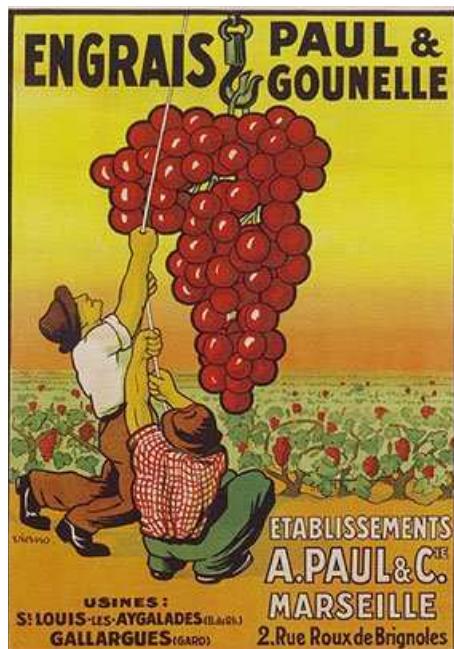




Office du  
Développement  
Agricole et  
Rural de  
Corse

Formation Module 3  
Sols, Irrigation et Fertilisation

GUIDE  
ANALYSES DE SOLS – INTERPRETATION – FERTILISATION – BESOINS DES CULTURES



## **SOMMAIRE**

I. GRANULOMETRIE	p 4
1.1 Définition : %TF ou % de terre fine sèche	
1.2 Granulométrie de la terre fine en 5 fractions	
II. pH ET CALCIUM	p 5
2.1 Normes d'interprétation	
2.2 Besoins en amendements	
1.2.1 Le type de sol	
1.2.2 Le type de culture	
1.2.3 Les effets du pH sur l'assimilabilité des éléments	
2.3 Calcul des quantités à apporter	
2.4 Evolution du pH suivant les sols et suivant la mise en culture	
1.4.2 La mise en culture	
1.4.3 Effets des engrais	
1.4.4 Effets de l'irrigation	
2.5 Différents types d'amendements	
2.6 Comment et quand apporter les amendements	
2.6.1 Comment apporter les amendements ?	
2.6.2 Quand apporter les amendements ?	
III MATIERE ORGANIQUE	p 10
3.1 Calculs	
3.2 Interprétation de la teneur en matière organique	
3.3 Enrichissement isohumique par apport : K1	
3.4 Minéralisation de la matière organique : K2	
3.5 Evolution du taux de matières organiques avec la mise en culture	
IV LA FERTILISATION AZOTEE	p 13
4.1 Rôle de l'azote	
4.2 Gains et pertes d'azote minéral	
4.2.1 Les pertes	
4.2.2 Les gains	
4.3 Les engrais azotés	
4.3.1 Les différents types d'engrais	
4.3.2 Choix des différentes formes d'engrais	
4.3.3 L'utilisation par les plantes	
V LE PHOSPHORE	p 18
5.1 Rôles du phosphore	
5.2 Analyses	
5.3 Niveau souhaité et exemple de calcul	
5.4 Les engrais	
5.4.1 Les différents types d'engrais	
5.4.2 Le choix des types d'engrais	
5.4.3 Le coefficient d'utilisation	
VI LE POTASSIUM	p 22

6.1 Rôles du potassium		
6.2 Analyses		
6.3 Les engrais		
6.3.1 Les différents types d'engrais		
6.3.2 Le choix des engrais, chlorure ou sulfate		
VII LE MAGNESIUM	p 26	
7.1 Les rôles du magnésium		
7.2 L'analyse du magnésium		
VIII SODIUM ET CONDUCTIVITE	p 28	
8.1 Le sodium		
8.2 La conductivité		
IX OLIGO-ELEMENTS	p 29	
9.1 Différents facteurs agissant sur les oligo-éléments		
9.2 Le Fer		
9.3 Le Cuivre		
9.4 Le Manganèse		
9.5 Le Zinc		
9.6 Molybdène		
9.7 Bore		
X LES ENGRAIS COMPOSES	p 32	
10.1 Les différentes formes d'engrais		
10.2 Les mélanges possibles		
10.3 Amendements et engrais organiques		
XI LES BESOINS DES DIFFERENTES CULTURES	p 33	
11.1 Le tournesol		
11.2 Le Soja		
11.3 Le Maïs grain		
11.4 Les céréales d'hiver		
11.5 Sorgho grain		
11.6 Pois Féverole		
11.7 Colza d'hiver		
11.8 Cultures fourragères - légumineuses		
11.9 Cultures fourragères - graminées		
11.10 Les prairies permanentes		
11.11 La Vigne		
11.12 Les pêchers		
11.13 Le kiwi		
11.14 Les clémentiniers		
11.15 L'olivier		
11.16 L'amandier		
11.17 Le châtaignier		
11.18 Le prunier		
11.19 L'abricotier		
11.20 Le cerisier		
11.21 Pommier - Poirier		

**GUIDE**  
**ANALYSES DE SOLS – INTERPRETATION – FERTILISATION – BESOINS DES CULTURES**

## I. GRANULOMETRIE

### 1.1 Définition : %TF ou % de terre fine sèche

L'échantillon est passé au tamis de 2 mm. Ce qui est recueilli (inférieur à 2 mm) est analysé, ce qui reste sur le tamis (graviers > 2 mm) est rejeté.

%TF = Poids terre fine / (Poids de terre fine + graviers)

Ordres de grandeurs :

90% <% TF < 100% : terre non graveleuse (alluvions récentes en Corse)

70% <% TF < 90% : terre peu graveleuse (alluvions anciennes)

50% <% TF < 70% : terre fortement graveleuse (sols sur granite)

### 1.2 Granulométrie de la terre fine en 5 fractions

1 micron = 1  $\mu$  = 1/1000 mm

Les 5 fractions sont exprimées en g/100 g de terre fine.

Le total des 5 fractions est voisin de 100 (sauf sols humifères).

Argile A < 2  $\mu$

2  $\mu$  < Limons < 50  $\mu$  avec :

2  $\mu$  < Limons fins Lf < 20  $\mu$

20  $\mu$  < Limons grossiers Lg < 50  $\mu$

50  $\mu$  < Sables < 2 000  $\mu$  avec :

50  $\mu$  < Sables fins Lf < 200  $\mu$

200  $\mu$  < Sables grossiers Lg < 2 000  $\mu$

Les sables grossiers favorisent la perméabilité et l'infiltration de l'eau surtout si Sg/A > 3.

Les sables fins et les limons grossiers favorisent plutôt la compacité du sol.

Une forte proportion de limons par rapport à l'argile amène battance et prise en masse des horizons de surface (L/A > 2 à 3).

Argile et limons ont des effets favorables sur la rétention de l'eau et des éléments fertilisants qu'ils peuvent également, dans une certaine mesure, fournir à la plante.

Un niveau faible d'argile (5 à 10% - Sol sableux ou très rarement sol limoneux) est insuffisant pour avoir une bonne structure du sol.

Un niveau > 20 à 25% (sol argileux) favorise la fissuration du sol et le maintien d'une bonne structure.

