magnésienne (54-36) ou dolomie) au prorata de ces besoins.*

## • Méthode équilibre du C.A.H.

L'objectif est que le complexe argilo-humique soit bien équilibré vis à vis des bases échangeables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ).

Les objectifs de teneur du sol sont parfois fixés pour les différents cations en fonction de la proportion des sites d'échange qu'ils occupent sur le complexe argilo-humique.

Aucune référence n'existe cependant pour relier le taux de saturation du CAH et le résultat sur les cultures.

Selon les laboratoires, les taux de saturation varient :

$\text{K}^{+}$  : 3 à 6 % (soit de 170 à 340 mg  $\text{K}_2\text{O}/\text{kg}$  pour une C.E.C. moyenne de 12 meq / 100g)

$\text{Mg}^{++}$  : 5 à 10 % (soit de 120 à 240 mg  $\text{MgO}/\text{kg}$ )

$\text{Ca}^{++}$  : 60 à 80 % (soit de 2 000 à 2700 mg  $\text{CaO}/\text{kg}$ )

Le rapport entre les cations est aussi à considérer pour éviter des antagonismes de disponibilité entre eux, car les différents cations entrent en concurrence non seulement pour les sites d'échanges sur le C.A.H., mais aussi pour les sites d'absorption sur les racines.

*ex : attention à des apports excessifs en potasse : l'ion  $\text{K}^{+}$  en trop forte quantité est alors antagoniste de l'ion  $\text{Mg}^{++}$ , cela peut bloquer l'assimilation du magnésium au niveau racinaire*

### En milli-équivalent :

$\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  souhaitable : 8 à 10 (entre 4 et 12)

$\text{Mg}^{++}/\text{K}^{+}$  souhaitable : de l'ordre de 2 (entre 1 et 3)

$\text{K}^{+}/\text{Na}^{+}$  souhaitable : de l'ordre de 5 (supérieur à 1)

## LE CALCIUM

C'est le cation le plus abondant dans le sol. Il n'y a pas de disponibilité en calcium ( $\text{Ca}$ ) à gérer dans le sol ni de carence calcique à craindre pour les cultures.

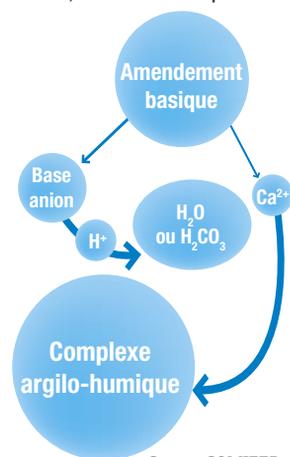
Les apports se font régulièrement sous forme d'amendements basiques dans un objectif d'entretien ou de correction du pH.

## CHOIX DES AMENDEMENTS BASIQUES

### Mode d'action des amendements minéraux basiques

On confond souvent l'action de la base et celle du calcium.

En fait, c'est l'anion qui accompagne le calcium qui aura un effet sur le pH.



Source COMIFER

- dans le sol, l'amendement basique se dissocie en anions ( $\text{OH}^-$  ou  $\text{HCO}_3^-$ ) et en cations ( $\text{Ca}^{++}$  ou  $\text{Mg}^{++}$ )

- les anions (bases) neutralisent des ions  $\text{H}^+$  (acides) en  $\text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{H}_2\text{CO}_3$  → **mécanisme de remontée du pH**

- sur les sites ainsi libérés du complexe argilo-humique, il y a adsorption des cations  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$

### Valeurs indicatives de quelques amendements basiques

		Composition en %		Valeur neutralisante courante pour 100 kg de produit	Coût indicatif livré, non épandu		Rapidité d'action	
		CaO	MgO		€/t	€/u VN		
Produits cuits (oxydés)	Chaux vive	90	0	90	160	0,18	Action très rapide	
	Chaux magnésienne 72.18	72	18	97	170	0,17		
	Chaux magnésienne 54.36	54	36	105	195	0,18		
Produits crus (carbonates)	fins	Carbonate de chaux	54		54	55 à 85	0,1 à 0,16	Action moyennement rapide pour les produits broyés. Action rapide pour les produits tendres pulvérisés
		Magnéfol	30	20	58	84	0,14	
		Maerl broyé	40-45	4	46-49	106	0,22	
	bruts	Carbonate de chaux humide	52	0	52	26*	0,05	Action lente
		Trez	40-45	2	43-48	15*	0,03	
		Sables calcaires	30-35	1	32-37	13*	0,035	
		Coquilles d'œufs	46	0,5	46			

\* Prix très variable selon la distance de transport depuis le lieu d'extraction, tenir compte aussi du taux d'humidité du produit.

Il existe également des produits mixtes : association chaux vive + carbonates et associations avec engrais ou oligo-éléments.

• **La valeur neutralisante** : c'est la capacité de l'amendement à neutraliser l'acidité du sol. L'unité de mesure est l'unité de valeur neutralisante (u VN).

$$1 \text{ kg CaO} = 1 \text{ u VN} \quad \text{et} \quad 1 \text{ kg MgO} = 1,4 \text{ u VN}$$

• **La vitesse d'action potentielle** du produit est définie légalement pour les produits crus. Elle dépend de leur finesse et du type de roche. Elle peut être rapide, moyennement rapide ou lente. Elle est exprimée par la solubilité carbonique pour les produits fins (pulvérisés ou broyés) et par la dureté de la roche pour les produits concassés ou bruts.

## Critères de choix d'un amendement basique

**1 - Tenir compte du coût à l'unité de valeur neutralisante** et non pas à la tonne de produit :

$$\text{Prix de l'unité Valeur Neutralisante (u VN)} = \frac{\text{prix par tonne rendue racine}}{\text{valeur neutralisante par tonne}}$$

ex : carbonate de calcium et magnésium pulvérisé à 42,5 % de CaO et 10 % de MgO

- valeur neutralisante : 57 pour 100 kg de produit

- prix à la tonne rendue racine : 85 € / t

- prix de l'unité VN :  $\frac{85}{570} = 0,15$  €

## 2 - Rapidité d'action :

- suivant l'urgence du chaulage, choisir des produits à action rapide ou lente en fonction du coût de l'unité neutralisante. En entretien, la rapidité d'action a peu d'importance
- elle dépend de la finesse du produit et surtout de la qualité d'incorporation

RAPIDITÉ D'ACTION*	Coût de l'unité valeur neutralisante		
	FAIBLE	MOYEN	ELEVÉ
RAPIDE quelques semaines			Chaux vive ou magnésienne. Amendements calcaires tendres pulvérisés (à réserver aux redressements d'urgence)
MOYENNEMENT RAPIDE plusieurs mois		Amendements broyés secs ou humides (coût à l'unité très variable, à privilégier en redressement ou entretien)	
LENTE dans l'année	Amendements bruts sables calcaires - maërl brut (à privilégier en entretien)		

\* Si le produit est parfaitement mélangé au sol

## 3 - Besoins en Magnésie : voir p 24

## 4 - Conditions d'épandage :

- chaque type de produit suppose un matériel spécifique (pulvéulent, produit brut, produit humide)
- éviter les apports trop rapprochés de déjections riches en  $\text{NH}_4$  (lisiers...) et des produits à action rapide (accentue les risques de perte d'azote). Privilégier les chaulages d'automne à l'inter-culture.