Les sols en Corse sont :

- Peu argileux et très sableux : La plupart des sols sur granite avec des teneurs de 8 à 12% A,
- Moyennement argileux et bien équilibrés : Sols bruns sur schistes et sols bruns d'alluvions anciennes 12 à 22% d'argile,
- Argileux : Les sols lessivés ont 25 à 35% d'argile en profondeur, quelquefois jusqu'à 40 à 50% en sol anciens, rarement plus.

## II. pH ET CALCIUM

### 2.1 Normes d'interprétation

pH (eau) < 4,5 : très fortement acide, très rare en plaine, plus fréquent en montagne  
4,5 à 5,5 : très acide, rare en conditions naturelles, plus fréquents en sol cultivé  
5,5 à 6,5 : acide, très fréquent en alluvions anciennes, sur schistes, granites  
6,5 à 6,8 : peu acide, fréquent en sol peu évolué, en alluvions récentes  
6,8 à 7,2 : neutre, alluvions récentes, sols jeunes  
7,2 à 7,5 : légèrement alcalin, alluvions récentes neutres, sols décalcarisés  
7,5 à 8,5 : alcalin, alluvions récentes calcaires, schistes et miocène calcaire  
8,5 : fortement alcalin, très rare, certains sols salés

Conversions :

Calcium = Ca

Chaux = CaO

Ca \* 1,4 = CaO

CaO \* 0,714 = Ca

Ca 0/00 \* 4,99 = Ca me/100g

Ca me/100 g \* 0,28 = CaO 0/00

Ca me/100 g \* 0,2 = Ca 0/00

CaO 0/00 \* 3,57 = Ca me/100g

Le calcium est interprété en liaison avec le pH. Il doit être > 4 me/100 g Ca dans tous les cas.

Sa teneur normale en sol non calcaire varie de 4 à 8 en sol peu argileux et pauvre en matières organiques jusqu'à 12-16 en sol argileux et/ou riche en matières organiques.

En sol calcaire il est de 20 à 40 me sursaturant le complexe absorbant.

Pour pH >= 7,5 il est fait une analyse de calcaire total.

Lorsque le calcaire total est > 5% on demande l'analyse du calcaire actif ou mieux l'indice du pouvoir chlorosant. L'indice du pouvoir chlorosant = IPC = (CaCO<sub>3</sub> actif en % / Fe<sup>2+</sup> en mg/Kg) \* 10<sup>4</sup>.

IPC varie de 0 à plus de 60.

### 2.2 Besoins en amendements

Le pH souhaité dépend de différents facteurs :

#### 1.2.1 Le type de sol

- un sol riche en matières organiques ou sableux n'a pas besoin d'un pH > 5,5 à 6 pour la plupart des cultures,
- il est préférable d'être plus près de la neutralité pour un sol plus argileux,
- il est préférable d'avoir un pH un peu plus élevé (7-7,2) pour certaines terres rouges riches en manganèse et pour des sols limoneux battants de se situer vers 7,5-8,
- il est préférable pour la culture d'avoir un pH moins acide en sol hydromorphe.

### 1.2.2 Le type de culture

- Espèces calcifuges : pomme de terre, seigle, sarrazin, lupin, châtaignier, poirier,
- Espèces indifférentes : blé, avoine, maïs, trèfle, lotier, navet, topinambour, dactyle, ray grass, fléole, fétuque des prés, vigne (selon PG)
- Espèces calcicoles : betterave, orge, luzerne, sainfoin, haricot, féverole, cerisier, amandier

### 1.2.3 Les effets du pH sur l'assimilabilité des éléments

Certains peuvent devenir toxiques avec l'acidité (nickel et chrome pour des sols issus de roches vertes (serpentines..), manganèse en sol lessivé rubéfié).

D'autres peuvent au contraire devenir moins assimilables et déficients comme le molybdène pour lequel les carences observées en Corse sont plus importantes en sol rubéfié et riche en nickel.

Le pH acide agit favorablement en Corse sur l'alimentation en potassium et sur celle en oligo-éléments excepté pour le molybdène et pour les sols peu tamponnés, en B.

Un pH calcaire est défavorable pour l'alimentation en azote et en phosphore qui sont mieux utilisés à des pH voisins de la neutralité.

## 2.3 Calcul des quantités à apporter

Les quantités à apporter dépendent de différents facteurs :

- Du pH d'origine et du pH souhaité :

Plus cette différence sera importante, plus il faudra apporter d'amendements mais pour une même différence si le pH est peu acide (6) il faudra apporter plus de CaO que si le pH est plus acide (5.5)

Les sols très acides et les sols organiques réagissent différemment. En sol très acide, il y a des ions Aluminium qui nécessitent plus de CaO pour être neutralisés. En sol organique, lorsque le pH augmente, la matière organique a plus de fonctions acides à neutraliser, ce qui nécessite plus de CaO.

- Du sol :

Une même augmentation de pH nécessitera d'autant plus de CaO qu'il y a plus d'argile et de matières organiques (plus de capacité d'échange). Ceci dépend aussi du type d'argile.

- Des caractéristiques de l'amendement utilisé, de la qualité de l'incorporation, liée au taux de saturation du calcium sur le complexe absorbant, du facteur durée.

D'où la nécessité d'utiliser un facteur multiplicatif des doses calculées au laboratoire. Ce facteur de chaulage varie de moins de 1,5 à plus de 3.

Ce facteur étant difficile à obtenir, le plus souvent les laboratoires ne font pas de tests en laboratoire et calculent les apports par corrélations des caractéristiques du sol et des résultats d'apports d'amendements sur le terrain.

A l'ODARC on utilise les courbes de neutralisation. Elles donnent des résultats importants en sols à capacité d'échange mal connue ou inconnue. On prend un facteur de chaulage de 1 (meilleure utilisation des amendements en région chaude et humide) qui donne des résultats assez satisfaisants au regards de certains tests réalisés et qui correspondent en gros, pour augmenter le pH de 1 unité, à l'apport de :

- 1 000 à 2 000 Kg de CaO /Ha en sol léger
- 2 000 à 3 000 Kg de CaO /Ha en sol moyen
- 3 000 à 4 000 Kg de CaO/Ha en sol lourd

**Pour passer en Kg d'amendement à X % CaO on divise ces chiffres par X et on multiplie par 100.**

En Corse, en sol sur granite de texture légère, l'apport de 1 T de CaO/Ha augmente, au laboratoire, le pH du sol de 0,2 à 1,8 avec une augmentation plus faible en sol riche en matières organiques (0,2 à 0,5 u pH) et plus élevée en sol pauvre en matières organiques (0,7 à 1,8 u pH).

Le calcaire apporté pourra dans certains cas être magnésien. Cela est rarement pratiqué actuellement (environ 7% seulement des sols agricoles sur granite sont peu pourvus en magnésium).