## Tenir compte aussi des engrais de ferme.

Apport de CaO et de MgO par les engrais de ferme  
(valeur indicative par t ou m<sup>3</sup> de produit brut)

Produits	kg CaO/t ou m <sup>3</sup>	kg MgO/t ou m <sup>3</sup>
Fumier vache laitière	5	1,9
Fumier volaille	30 à 40	8
Lisier porc	3,5	0,8
Lisier bovin	4,5	1,5
Fientes poules	40	4

Contrairement à une idée reçue, les engrais de ferme n'acidifient pas le sol dans la mesure où ils sont utilisés à doses agronomiques correctes. Certains sont particulièrement intéressants sur le plan de l'entretien du pH, compte tenu des carbonates qu'ils contiennent.

L'utilisation régulière de déjections avicoles (fumier, fientes) apporte plus de la moitié des besoins annuels d'entretien.

Voir p. 23 les besoins d'entretien : il en est tenu compte pour les situations avec apports réguliers de fumier ou fientes de volailles (150 u VN/ha/an au lieu de 300 u VN/ha/an en situation normale).

## LES OLIGO-ÉLÉMENTS

Les oligo-éléments interviennent en très faible quantité dans le végétal mais sont indispensables en tant que catalyseurs des grandes fonctions physiologiques.

### Deux types de carences peuvent s'exprimer :

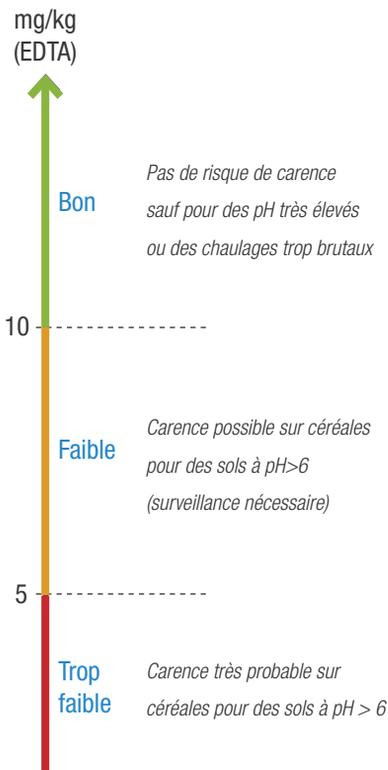
- **La carence conditionnée** quand l'oligo-élément, en quantité suffisante dans le sol, n'est pas disponible pour la plante car inaccessible. Son insolubilisation va dépendre du pH, de la structure du sol, des conditions pédo-climatiques (manganèse, bore, molybdène, zinc).
- **La carence vraie** quand l'oligo-élément est en trop faible quantité dans le sol (cuivre).

## LE MANGANÈSE

La carence en manganèse (*Mn*) se manifeste sur céréales et certains légumes (céleri, haricots, artichauts, épinards, pois, ...). À pH supérieur à 6, le risque de carence existe quand la teneur en Mn est inférieure à 10 mg/kg (méthode EDTA). Elle est toujours moins grave en sol suffisamment rappuyé et pendant les périodes pluvieuses.

### Méthodes d'analyse :

- EDTA : utilisée par les laboratoires agréés
- DTPA : donne des valeurs plus faibles



Carence en Mn sur blé : port flasque  
Blé normal uniquement sur les passages de roues (sol rappuyé)

### • En préventif

- privilégier les amendements bruts
- rappuyer les sols légers après semis :  
 éviter les sols soufflés

### • Si carence sur cultures

ex : céréales

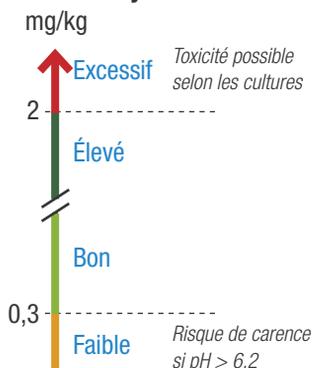
- pulvérisation de 500 g/ha de Mn métal soit 2 kg de sulfate de manganèse (à 27 %) dans 200 l d'eau/ha
- 2 apports en 10-15 jours si besoin (si disparition des plantes notamment)

 Les apports au sol ne permettent pas de corriger la teneur du sol.

## LE BORE

La carence en bore (B) peut être observée sur betteraves, tournesol, légumes (céleri, carottes, choux,...) et luzerne. Le risque est accru à pH supérieur à 6,2. Le risque est plus faible en dessous. L'intensité de la carence dépend des conditions climatiques : elle est toujours plus grave en année sèche.

**Méthode d'analyse :** «eau bouillante»



Carence en bore sur betteraves : cœur desséché, noir

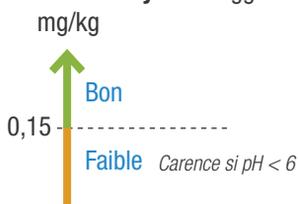
### • Si carence sur cultures

- apport de 2,5 à 3 kg/ha de bore métal soit 20-25 kg/ha de borate de soude
- **attention** : phytotoxicité possible à dose double
- Proscrire les apports systématiques au sol.

## LE MOLYBDÈNE

Les plantes sensibles à la carence en molybdène (Mo) : chou-fleur mais aussi colza et les légumineuses (luzerne, trèfle, pois...). Contrairement aux autres oligo-éléments, le molybdène est d'autant moins soluble que le pH du sol est faible.

**Méthode d'analyse :** Grigg



### • Si carence sur cultures

- pulvériser 200 g/ha de molybdate d'ammonium (à 56 %). Dose à moduler selon les cultures

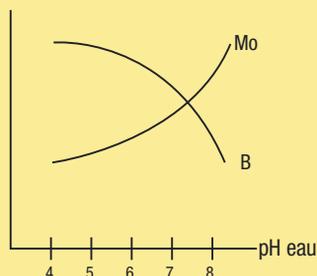
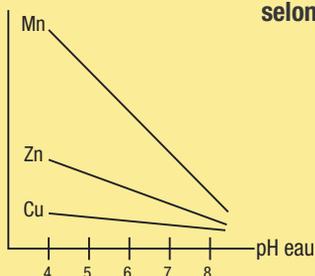


*Apport au sol peu efficace et risque de toxicité si surdosage.*

*Dose maxi : 1 à 2 kg/ha de molybdate.*

*➡ Mieux vaut remonter le pH, si possible*

### Disponibilité des oligo-éléments selon le pH



## LE ZINC

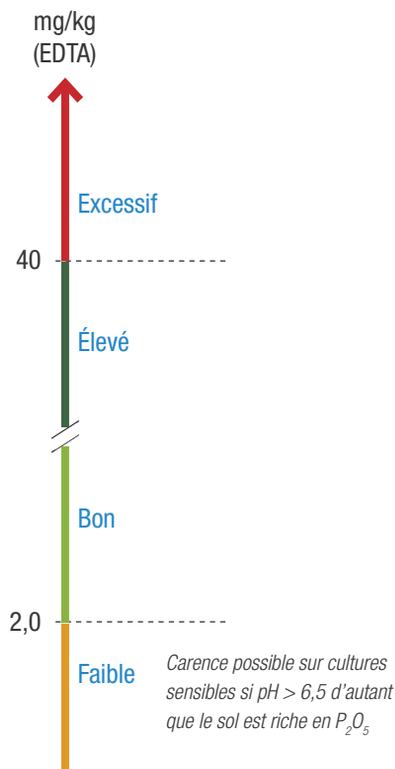
Maïs, haricots et épinards sont les cultures les plus sensibles à la carence en zinc (Zn) surtout si le pH est supérieur à 6,5 et les teneurs élevées en phosphore « assimilable ».

### Méthodes d'analyse :

- EDTA : utilisée par les laboratoires agréés
- DTPA : donne des valeurs plus faibles



Carence en zinc sur maïs : bandes blanches des deux côtés de la nervure centrale



### • En préventif

- éviter le sur-chaulage
- si teneur inférieure à 2 mg/kg, apport possible au sol de 15 à 17 kg/ha de Zn métal soit 50 à 75 kg/ha de sulfate de zinc (à 25%)

### • Si carence sur cultures

ex : maïs

- pulvérisation de sulfate de zinc à 1% (200 g dans 200 l d'eau) ou de chélate de zinc (plus facile à épandre au pulvérisateur)

**⚠** Les engrais de ferme apportent aussi des oligo-éléments. Les apports réguliers suffisent pour corriger les teneurs trop faibles des sols en cuivre et en zinc.

### Teneurs moyennes en oligo-éléments des principaux engrais de ferme

(en g/t de produit brut)

Produits	% M.S.	Zn	Cu	Mn	B	Mo
Fumier bovin	25	16	2	38	5	0,5
Fumier volailles	55	127	53	122	20	-
Lisier porc	7	64	40	42	4	0,14
Lisier bovin	10	58	6	40	7	0,1

## LE CUIVRE

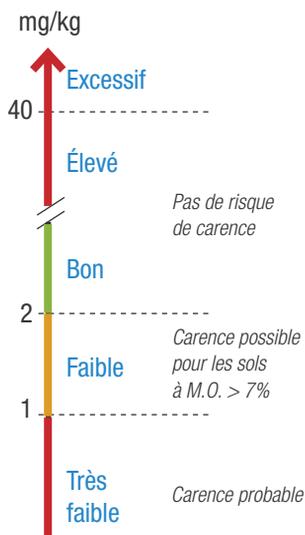
En Bretagne, les sols sur granite, grès, quartzites, limons éoliens étaient à l'origine pauvres en cuivre (Cu), mais les apports de sulfate de cuivre et d'engrais de ferme ont corrigé les teneurs des sols.

La carence en cuivre se manifeste essentiellement sur céréales et pois.

Situations à risque : teneur inférieure à 2 mg/kg (EDTA), pH élevé et excès de matières organiques (complexation du cuivre par la biomasse microbienne).

### Méthodes d'analyse :

- EDTA : utilisée par les laboratoires agréés
- DTPA : donne des valeurs plus faibles



Carence en cuivre sur blé : bouts blancs à la pointe des jeunes feuilles

### • En préventif

- si teneur inférieure à 2 mg/kg, apport de 7 à 8 kg/ha de Cu métal soit 20 à 30 kg/ha de sulfate de cuivre ou de 12 à 15 kg d'oxychlorure de cuivre.
- ➔ mieux vaut corriger le sol avant apparition d'une carence.

### • Si carence sur cultures

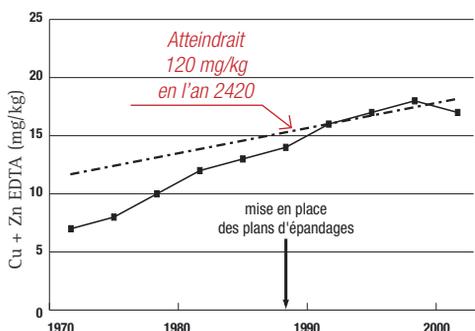
ex : céréales

- pulvérisation foliaire possible de sulfate de cuivre (200 g/ha de Cu métal) ou d'oxychlorure ou de chélate de cuivre

## Des risques de toxicité existent

seuil de toxicité : Cu + Zn supérieure à 120 mg/kg (EDTA)

### Évolution des teneurs du sol



### Étude Lisier Sol Plante (INRA – CA29) :

(Suivi depuis 1973 de plus de 100 parcelles recevant très fréquemment du lisier de porc).

- ➔ augmentation régulière des 2 éléments Cu et Zn.
- ➔ la mise en place des plans d'épandage a infléchi la tendance qui ne constitue pas une situation d'urgence vis-à-vis du seuil de toxicité (120 mg/kg).
- ➔ l'optimisation de l'alimentation des porcs contribuera plus sûrement à modifier cette tendance.