## 2.4 Evolution du pH suivant les sols et suivant la mise en culture

### 1.4.1 Le type de sol

Plusieurs sols sont bien pourvus en calcium (sol sur calcaire, schistes calcaires, miocène calcaire) ou en magnésium (sol sur roches basiques et roches vertes) avec un pH compris entre 7,3 et 8,5 en sol calcaire et autour de 6,8-7,5 pour les sols riches en magnésium. Ces sols s'acidifient peu ou lentement avec la mise en culture (les cailloux calcaires cassés par le travail du sol peuvent libérer du calcaire actif).

L'évolution naturelle de ces sols se traduit par une acidification mais qui est rarement importante, située entre 5,5 et 6,5. Les sols évolués, plus argileux et lessivés sont souvent à drainage faible. Cela empêche une acidification marquée (effet du magnésium). Ces sols pourront s'acidifier, plus ou moins rapidement selon leur drainage, le type de roche mère...

Certains sols sont cependant plus acides, formés sur roches mères plus pauvres en calcium : grés, schistes riches en quartz, granites clairs peu altérables. Ils pourront s'acidifier rapidement.

La plupart des sols, exceptés les sols basiques ou riches en matières organiques ou en éléments fertilisants ont une acidité « potentielle » (pH KCl) nettement plus faible que l'acidité « actuelle » mesurée par le pH eau (de 1 à 2 unités). Ils sont ainsi plus sensibles à la baisse de pH.

### 1.4.2 La mise en culture

L'acidification devient plus importante avec la mise en culture (moins de remontées biologiques des cations, acidification par les engrains et l'irrigation et les exportations des cultures, pertes de matières organiques, érosion, lessivage, effets de la pente...).

Les pertes moyennes en sol cultivé sont de 200 à 800 Kg de CaO /an pouvant acidifier le sol de 0,06 à 0,07 unité pH. En Corse, la baisse du pH risque d'être plus importante pour une même perte de CaO (sol moins tamponné). On a pu observer l'effet des engrains et de l'irrigation sur le pH.

### 1.4.3 Effets des engrains

➤ **Les engrains azotés** peuvent être nettement acidifiants, souvent plus que les autres engrains, sauf exception comme le nitrate de chaux.

1<sup>er</sup> exemple : Région Sud de Ghisonaccia sur alluvions anciennes à 16% d'argile et à faible CE

Engrais Type N°1 : Ammonnitrate 33% + 17-17-17 soit 210g N, 70g P2O5, 70 g K2O par arbre en 1967

Engrais Type N°2 : Nitrate de chaux et Magnésie + scories + sulfate de potasse

	pH eau		K me/100 g		Ca me/100 g		Mg me/100 g	
Prof cm	Type N°1	Type N°2	Type N°1	Type N°2	Type N°1	Type N°2	Type N°1	Type N°2
0-20 cm	4.48	5.50	0.35	0.37	1.18	3.00	0.21	0.79
20-40 cm	4.50	5.18	0.29	0.21	1.18	2.06	0.23	0.62

## 2ème exemple : A la SRA de San Giuliano

Avec un apport cumulé de 1 140 unités d'azote sous forme d'ammonitrat, le pH s'acidifie de 0,72 unité en surface et de presque autant en profondeur. Il y a perte de 55 Kg de CaO pour 100 Kg d'ammonitrat, en surface.

➤ **Les engrains phosphoriques** peuvent avoir un effet favorable sous forme de scories contenant du CaO. A la SRA, 345 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apportées sous forme de scories augmentent le pH de 0 à 20 cm, de 0,17 unité et enrichissent le sol de 530 unités de CaO en surface et de 330 unités de CaO de 20 à 40 cm soit un enrichissement du même ordre de grandeur que l'apport. En Corse, les scories sont efficaces.

➤ **Les engrais potassiques** peuvent avoir un effet en général un peu acidifiant :

1er exemple :

A la SRA, en alluvions anciennes assez argileuses et peu caillouteuses, 600 unités de K<sub>2</sub>O sous forme de sulfate de potasse diminuent le pH de 0,14 unités de 0 à 20 cm uniquement.

La teneur en CaO en surface diminue de 150 unités ou 12,5 Kg de CaO/100 Kg de sulfate de potasse.

2ème exemple :

En alluvions anciennes peu argileuses et très caillouteuses, très irriguées :

- en sol nu on trouve des pertes de 500 Kg de CaO pour des apports de 800 Kg de K<sub>2</sub>O soit des pertes de 31 Kg CaO/100kg de sulfate de potasse.

- En sol enherbé l'apport de potasse a favorisé l'augmentation du taux de matières organiques par l'intermédiaire de l'enherbement, ce qui a permis une forte rétention du calcium dont la teneur est alors conservée. Il n'y a pas de pertes de CaO avec l'apport de potasse.

### 1.4.4 Effets de l'irrigation

➤ **Effets de la qualité de l'eau sur les teneurs en Ca du sol (0-20 cm) en me/100 g**

	Nord		Centre		Sud	
	1973	1979	1973	1979	1973	1979
Ca me/100 g	6,95	7,4	6,0	6,4	6,1	5,9

Au Nord et Centre de la plaine orientale, sous clémentiniers irrigués, l'eau en provenance des zones schisteuses est plus riche en calcium et en magnésium que l'eau d'irrigation du sud en provenance granitique.

La différence moyenne de 0,8 me de Ca représente, en surface, 112 Kg CaO/Ha/an en plus au Nord et au centre de la plaine orientale par rapport au sud.

➤ **Effet des types d'irrigation**

- Sous goutte à goutte :

En région granitique, on observe une acidification du sol sous le goutteur. Elle est plus importante avec une dose de 4l/H par rapport à 2l/h.

A la SEI cette acidification en quelques années est de 1 à 1,2 unité pH pour une irrigation de 4l/h et de 0,5 à 0,6 unité pH pour 2l/h.

En région schisteuse : On observe pas d'acidification sous le goutteur sur 5 années de suivi sous clémentiniers au centre de la plaine (CUMA de Moriani sur 60 analyses).

- Sous cuvette pour les jeunes arbres, il y a acidification de 1 unité pH en 3 ans

	pH eau	N 0/00	CE me/100 g	K me/100 g	Ca me/100 g	Mg me/100 g	P ppm
Milieu interligne	5.78	1.04	7.31	0.38	3.78	0.77	20
Cuvette	4.77	1.14	7.90	0.30	2.18	0.53	39
PPDS* 5%	0.31	NS	NS	NS	1.45	0.11	NS

\*PPDS : plus petite différence significative

## 2.5 Différents types d'amendements

Attention, ce n'est pas parce qu'un engrais contient du calcium qu'il augmente forcément le pH :

- soit le Ca du produit est peu soluble (phosphates),
- soit le reste du produit est acidifiant (sulfate de calcium),
- soit il n'apporte pas assez de Ca pour agir significativement.

Mg agit de façon supérieure à Ca pour augmenter le pH pour un même poids.

En dehors des amendements calcaires (magnésiens) seuls ont une valeur neutralisante (quantité de CaO ayant la même capacité de neutralisation que 100 Kg de produit considéré) :

- Les Scories Thomas (40 à 50 % de CaO - Valeur neutralisante 35-42)
- La cyanamide calcique (55 à 65% CaO- 50 à 60% de valeur neutralisante)
- Un certain nombre d'amendements organiques comme le fumier ou certains composts.

Les amendements calcomagnésiens se divisent en plusieurs catégories :

- Amendements cuits : chaux calciques et magnésiennes très réactives rapidement dont la valeur neutralisante correspond à leur teneur en CaO et MgO (Chaux vive 75 à 92 %CaO..),
- Amendements crus : Ils doivent être caractérisés par leur teneur en CaO et MgO mais aussi par leur solubilité carbonique, critère de leur rapidité d'action et par leur finesse de mouture, critère d'efficacité.
- Les amendements comme COFNI sont des amendements crus broyés à 53% CaO à solubilité carbonique moyenne et à action moyennement rapide. L'ancien TUDA à action moyennement rapide avait 32% CaO et 18% MgO (provenance calcaire dolomitique).

## 2.6 Comment et quand apporter les amendements

### 2.6.1 Comment apporter les amendements ?

- Amendements broyés à 2 mm : 3 à 6T/Ha suivant les cultures - Epandage par disques multiples (2)
- Amendements pulvérisés : 800 kg à 3T/Ha à très fine granulométrie nécessitant des épandeurs d'engrais à bras oscillants ou à disques à vitesse lente
- Amendements compactés : 800 kg à 3T/Ha avec épandeurs d'engrais à bras oscillants ou à disques à vitesse lente

L'amendement sera si possible suivi d'un travail superficiel du sol qui favorisera son mélange à la couche arable (préconisé surtout en sol lourd et compact) puis il sera enfoui par le labour. Sur prairie on pourra le laisser en surface ou réaliser un hersage. Son action au niveau des racines sera un peu plus longue -1 à 2 ans- que s'il est enfoui.

### 2.6.2 Quand apporter les amendements ?

**Printemps** : Sur cultures d'hiver - Sur prairies après la 1ère coupe ou après pâturage - Avant semis d'une culture de printemps (céréale, maïs...) - En couverture sur pomme de terre

**Eté** : Sur prairie après coupe ou pâture - sur chaumes de céréales

**Automne**: Sur tous terrains libérés après la récolte

**Hiver** : Après maïs et sur toutes terres en préparation

En amendement de fond :

Lors de la plantation d'arbre il est nécessaire d'enfouir le plus profondément l'amendement en le mélangeant correctement car après il est très difficile de remonter le pH par des apports de surface (sauf peut être avec l'engrais nitrate de calcium facilement lessivable mais avec de fortes quantités!)

## III MATIERE ORGANIQUE

### 3.1 Calculs

On peut obtenir le taux de matières organiques de 3 façons à partir des analyses de laboratoire :

- Par estimation à partir de N total :  $N\% *20 = \text{Matières organiques MO \%}$
- Par estimation à partir de C total :  $C = \text{carbone } C\% *1.724 = MO\%$
- Par calcination en sol non calcaire et riche en matières organiques

$$NO_3 = 4,429 N$$

$$N = 0,23 NO_3$$

$$NH_4 = 1,288 N$$

$$N = 0,776 NH_4$$

### 3.2 Interprétation de la teneur en matière organique

Niveau souhaité : il dépend des cultures et des sols (texture ; calcaire).

En serre, on recherche 4 à 5% MO en sol sableux, 6 % en sol à 10% d'argile et 8% en sol à 20% d'argile

En culture de plein champs :

Sol	Texture			Besoins
	Grossière *	Moyenne	Fine	
Pauvre	< 1%	< 2%	< 2.5%	+++
Moyen	1 à 1.5%	2 à 2.5%	2.5 à 3%	++
Bon	> 1.5%	> 2.5%	> 3%	Selon les cultures

Certains préconisent un peu plus de matières organiques en texture grossière pour améliorer la structure des sols sableux mais c'est difficile à obtenir en région méditerranéenne.

La qualité de la matière organique peut être estimée par le rapport C/N :

- voisin de 10 : bien décomposée
- > 13 : mal décomposée et fournissant peu d'N minéral

Exemple de calcul :

Si on souhaite avoir 3% de MO ou 0.15% N et que l'on obtient à l'analyse 2% de MO ou 0.10% N, il faut augmenter le taux de MO de 1% soit :

- pour 3 000 T de TF par ha (densité 1.5 \* 10 000 M<sup>2</sup> \* 0.2 m de profondeur ; sol non caillouteux) 30 T de MO,

(N souhaité en % - N analyse en %) \*20/100 \*3000 T

En tenant compte du taux de MO sèche dans le produit apporté et de son coefficient isohumique (voir tableau), il faudra apporter, pour augmenter de 1% le taux de MO de l'horizon de surface :

- 300 T par Ha de fumier bien décomposé,
- 130T/Ha d'humus industriel,
- 40T /Ha de tourbe blonde.

### 3.3 Enrichissement isohumique par apport : K1

K1 = Coefficient isohumique = Quantité d'humus stable transformé après 3 ans / Quantité de matières organiques fraîches non transformées du produit initial

AMENDEMENT	K1	C/N	Mat sèche MS/M frais	Humus stable Kg/T	Apport en T/Ha	Humus en Kg/Ha
Fumier bien décomposé	0,50	15-20	20	100	30	3 000
Fumier moyennement décomposé	0,40		22	88	30	2 640
Fumier pailleux	0,25	20-40	25	62,5	30	1 875
Compost urbain	0,25	10-20	25	62,5	20	1 250
Boues de station d'épuration	0,20	10-20	20	40	20	800
Humus industriel	0,50		55	275	1.5	410
Paille	0,15	50-80	85	127,5	4.5	575
Marc de raisin composté	0,30		35	105	10	1 050
Engrais vert	0,15	10-25	20	30	5	150
Résidus de récolte	0,135		20	27	15	400 (à 800)
Tourbe	0,90	50-80	85	765	2	1 530

K1 dépend surtout des caractéristiques biochimiques des apports mais peut aussi être fonction des conditions physico-chimiques ambiantes. Ainsi pour les résidus de récolte K1 = 0,32 en semis direct ; 0,20 en travail superficiel et 0,13 avec labour : La matière organique évolue d'autant moins vite que sa concentration dans l'horizon concerné est élevée.

L'enrichissement en matières organiques peut être très important avec une prairie de 3 à 5 ans, bien fertilisée et bien arrosée.

### 3.4 Minéralisation de la matière organique : K2

K2 = Taux annuel de minéralisation = Quantité de matières organiques minéralisées en 1 an/ Quantité totale de matières organiques.