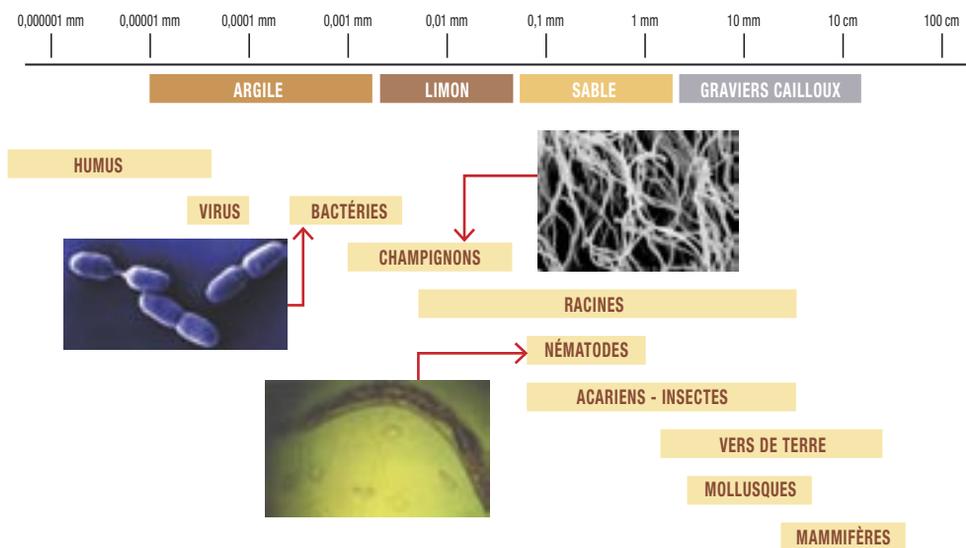
**Le sol est un milieu vivant** : 1 à 3 % de la matière organique sont constitués d'organismes vivants.

Cela peut représenter un poids sec de l'ordre de 300 g/m<sup>2</sup> soit 3 t/ha.

Si ça peut sembler peu en masse, c'est beaucoup plus en nombre : sous 1 m<sup>2</sup> de sol, on peut trouver plusieurs fois l'effectif de la population humaine sur terre.



## Echelle de taille



La vie du sol a une **importance capitale pour les cultures** : nutrition (N-P), structure du sol, perméabilité, état sanitaire...

Elle est étroitement **liée à l'activité des racines**.

## Pour la mesurer

L'activité biologique du sol est souvent évaluée sur la base du simple **indicateur** de l'abondance des vers de terre. Malgré leur importance, les vers de terre ne représentent toutefois qu'une faible part de la matière vivante dans le sol.



Deux principales méthodes de dosage de l'activité biologique sont possibles :

- Mesure de l'**activité enzymatique** de certaines espèces (présente un risque de biais important en rapport avec l'espèce choisie)
- Méthode par « **fumigation-extraction** »

Ce sont des analyses très spécifiques réalisées par certains laboratoires seulement et qui se font sur sol frais conservé à 3 ou 4°C.

On dose le **carbone provenant des organismes vivants** du sol.

- peut varier de 30 mg C/kg terre à 3000 mg C/kg terre
- le type de sol a 100 fois plus de poids sur le résultat que les pratiques agricoles et nous n'avons pas aujourd'hui de référentiel pour interpréter les résultats dans l'absolu

## Pour la préserver

☛ **limiter les pratiques excessives** vis à vis de l'activité biologique :

- pH trop bas (inférieur à 5,5), excès de fongicides et insecticides
- travail du sol trop fréquent

☛ mais aussi et surtout **nourrir régulièrement la vie du sol** :

- enfouir les résidus de récolte, inclure des prairies dans la rotation
- cultiver les intercultures : engrais verts, pièges à nitrates
- apporter des amendements organiques, fumiers...

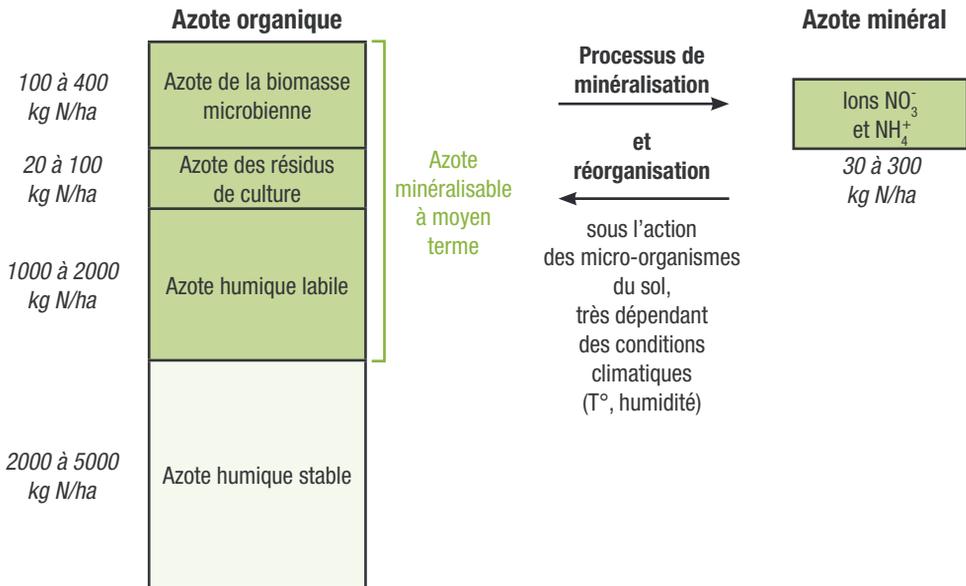
En dehors de cas très particuliers (inoculation pour légumineuses par exemple), **l'apport direct de microorganismes est souvent illusoire** au regard du coût engendré.

## L'AZOTE

L'azote (*N*) est un élément qui se trouve en quantité importante dans le sol : 3 à 10 t/ha. Il y est présent sous deux formes : organique (99%) et minérale (1%). Les végétaux n'assimilent l'azote que sous forme minérale (ions  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ) et essentiellement des ions nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

L'azote est indispensable à la croissance des végétaux (6 à 9% de la chlorophylle).

L'assimilation de la plupart des éléments (P, K, S, Mg,...) est conditionnée par une bonne alimentation azotée. L'absorption de l'azote par la plante est indissociable de la production de protéines végétales (16% des acides aminés).



**L'azote organique total** : dosage par la méthode Kjeldahl.

Il peut fournir un indice de la qualité de la matière organique par le rapport C/N

En sol cultivé, le C/N est voisin de 8 à 10.

**L'azote minéral** : dosage par extraction au chlorure de potassium.

Il donne les quantités d'ions  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$ , présents dans le sol lors du prélèvement.

- **N-NH4 (azote ammoniacal)** est un cation ( $\text{NH}_4^+$ ). Fixé sur le CAH, il est peu mobile et peu lessivable. En sol correctement aéré et ressuyé, il s'oxyde sous l'action des bactéries et se transforme en ions  $\text{NO}_3^-$ . L'ion  $\text{NH}_4^+$  est une forme transitoire, facilement réorganisée en azote organique par la vie microbienne du sol.
- **N-NO3 (azote nitrique)** est un anion ( $\text{NO}_3^-$ ), très mobile et très lessivable. C'est la forme essentielle d'azote assimilable par les végétaux. Compte tenu de sa mobilité, l'ion  $\text{NO}_3^-$  peut être absorbé sur toute la profondeur d'enracinement (parfois plus d'un mètre).