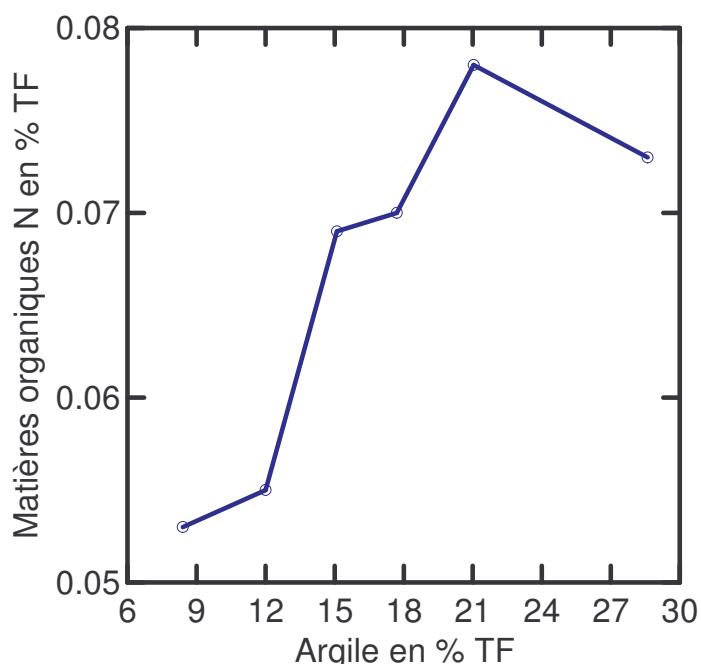
En conditions peu variables, les valeurs moyennes du coefficient K2 dépendent principalement du taux d'argile et de calcaire :

Sol calcaire riche en matières organiques	K2 = 0.5 à 0.8%
Sol très argileux A>30%	K2 = 0.8 à 1.3%
Limon argileux (15-30%A et 2.5% MO)	K2 = 1.3 à 1.8%
Limons légers < 15%A	K2 = 1.8 à 2.5%
Sols sableux	K2 = 2.5 à 3%

En conditions particulières K2 peut être très différent : retournement de prairie, défrichements récents, travail et irrigation d'un sol en non-culture ou 30 à 50% de la matière organique peut se décomposer en 2 à 3 ans.

Exemple en sol de vignes en Corse :

De 0 à 20 cm de profondeur, pour environ 400 sols mis en culture de vigne depuis 3 à 15 ans, la teneur en matières organiques, assez élevée avant mise en culture, a baissé mais a été nettement mieux conservée en sol plus argileux (K2 plus faible). Les niveaux d'argile les plus élevés 29% correspondent à des sols retournés, moins riches en profondeur en matières organiques et à C/N nettement plus faible.



### 3.5 Evolution du taux de matières organiques avec la mise en culture

Le taux de matières organiques diminue avec la mise en culture, avec le travail du sol, avec certaines cultures mais peut augmenter sous engrais verts et surtout avec la pratique d'un enherbement.

1<sup>er</sup> exemple : Effets de la culture : Comparaison des sols de vignobles (400) et d'agrumes (200) sol 0-20 cm

	TF	A	If	Ig	Sf	Sg	pH	Ca	Mg	K	Na	P	N
Vigne	75	17	15	12	21	33	6,15	5,2	1,95	0,46	0,17	23	0,066
Agru	76	17	16	13	24	29	6,30	7,47	1,46	0,46	0,25	27	0,10

Pour une texture comparable le sol de vignoble est nettement appauvri en matières organiques par rapport au sol de clémentiniers, avec nettement moins de Ca et un pH plus acide.

2<sup>ème</sup> exemple : Effets de l'enherbement et des engrains verts - Sols de la SRA

N en 0/0	Sol nu	Engrais vert	Enherbement
0-20 cm	0,089	0,101	0,108
20-40 cm	0,083	0,095	0,096
Total MO estimée	103 T/Ha	118 T /Ha	122 T/Ha
Enrichissement		1,96T/Ha/an	2,56T/Ha/an

3<sup>ème</sup> exemple : Effets de l'irrigation sur des oliviers - SEI

Le sol a été enherbé partout sous aspersion avec 0,7 et 0,9 ETP. L'apport de 0,9 ETP a augmenté la production de matières organiques par rapport à 0,7 ETP. Le sol a été partout désherbe chimiquement sans travail du sol. 6 années plus tard, à l'interligne sèche sous goutte à goutte, la quantité de matières organiques est nettement plus élevée sur 40 cm que sous aspersion (sol humide partout). On retrouve sous goutte à goutte l'effet favorable de l'apport de doses plus élevées d'eau lorsque le sol était enherbé (fétueque).

Profondeur	Interligne Goutte à Goutte Sol nu		Aspersion Sol nu 0,7-0,9 ETP
	0,9 ETP	0,7 ETP	
0-20 cm	0,176 N%	0,150	0,095
20-40 cm	0,117	0,104	0,082
40-60 cm	0,96	0,078	0,115

## IV LA FERTILISATION AZOTEE

### 4.1 Rôle de l'azote

C'est un élément essentiel de la multiplication et de la croissance cellulaire, de l'équilibre hormonal de la plante (rôle important sur les substances de croissance avec l'eau).

L'apport augmente la photosynthèse, la vitesse de croissance et retarde la maturité, augmente la floraison et la fructification à l'intérieur de certaines limites liées au rapport C/N.

Les régions méridionales, ensoleillées, où la photosynthèse est importante, supportent mieux les doses plus élevées d'azote que les autres régions.

Les plantes bien nourries supportent mieux le froid et les maladies mais des apports tardifs ou excessifs d'azote peuvent agir défavorablement.

N peut augmenter le calibre des fruits par augmentation de la dimension des cellules du fruit mais on a pu observer aussi l'inverse (olives et agrumes).

La qualité des fruits peut être améliorée par un apport raisonnable d'azote mais il y a souvent des effets négatifs en cas d'excès ou de déséquilibre ou d'interactions : La coloration est diminuée, il y a moins de phénols et de

tannins (Vigne), il y a moins de sucre et plus d'acidité, l'épaisseur de la peau peut augmenter, les fruits se conservent moins bien.

Avec l'apport d'azote, il y a plus de croissance donc de besoins en eau mais cet apport rend la plante capable d'extraire plus d'eau car cette aptitude augmente plus que la force de rétention dans le sol (par maintien de l'état juvénile). NH<sub>4</sub> peut de ce point de vue, être défavorable.

## 4.2 Gains et pertes d'azote minéral

### 4.2.1 Les pertes

#### ➤ Volatilisation de l'azote ammoniacal

L'ammonium peut se transformer en ammoniac qui se volatilise surtout :

- si l'humidité du sol est faible ou avec alternance humidité/sécheresse,
- si la température est élevée, le pH est > 7,5 avec du calcaire,
- si la capacité d'échange est faible (peu d'argile et de matières organiques).

Pour une même teneur en NH<sub>4</sub>, l'ammonitrat est le moins sensible à la volatilisation. L'urée en se transformant en NH<sub>4</sub> augmente fortement localement le pH et il peut y avoir volatilisation en sol acide. Les pertes vont de 2 à 4% jusqu'à 30% et plus pour les lisiers épandus en surface. Lorsque les apports d'engrais sont enfouis, les pertes sont moindres. En moyennes elles sont de 6%.

#### ➤ Reorganisation

La réorganisation :

- augmente avec le carbone disponible facilement assimilable,
- est active à basse température,
- commence très tôt après l'apport d'azote et affecte 10 à 40% de cet apport.

Elle est plus complète avec NH<sub>4</sub> par rapport à NO<sub>3</sub>. La reminéralisation n'est que partielle et différée.

#### ➤ Dénitrification

Les nitrates sont transformés biologiquement en produits gazeux qui s'échappent vers l'atmosphère surtout en conditions de mauvaise aération, par alternance d'humectation et de dessiccation, à pH neutre, avec de la matière organique décomposable en surface et des nitrates. Les pertes moyennes se situent à 20 % de l'apport en général et à 7% avec les céréales. Il est difficile d'éviter les pertes < 15 à 20 u/Ha/an. Les ions ammonium peuvent être transformés en produits gazeux en sol acide par voie chimique.

#### ➤ Lessivage

Les pertes correspondent en moyenne à 5 à 10% de l'apport d'engrais et dépendent de la quantité d'azote présente sous forme nitrique, de la quantité d'eau infiltrée, de la profondeur d'enracinement. Les nitrates migrent en profondeur sous forme d'une « onde » dont la moitié est située à 10-20-30-40-50 cm de profondeur pour des pluies infiltrées de 10 mm à 210 mm et des teneurs en argile de 5 à 40 %.

Exemple : Avec 90 mm de pluie infiltrée en sol sec et peu tassé, le pic de nitrate se trouvera vers 40 cm s'il y a 15% d'argile et si les nitrates étaient en surface. 50% seront donc en dessous de 40 cm.

Argile	5	10	15	20	25	30	35	40
10 cm	10 mm	20	23	27	30	35	40°	42
20 cm	20 mm	40	45	55	60	70	80	85
30 cm	30 mm	60	70	80	90	105	120	130
40 cm	40 mm	80	90	110	120	140	160	170
50 cm	50 mm	100	115	135	150	175	200	210

En sol graveleux ou caillouteux la descente sera plus rapide sauf si les cailloux retiennent l'eau comme le sol ce qui est peu probable.

Les pertes sont plus importantes que 10% si:

- le sol est superficiel
- le sol retient peu l'eau (sol sableux, sol caillouteux, sol en pente)
- la pluviométrie est importante ou l'irrigation mal contrôlée
- l'apport d'azote est plus important que les besoins de la culture (apport excessif, rendement diminué par aléas climatiques ou culturaux, fertilité du sol insuffisante)
- en cas de retourne de prairies anciennes de graminées et de légumineuses

Les pertes sont moins importantes que 10% si :

- des pailles sont enfouies à l'automne (5 à 10 kg de N sont retenus et réorganisés par quintal de paille)
- il y a des prairies fauchées
- le sol n'est pas laissé nu en hiver (engrais vert)
- il y a utilisation de paillage plastique
- il y a apport tardif sur céréales
- pas d'apport de purin ou fumier à l'automne

#### 4.2.2 Les gains

##### ➤ La pluie

Elle apporte 5 à 10 u/Ha/an. Le bassin versant de la Solenzara reçoit 7,3 Kg/Ha/an (teneur moyenne de l'eau de pluie 0,487 mg/l N ou 2,16 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La Corse peut recevoir des eaux enrichies en N par pollution des régions industrialisées d'Europe (jusqu'à 8,9 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et 1,15 mg/l NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

##### ➤ Les eaux d'irrigation (Expérimentations SRAE 1982)

Les teneurs en nitrates sont de l'ordre de :

- Eaux de surface : en moyenne 1mg/l de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Maximum 5 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pour le Tavignano (les teneurs augmentent en été)
- Aquifères alluviaux : en moyenne 8,6 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> jusqu'à 30-80 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sous culture (Golo..)
- Aquifères du socle : 1,5 mg/l de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

4 000 m<sup>3</sup> d'eau par Ha apportent environ 1 u d'N pour chaque augmentation de 1mg/l de la teneur en nitrates de l'eau. Ceci peut être important pour les aquifères alluviaux pollués.

##### ➤ Fixation d'azote par les microorganismes

Les microorganismes libres fixent 5 à 10 Kg N/Ha/an et les symbiotiques plusieurs centaines de Kg N/Ha/an.

### ➤ Minéralisation de la matière organique

Un sol à 2% de MO libère dans les 100 u d'N mais la corrélation MO % et N minéral est très faible, la libération d'azote minéral augmentant avec la teneur en MO du sol mais étant dispersée de 20 à 300 u. Il faut mesurer directement N minéral. Il faut bien définir quand se fait cette minéralisation. Elle a surtout lieu à la fin du printemps ou en début d'été humide mais elle existe également en hiver à un rythme plus lent en Corse.

Pour une culture d'hiver on retiendra ≈ 50% de la valeur annuelle soit ≈ 60 u

Pour une culture d'été on retient 80% soit 100 u environ.

On peut faire un calcul plus précis de K2 tenant compte :

- De la température moyenne annuelle TMA (K2 de Remy et Viaux), de A argile exprimée en 0/00 ainsi que de CaCO<sub>3</sub> :

$$K2 = (2\ 200 * pH^{1,9} (0,2 \text{ TMA}-1) / ((2\ 000 + A) * (550 + CaCO_3)^{1,22})$$

N minéralisé = Masse du sol \* N total% \* K2

- Du fumier, du lisier : L'année suivant l'enfouissement sera utilisable l'azote déjà sous forme minérale (10% N total pour le fumier, 60% pour le lisier de porc, 70 pour les fientes de volailles) + l'azote minéralisé dans l'année (20 à 30% N total)

Cette quantité sera utilisée à plus de 90% pour les prairies mais à 50% pour les céréales d'hiver. Les années suivantes il y aura minéralisation de l'azote organique à un taux 5 fois plus rapide que celle du sol soit 5 à 10%. Si les engrains organiques sont apportés régulièrement on obtiendra une situation d'équilibre au bout de 20 à 45 ans. En pratique, on calcule pour une situation à la moitié de l'équilibre (arrière effet des apports « historiques »).

- Des résidus de récolte :

+ 20 à 30 u pour la luzerne, le pois, la féverole,  
+ 0 u pour les céréales si les pailles sont enlevées

- 20 u si les pailles sont enfouies (on prendra 0 u pour les cultures de printemps)  
- 20 à - 30 u pour le maïs irrigué

- Du retournement de prairies anciennes (+ 6ans) :

Pour les céréales d'hiver + 100u la 1ère année puis 60 u la 2ème, 40 la 3ème et 4ème, 20u de 5 à 10 ans.

Pour les prairies jeunes (3 à 6 ans) diminuer de 20 u.

Pour les céréales de printemps l'apport d'azote est nettement plus important les 2 premières années (jusqu'à 60 u en plus) puis 10 à 30 u en plus jusqu'à 10 ans.

### ➤ Nitrification

La nitrification nécessite une bonne aération du sol, un pH peu acide à basique, une température > 4 à 5°C.

NH<sub>4</sub> acidifie le sol et c'est l'inverse pour NO<sub>3</sub>.

En sol acide mieux vaut utiliser NO<sub>3</sub> sinon l'apport d'engrais est défavorable (augmentation d'acidité, risque d'intoxication ammoniacale sur maïs).