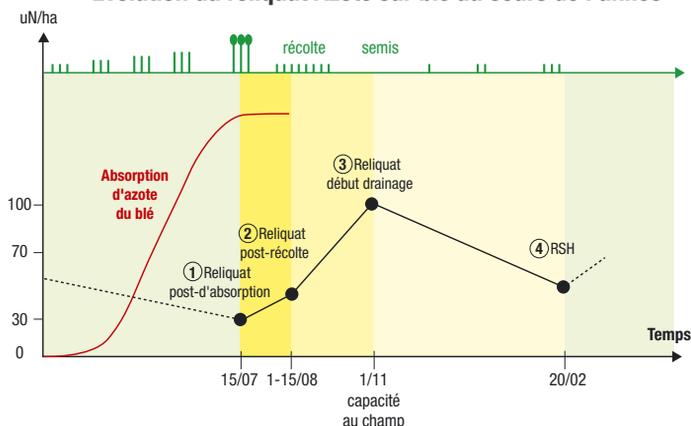
## RELIQUATS AZOTE

Dans le sol, les quantités d'azote minéral varient tout au long de l'année du fait :

- des apports d'engrais minéraux et organiques
- de la minéralisation de l'azote organique dont les résidus de récolte et couverts végétaux
- de la consommation des plantes y compris les cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN)
- du lessivage hivernal de l'azote nitrique
- des phénomènes de volatilisation, de dénitrification et de réorganisation

L'évolution des teneurs en azote minéral du sol est donc très cyclique et fortement aléatoire

### Evolution du reliquat Azote sur blé au cours de l'année



Les analyses d'azote minéral du sol ont pour objectif de donner une image aussi fiable que possible des quantités d'azote présentes dans le sol à un moment donné.

Il existe donc plusieurs types de reliquats azote selon l'objectif recherché.

- ① **Reliquat post absorption (R.P.A.)** : mesure la quantité d'azote minéral restant dans le sol quand les racines ont cessé d'avoir une absorption significative d'azote. À faire au plus tard 30 à 40 jours après la floraison. C'est une mesure très délicate et à réserver à l'expérimentation (suivi d'essais).
- ② **Reliquat post récolte (R.P.R.)** : mesure qui a lieu après la récolte ou dans la culture si récolte tardive (ex : maïs). Elle peut être très perturbée par les conditions (pluie, température) favorables à la reprise de la minéralisation. Elle est souvent difficilement interprétable en l'état, même accompagnée des facteurs explicatifs possibles, notamment un facteur « année » prépondérant.
- ③ **Reliquat début drainage (R.D.D.)** : mesure la quantité d'azote minéral présent en début d'automne quand le sol a refait toute sa réserve en eau. C'est le cumul du reliquat post absorption et de la minéralisation d'automne. Il se fait quand le sol est à la capacité au champ.
- ④ **Reliquat sortie hiver (R.S.H.)** : mesure la quantité d'azote minéral restant dans le sol à la sortie hiver (de fin janvier à fin février) après la période de lessivage hivernal et avant la reprise de minéralisation de printemps.

Il est surtout fonction de la pluviométrie (essentiellement les pluies de décembre et janvier), du type et de la profondeur du sol ainsi que de la pression de la fertilisation organique et minérale (potentiel de minéralisation).

C'est le R.S.H. qui est utilisé pour caler les doses d'apport d'azote sur cultures au printemps.

## PROTOCOLE DE PRÉLÈVEMENTS

Pour assurer la fiabilité des mesures de reliquats d'azote, un certain nombre de précautions doivent être prises concernant le prélèvement et l'échantillonnage au champ, le transport des échantillons au laboratoire et la réalisation des analyses.

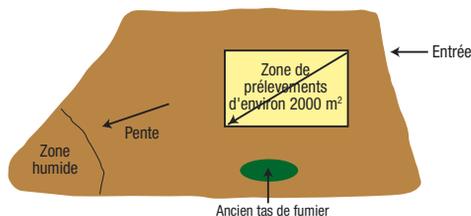
### Conditions de prélèvements

	R.P.A. <i>reliquat post-aborption</i>	R.P.R. <i>reliquat post-récolte</i>	R.D.D. <i>reliquat début drainage</i>	R.S.H. <i>reliquat sortie hiver</i>
<b>Objectifs</b>	évaluer l'impact de la fertilisation		estimer le potentiel d'azote lessivable	prévoir la fumure azotée
<b>Cultures</b>	<b>Périodes de prélèvements</b>			
Céréales	<i>juste avant la récolte et avant le 15 août</i>		→ zone retour des pluies précoce : avant le 15 octobre  → autres zones : du 15 octobre au 15 novembre maximum	optimum : 10-20 février  maximum : fin janvier à fin février
Maïs	<i>maximum 30 à 40 jours après la floraison femelle (apparition des soies) soit au plus tard entre le 1<sup>er</sup> et le 15 septembre</i>	<i>avant le 30 septembre</i>		
Betteraves				
<b>Conditions de réalisations des prélèvements</b>				
<i>avant déchaumage,  avant tout nouvel apport de fertilisant,  avant tout épisode pluvieux supérieur à 45 mm car risque d'un «flush» de minéralisation,  éviter de prélever sur un sol très sec (risque de «pollution» d'un horizon à l'autre).</i>			<i>avant tout apport azoté,  sur sol ressuyé,  pas de prélèvement sur sol enneigé, sol gelé ou sous la pluie.</i>	



*si ces conditions ne sont pas remplies, les objectifs ne peuvent être maintenus.*

### Zone de prélèvements



Prélever dans une zone homogène environ 2000 m<sup>2</sup> (50 × 40 m), relativement plane, représentative de la parcelle et avant tout apport d'azote (organique et minéral).

Éviter les fourrières, les bas de pente, l'emplacement des anciens tas de fumier, des talus et s'éloigner de l'entrée du champ.