Lorsque l'azote est apporté sous forme d'ammoniac anhydre, urée ou azote organique (résidus à faible C/N), il y a rapidement une augmentation du pH favorable à la nitrification. En sol neutre ou basique au contraire les sels ammoniacaux sont plus rapidement nitrifiés.

## 4.3 Les engrais azotés

### 4.3.1 Les différents types d'engrais

TYPE	%N	NO <sub>3</sub> % Total	NH <sub>4</sub> % Total	uréique	autre	CaCO <sub>3</sub>	sel	hygro	solubilité	effet
Ammoniaque Anhydre	80		100			-148				
Sulfate d'ammoniaque	20		100		SO <sub>3</sub> 23	-110	69	faible	75	calcaire
Nitrate de chaux	15	100			CaO 25	+21	52	très forte	122	très vite
Nitrate de chaux-Mg	13	100			CaO 14 MgO 5	+20		très forte		très vite
Nitrate de magnésie	11	100			MgO 18			très forte	279	très vite
Urée	46			100		-85	75	forte	103	lente
Solutions azotées	15-40	25	25	50					liquide	peu rapide
Ammonitrat	20	50	50			-3		forte		
Ammonitrat	27	50	50			-20		forte		
Ammonitrat	33	50	50			-60	104	forte	192	assez rapide
Cyanamide calcique	18			100	CaO 55	+63	31	faible	non	lente
Phosphate monoammonique	12		100		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 59	-59	29	nulle	37	starter
Phosphate diammonique	20		100		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 53	-88	34	nulle	66	starter
Nitrate de potasse	13	100			K <sub>2</sub> O 46	+25	74	faible	32	rapide

CaCO<sub>3</sub> : Equivalent en Kg de CaCO<sub>3</sub> de l'effet alcalinisant (+) ou acidifiant (-) de 100 Kg d'engrais

Sel : Indice global de salinité = variation de la pression osmotique de la solution du sol par rapport au nitrate de soude (valeur 100)

Hygroscopicité: Propriété d'absorber la vapeur d'eau de l'atmosphère à partir d'une certaine humidité de l'air

Solubilité :Kg d'engrais soluble dans 100 l d'eau à 20

### 4.3.2 Choix des différentes formes d'engrais

- NH<sub>4</sub> est transformé en NO<sub>3</sub> plus lentement quand la température est basse et quand le pH est acide  
- NH<sub>4</sub> agit comme un cation en compétition avec les autres cations Ca Mg et K et augmente le rapport K/Ca de la plante en réduisant plus fortement l'accumulation de Ca. Comme Ca agit favorablement sur la conservation de certains fruits, il est fortement déconseillé d'appliquer NH<sub>4</sub> avant ou peu après la floraison

- NH<sub>4</sub> est moins mobile que NO<sub>3</sub>. En sol sableux et en sol très acide, il peut migrer vers les racines. En sol argileux, il peut être fortement retenu sous forme non échangeable et difficilement nitrifiable (<15%)  
Cette rétention augmente avec l'apport de potassium (non par effet toxique de K sur la nitrification mais par blocage physique)

- Les nitrates favorisent plus la croissance et l'ammonium plus la floraison des arbres fruitiers.
- L'urée se transforme en ammonium dans le sol en 3 à 10 jours (plus rapidement si le sol est humide, la température pas trop basse, le sol riche en matières organiques). Il peut être lessivé (goutte à goutte). Il faudra avancer l'apport en condition de nutrition azotée critique (épi 1 cm)
- Il peut y avoir plus de pertes d'azote uréique et ammoniacal que d'azote nitrique (volatilisation, réorganisation)

#### 4.3.3 L'utilisation par les plantes

En conditions favorables les engrains sont tous utilisés de la même façon; autrement le nitrate d'ammonium est le mieux utilisé, surtout par rapport à l'urée. Cet écart peut atteindre 15 à 20% de l'apport (20 à 40 Kg/Ha). Le coefficient d'utilisation de l'azote de l'engrais par la plante la première année d'apport peut varier de 30 à 70% et a un arrière effet sur plusieurs années (3 à 10% la seconde, 1 à 2% les années suivantes). Ce coefficient est plus faible pour des apports très faibles ou très élevés. Il augmente sur céréales avec des apports tardifs 70 à 100% Il est plus faible de 10 à 20% dans le cas de sol tassé, à mauvaise structure, trop humide.

## V LE PHOSPHORE

### 5.1 Rôles du phosphore

P et les racines : L'accroissement du système racinaire résulte aussi bien de l'action fertilisante de P dès le début de la végétation (facilite la formation des racines) que de son influence sur la structure, favorisant une structure grumeleuse stable.

P et la résistance aux adversités : Il accroît la résistance de la plante au froid, au gel et à la sécheresse (surtout sous forme soluble) ainsi qu'aux maladies. P diminue la toxicité saline sur vigne

P facteur de croissance, et de précocité : C'est un élément régulateur de la végétation, en interaction positive avec l'azote. Il favorise la fécondation, la maturité, la synthèse et la migration des sucres. Sur arbres fruitiers, il favorise la floraison, la nouaison, l'aoûtement ; sans P il y a manque d'énergie : La croissance est ralentie avec nanisme et coulure des fleurs,

Les céréales résistent mieux à la verse. Sans apport de P, les céréales développent moins d'épillets d'où des pertes importantes au niveau de la récolte.

P est important pour le rhizobium des légumineuses.

P et la qualité des fruits :

Avec les pommiers, P peut favoriser la conservation des fruits. Il a un effet direct sur l'amélioration de la stabilité des membranes des cellules du fruit et un effet indirect par son rôle favorable sur Ca, composant important des membranes

Avec la vigne, P peut augmenter les colorants (anthocyanes) et les arômes, augmente un peu le sucre et l'acidité, diminue certains tanins.

Avec les agrumes, P augmente le % jus, diminue l'acidité A et le % de sucre S mais augmente un peu S/A, diminue l'épaisseur de la peau qui reste plus verte (comme avec N), n'affecte pas le calibre

**Excès et pollution :** Les effets dépressifs par excès sont très rares car la faible solubilité de P en présence d'ions Ca, Al ou Fe empêche des concentrations toxiques de P. Il y a alors carence induite, surtout en sol acide et avec des engrains solubles, de Cu et Zn (Agrumes), Mn (Pêchers), Fe. Il peut y avoir une consommation de luxe.

## 5.2 Analyses

La méthode d'analyse utilisée au moment des anciennes études de sol réalisées par la SOMIVAC et l'ODARC est la méthode TRUOG (utilisée dans le Sud Est).

Il est difficile de comparer les résultats d'analyse obtenus par cette méthode à ceux obtenus par la méthode Dyer aujourd'hui couramment pratiquée.

Pour avoir un ordre de grandeur du niveau de phosphore en méthode Dyer, on peut multiplier par 2 le résultat obtenu en Truog. Ceci donne un ordre de grandeur correct sauf lorsque P est très faible (cas de nombreux sols corses) où alors les deux résultats sont voisins.