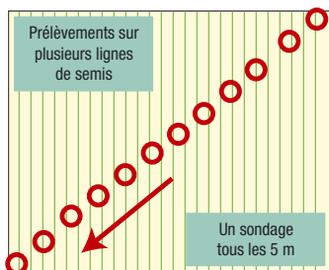


*Si les prélèvements sont confiés à un tiers, il est important que l'exploitant l'accompagne pour définir ensemble la zone la plus appropriée : la fiabilité de l'analyse en dépend.*

### Matériels nécessaires

- une tarière de type edelman de 120 cm graduée tous les 30 cm
- 3 à 4 seaux propres bien identifiés par niveau
- un couteau pour « nettoyer » chaque carottage de terre
- des sacs d'échantillonnage : 1 par niveau
- une glacière pour le transport

## Méthode de prélèvements sous cultures annuelles

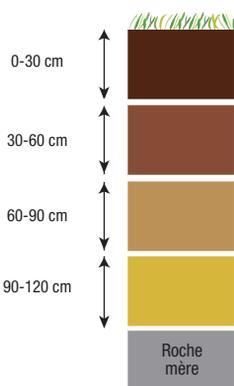


Le prélèvement est le point le plus important :

- pour un résultat fiable, **réaliser 10 à 12 prélèvements** à la tarière dans la zone homogène
- prélever sur une diagonale tous les 5 mètres pour prendre en compte la variabilité des pratiques de fertilisation en particulier celles liées aux épandages d'engrais de ferme

À chaque prélèvement, l'échantillon se fait par tranche (ou niveau) de 30 cm.

La profondeur à prendre en compte est celle de l'enracinement potentiel de la culture :



- 2 horizons jusqu'à 60 cm pour les sols peu épais
- 3 à 4 horizons jusqu'à 90 à 120 cm pour les sols moyennement profonds à profonds

**Il est impératif de ne pas mélanger la terre de 2 niveaux différents.**

Entre chaque niveau, ne pas conserver la carotte intermédiaire.

- à chaque sondage : gratter au couteau l'extérieur du contenu de la tarière et supprimer sa partie supérieure (3 à 4 cm)
- entre chaque sondage : nettoyer la tarière

## Constitution et conservation des échantillons

Réaliser soigneusement un échantillon de chaque niveau de sol.

- bien mélanger les « carottes » dans chaque seau en cassant les mottes et en enlevant les cailloux et les résidus végétaux
- mettre en sachet plastique 300 à 400 g de terre par niveau. Fermer hermétiquement et identifier le sachet : nom de la parcelle, niveau prélevé



*Dès le prélèvement réalisé, la quantité d'azote nitrique et ammoniacal de l'échantillon est susceptible d'évoluer très vite.*

Prévoir l'acheminement rapide des échantillons en glacière jusqu'au laboratoire :

- soit directement dans la journée, ou après conservation au frais (3-4 °C) dans un réfrigérateur au maximum 24 à 48 heures
- soit après stockage temporaire au congélateur. Dans ce cas, attention à réaliser une congélation rapide des échantillons

Privilégier un laboratoire de proximité et agréé par le Ministère de l'Agriculture (cf page 42).

## Les analyses rapides au champ

Les méthodes d'analyses rapides au champ restent plus imprécises. Elles imposent de toute façon la même rigueur dans la méthode de prélèvements et la qualité de l'échantillonnage.

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

### Exemple de résultats transmis par le laboratoire

						azote minéral du profil (en kg/ha)	
Niveau du sol	Horizons	Densité retenue	Humidité en %	N - NH4 mg/kg	N - NO3 mg/kg	Azote ammoniacal	Azote nitrique
1	0 - 30	1,30	23	1,31	2,64	5,1	10,3
2	30 - 60	1,30	21	0,47	3,45	1,9	13,4
3	60 - 90	1,30	19,8	0,30	4,48	1,2	17,5
<b>AZOTE TOTAL DU PROFIL</b>						N - NH4	N - NO3
						<b>8</b>	<b>41</b>

### Il est important de s'interroger sur les causes d'une teneur élevée en azote ammoniacal.

*ex : plus de 25 kg/ha pour l'horizon 0-30 et plus de 10 kg/ha pour les autres horizons*

#### Plusieurs raisons possibles :

- un sol asphyxié (ex sol de prairies humides) ou un apport récent d'engrais de ferme (lisier,...). Ceci concerne essentiellement le 1<sup>er</sup> niveau.
- le plus souvent c'est l'indice (à vérifier) d'une pollution de l'échantillon lors du prélèvement ou au laboratoire ou une évolution de l'azote entre prélèvement et analyse : pas de conservation au froid et sol en phase de minéralisation active.

#### Des résultats parfois à corriger selon :

- la densité retenue par le laboratoire : 1,3 ou 1,4.
- la pierrosité du sol : à partir de plus de 5% de cailloux  
*ex : 10% de cailloux => diminution de 10% des résultats du labo.*
- la profondeur réelle du dernier horizon.

#### Quantité d'azote à retenir selon les types de reliquats :

- **pour les mesures sortie hiver**, le reliquat azote (RSH) s'obtient en additionnant l'azote nitrique de tous les horizons et l'azote ammoniacal du premier horizon (0-30 cm).

*sur l'exemple ci-dessus :  $41 + 5,1 = 46$  kg/ha*



*En cas de précipitations importantes survenues entre la mesure de R.S.H. et la phase intense d'utilisation de l'azote par la culture, il convient de diminuer le R.S.H. d'une estimation des pertes par lessivage.*

*ex : pour une céréale d'hiver, si la culture a reçu plus de 100 mm d'eau entre la date de la mesure et le stade épi 1 cm, on divise par 2 la quantité d'azote nitrique présente dans le **dernier** niveau.*

- **pour les autres types de reliquat** : post absorption, post récolte ou début drainage, le reliquat doit s'obtenir de la même façon que pour le R.S.H. en particulier si l'on veut faire des bilans.

Dans tous les cas, l'interprétation des analyses individuelles de R.S.H. est à sécuriser en tenant compte des résultats obtenus sur le réseau d'avertissement départemental et diffusés fin février par les Chambres d'Agriculture.

## VALORISATION DES RÉSULTATS

- **Les reliquats post absorption ou début drainage** sont utilisés principalement en expérimentation : essais, suivis lessivage hivernal.
  - **Les reliquats post récolte** : l'objectif a souvent été un objectif de sensibilisation (ex : opérations Bassins Versants) vis à vis de l'impact des pratiques de fertilisation sur la qualité de l'eau. Mais les conditions de réalisation de ces mesures les rendent le plus souvent difficilement interprétables en l'état. Il faut disposer d'une bonne connaissance de l'historique des parcelles et des conditions précises des prélèvements (dates, conditions climatiques...) pour appréhender l'importance ou pas des reprises de minéralisation.
  - **Les reliquats sortie hiver** : la mesure de l'azote dans le sol à la sortie de l'hiver (entre fin janvier et fin février) permet d'ajuster le niveau de fertilisation azotée pour les cultures annuelles (céréales d'hiver, maïs...). Elle permet de faire le point sur ce qui est présent dans le sol avant les premiers apports d'azote.
- Le RSH représente le point de départ du bilan d'azote dans la méthode des bilans et c'est également l'un des termes de la dose totale d'azote à apporter à la culture.

Les outils de calcul qui permettent de valoriser ces résultats sont les grilles prévisionnelles de la dose d'azote.



Pour les cultures légumières, il est préférable de réaliser des reliquats d'azote juste avant le semis ou d'utiliser les estimations selon les précédents, fournies dans les outils pratiques de l'agriculteur.

Ces outils sont accessibles sur [www.synagri.com](http://www.synagri.com)

## LE SOUFRE

Le soufre (S) est un élément essentiel dans la constitution des protéines, notamment certaines protéines des crucifères (choux, colza) et liliacés (oignons, poireaux).

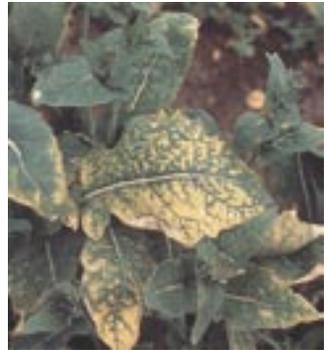
Les cultures les plus exigeantes en soufre sont donc celles citées ci-dessus ainsi que les légumineuses qui synthétisent beaucoup de protéines.

Le soufre est absorbé par les plantes sous forme d'ion sulfate ( $SO_4^{2-}$ ) qui a un comportement très similaire à celui des nitrates (lessivage et minéralisation).

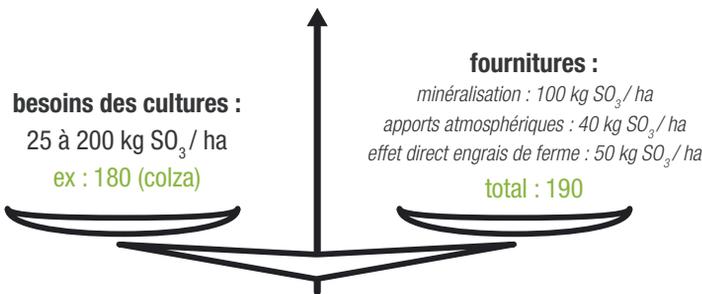
## Deux types d'analyses peuvent être proposées aujourd'hui :

- le soufre « Scott » dont un seuil de teneur très satisfaisant pour les cultures sensibles serait de 18 mg  $SO_3$ /kg.
- un profil sulfates comme on ferait un profil nitrates dans le cadre d'un reliquat d'azote.

Toutefois, dans le cas d'apports réguliers de déjections animales, les apports de soufre minéral ne sont que très rarement nécessaires compte tenu des ordres de grandeur suivants :



Carence en soufre sur colza :  
décoloration des feuilles  
internervaires



## Principaux produits apportant du soufre

## Engrais de ferme :

- 30 t fumier bovins : 50 kg  $SO_3$  / ha
- 10 t fumier volailles : 40 kg  $SO_3$  / ha
- 30 m<sup>3</sup> lisier porcs : 25 kg  $SO_3$  / ha
- 10 t compost fumier volailles : 60 kg  $SO_3$  / ha

## Engrais minéraux :

- Sulfate d'ammoniaque : 57 %  $SO_3$
- Sulfonitrate d'ammoniaque : 26 : 35 %  $SO_3$
- Superphosphate : 18 : 30 %  $SO_3$
- Sulfate de potassium : 45 %  $SO_3$

**R.F.U.** = Réserve en eau du sol facilement Utilisable par la culture en mm

**M.O.** = Matière Organique en % ou en g/kg

**IP, IK** = Indice de nutrition phosphatée ou potassique sur prairie

**C.A.H.** = Complexe Argilo Humique

**C.E.C.** = Capacité d'Échange Cationique en meq/100g ou cmol/kg

**S** = Somme des bases échangeables présentes sur la C.A.H. en meq/100g ou cmol/kg

**S/CEC** = Taux de saturation de la C.E.C. en %

**B.E.B.** = Besoin En Bases en uVN (unité Valeur Neutralisante)

**R.S.H.** = Reliquat azote Sortie Hiver en kg N/ha

**d.a.** = densité apparente du sol =  $\frac{\text{poids de terre sèche}}{\text{volume occupé par cette terre sèche}}$  = 1,3 à 1,4 en moyenne

**poids de terre fine/ha** = densité × épaisseur couche travaillée en m × 10 000 m<sup>2</sup>  
*ex : 1,3 × 0,3 m × 10 000 m<sup>2</sup> = 3900 t/ha*

### les unités

1 mg/kg = 0,001 g/kg = 1 ppm (*partie par million*)

1 g/kg = 1 kg/t = 0,1 %

1 meq/100 g (*milli-équivalent/100 g*) = 1 cmol/kg (*centi-mole/kg*) = 10 meq/kg

### Les coefficients multiplicateurs pour passer d'une forme chimique à une autre

Ca<sup>++</sup> meq/100 g × 281 = CaO mg/kg    et    CaO mg/kg × 0,00357 = Ca<sup>++</sup> meq/100 g

Mg<sup>++</sup> meq/100 g × 200 = MgO mg/kg    et    MgO mg/kg × 0,00496 = Mg<sup>++</sup> meq/100 g

K<sup>+</sup> meq/100 g × 470 = K<sub>2</sub>O mg/kg    et    K<sub>2</sub>O mg/kg × 0,002127 = K<sup>+</sup> meq/100 g

P mg/kg × 2,291 = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/kg    et    P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/kg × 0,436 = P mg/kg

N mg/kg × 4,429 = NO<sub>3</sub> mg/kg    et    NO<sub>3</sub> mg/kg × 0,23 = N mg/kg

N mg/kg × 1,288 = NH<sub>4</sub> mg/kg    et    NH<sub>4</sub> mg/kg × 0,776 = N mg/kg

S mg/kg × 2,50 = SO<sub>3</sub> mg/kg    et    SO<sub>3</sub> mg/kg × 0,33 = S mg/kg

### Quelques correspondances

Quantité d'azote lessivé en hiver (à 80 cm) et concentration de l'eau en nitrate à cette profondeur.

Si azote lessivé en kg/ha	et lame drainante en mm	concentration de l'eau en nitrate (mg/l)
50	250	88
50	500	44
50	1000	22

1 kg d'azote (N) correspond à 4,429 kg de nitrates (NO<sub>3</sub>)

$$\text{ex : } \frac{50 \text{ kg N/ha} \times 4,429 \times 100}{250 \text{ mm}} = 88 \text{ mg/l}$$

Lame drainante : eau qui traverse le sol pendant la période hivernale

Confier la réalisation de ses analyses de terre à un laboratoire qui reçoit chaque année l'agrément du Ministère de l'Agriculture est un gage de qualité sur les prestations fournies :

- ➔ Méthodes d'analyses normalisées (*dosage fiable et précis*) et adaptées au contexte régional.

**Les laboratoires agréés par le Ministère de l'Agriculture sur la région Bretagne :**

(*extrait du Journal Officiel du 9 mars 2005*).

- **Laboratoire départemental d'analyses des Côtes d'Armor**

(LDA 22), zoopôle, 5-7, rue du sabot, BP 54 - 22440 PLOUFRAGAN

- **AGRILABO**

5, allée verte - 29600 St Martin des Champs

- **Laboratoire COOPAGRI-BRETAGNE**

ZI de Lanrinou, BP 100 - 29800 Landerneau

- **Laboratoire départemental d'analyses d'Ile et Vilaine**

(LDA 35), La Madeleine, route de Rennes - 35270 Combourg

- **Laboratoire départemental d'analyses du Morbihan**

(LDA 56), 3 rue Denis Papin, BP 20080 - 56892 St-Avé Cedex



*Rappelons que l'agrément ne porte que sur le dosage et non l'interprétation des résultats : celle-ci réclame des informations sur vos parcelles dont les laboratoires ne disposent pas le plus souvent.*

*Ce guide vous permettra donc d'interpréter par vous-mêmes les résultats de vos bulletins d'analyses.*

**Document édité par  
les Chambres d'agriculture de Bretagne**

**Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor**

Avenue du chalutier "Sans pitié"

BP 540 - 22195 Plérin cedex

Tél. 02 96 79 22 22 - Fax. 02 96 79 21 00

**Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine**

Rond-point Maurice Le Lannou

CS 14226 - 35042 Rennes Cedex

Tél. 02 23 48 27 10 - Fax. 02 23 48 27 11

**Chambre d'Agriculture du Finistère**

5, allée Sully - 29322 Quimper Cedex

Tél. 02 98 52 49 11 - Fax. 02 98 52 48 03

**Chambre d'Agriculture du Morbihan**

Avenue du général Borgnis-Desbordes

BP 398 - 56009 Vannes Cedex

Tél. 02 97 46 22 29 - Fax. 02 97 46 22 87

**Chambre régionale d'agriculture de Bretagne**

Rond-point Maurice Le Lannou

CS 14223 - 35042 Rennes Cedex

Tél. 02 23 48 27 80 - Fax. 02 23 48 27 48

**réalisé par le pôle Régional Agronomie Productions Végétales  
des Chambres d'Agriculture de Bretagne**

Coordination : S. TICO, L. LE ROUX

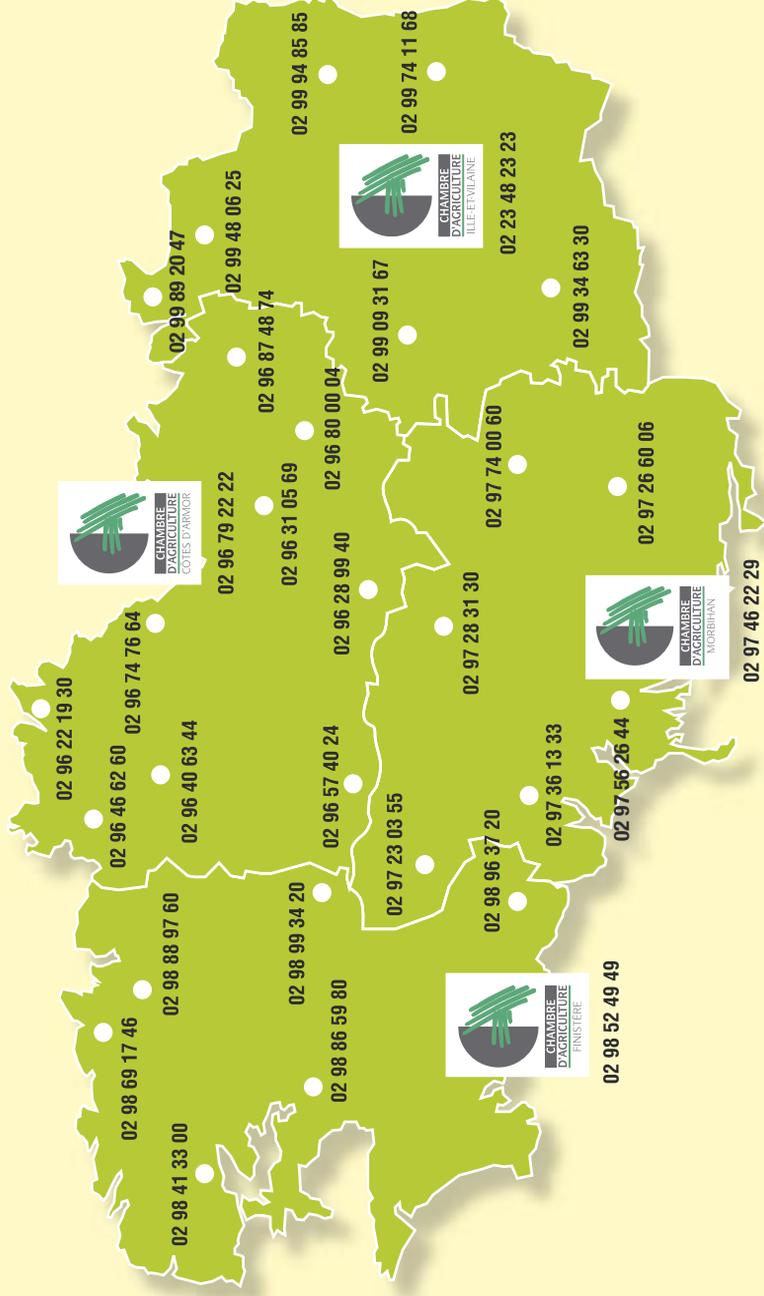
Équipe projet : D. HANOCQ, J. GRALL, M.M. CABARET,  
R. BLONDEL, B. DECOOPMAN, C. BOISSELIER

**avec la participation financière  
de l'agence de l'eau Loire-Bretagne  
et du Conseil Régional de Bretagne**



Les références sont issues d'études et de travaux expérimentaux  
réalisés avec l'appui financier de :  
Conseil Régional de Bretagne,  
Conseils généraux des Côtes d'Armor, du Finistère, d'Ille-et-Vilaine, du Morbihan,  
Agence de l'eau, État, ADAR, Europe.

**Pour toute information  
contactez le conseiller agronomie-cultures proche de chez vous**



*Chambres d'Agriculture de Bretagne : un réseau de compétences de proximité*