Le résultat d'analyse est exprimé en ppm de  $P_2O_5$  ppm = partie par million = mg de  $P_2O_5$  par kg de terre fine sèche.

$$P_2O_5 = 2,29 * P \text{ ou } P = 0,436 * P_2O_5$$

Pour 3 000 T de terre, 1 ppm de  $P_2O_5$  = 3 Kg de  $P_2O_5$  ou 3u

Les sols corses sont avant mise en valeur déficients en P à quelques exceptions près : les sols d'alluvions récentes calcaires (peu calcaires) surtout mais aussi acides (peu acides), les sols calcaires, les sols riches en magnésium, les sols granitiques de Balagne surtout.

On constate que les sols moins pauvres en P sont plus pauvres en K et inversement. Ceci n'a pas été pris en compte lorsqu'il était mis partout sur la vigne du 7/14/28.

Les sols évolués sont plus pauvres en P. L'argile joue un rôle important en diminuant l'assimilabilité de P dans de nombreux sols.

Les sols rubéfiés sont plus pauvres en P contrairement à K.

Les sols plus riches en matières organiques ne sont pas plus riches en P alors qu'ils sont plus riches en Ca, Mg, K. Les matières organiques peuvent agir comme l'argile.

Il peut y avoir migration de P en profondeur en sol de texture légère à moyenne et sous goutte à goutte avec irrigation fertilisante.

L'effet du % de cailloux et de l'hydromorphie dépend du type de sol.

L'alimentation en P est très sensible à l'humidité du sol et à l'acidité du sol.

## 5.3 Niveau souhaité et exemple de calcul

Le niveau souhaité devrait être déterminé pour chaque type de sols par région ce qui est souvent trop lourd. Il est de l'ordre de :

Phosphore Truog	10 à 20% d'argile	30 à 40 % d'argile
Grande culture	100 ppm $P_2O_5$ (44 ppm P)	150 ppm
Culture intensive	150 ppm	250 ppm
Culture protégée	250 ppm	300 ppm

Exemple de calcul :

Une analyse donne 5 ppm de P en sol non cultivé à 15% d'argile. On veut réaliser une fumure de fond en arboriculture et obtenir autour de 45 ppm en profondeur.

soit pour un horizon non caillouteux de 20 cm et de densité 1,5, 3 000 T de terre fine par Ha ( $0.20 \times 10000 \times 1,5$ ). Il faut ajouter  $45 \text{ ppm} - 5 \text{ ppm} = 40 \text{ ppm}$  de P ou  $3000 \times 40 / 1000000 = 0.12 \text{ T de P}$  ou 120 Kg P ou 276 Kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$

Ces 276 unités seront fournies par  $276 \times 100 / 45 = 610 \text{ Kg /Ha}$  de superphosphate triple à 45% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

En pratique l'enrichissement sera moindre en sol vierge surtout s'il est acide, rubéfié, d'alluvions anciennes, ou si c'est un sol nettement calcaire. Il faudra pratiquement multiplier l'apport de P par 2 pour enrichir ce type de sol. Par contre après un début d'enrichissement du sol, le coefficient multiplicateur sera plus près de 1

Dans la littérature cette rétrogradation de P est importante en sol acide qu'il convient d'amender avant d'apporter P :

Sol à pH < 6	C = 1,4 à 2 (suivant teneur en argile)
Sol à pH de 6 à 7,5	C = 1,2 à 1,4 (suivant teneur en argile)
Sol à pH > 7,5	C = 1,6 à 2 (suivant teneur en argile)

Il n'y a pas de pertes par lessivage pour la plupart des sols (<1Kg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Ha}$ )

On se limitera, pour des raisons techniques et économiques, à 400 - 500 u en fumure de fond en sol très pauvre, argileux, et en fumure de redressement, on se contentera de majorer les apports annuels des plantes exigeantes en phosphore.

CULTURES PLUS EXIGEANTES	CULTURES MOINS EXIGEANTES
Pomme de terre	Céréales à paille (faible)
Betteraves à sucre et fourragères	Mais blé dur (faible à moyen)
colza	Tournesol (moyen)
choux	Pois Féveroles (moyen)
blé sur blé	Graminées fourragères (faible)
luzerne	Arboriculture (besoins plus étalés)

## 5.4 Les engrais

### 5.4.1 Les différents types d'engrais

TYPE	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Autres	CaO	Hygros	Sel	Sol
Superphosphate simple	18	20 CaO 25 SO <sub>3</sub>	+37	faible	7,8	tous
Superphosphate concentré	25	20 CaO 20 SO <sub>3</sub>	+3	faible	7,8	tous
Superphosphate triple	45	18 CaO 3 SO <sub>3</sub>	0	faible	10	tous
Phosphate bicalcique	37	32 CaO 2 SO <sub>3</sub>	+ 25	faible		pH < 8
Scories	12-18	45-55 CaO		faible		pH<8
Phospal	34	11 CaO		nulle		pH 6,2 à 8
Phosphate monoammonique	61	61 N	-59	nulle	29,9	près neutre
phosphate diammonique	46-53	46-53 N	-88	nulle	34,2	près neutre
Phosphate moulus	28	10 CaO	0	nulle		pH<6,2

### 5.4.2 Le choix des types d'engrais

Phosphates naturels (moulus) = Phosphates tricalciques à solubilité > 55% dans l'acide formique et dans le sol 0,2 mg/L

Les phosphates tendres d'Afrique du Nord finement moulus sont bien utilisés en sol acide. En sol moins acide à neutre, ils peuvent être utilisés en fumure de fond.

Scories : Silicophosphate bi à tétracalcique soluble à > 75% dans l'acide citrique à 2% et à 4 mg/l dans le sol. La solubilité dépend du rapport entre silice et phosphore et si P< 12% la solubilité est moindre. Les scories apportent 2 à 5% de MgO et 3 à 7% de MnO. Ils peuvent être utilisables en fumure de fond même en sol calcaire mais sont conseillés en sol acide et très acide. On peut trouver aussi des scories 12/24 et 14/14 contenant :

- 14 et 24 u de K<sub>2</sub>O,
- 20 u de CaO,
- 2,5 u de MgO
- 0- ,5 u de SO<sub>3</sub>

Phospal Phosphate aluminocalcique soluble à plus de 75% dans le citrate d'ammonium alcalin Joulie et à 2 mg/l dans le sol (phosphates naturels du Sénégal, broyés et calcinés). Réservés à la fumure de fond, en sol neutre ou un peu calcaire.

Phosphates bicalciques soluble dans le citrate d'ammonium alcalin Péterman à 100% et dans le sol à 50 mg/l. Peuvent être utilisés sur tous les types de sols, apportés en fumure de fond ou assez longtemps à l'avance.

Superphosphates (monocalciques) solubles à 100% dans le citrate d'ammonium neutre et à 50 g/l dans le sol. Ils peuvent être utilisés sur tous sols en fumure de fond mais en apport annuel, éviter les sols acides (ou les chauler) et les sols calcaires.

Phosphates d'ammoniaque soluble à 100% dans le citrate d'ammonium et dans l'eau, et dans le sol à 250 g/l. A utiliser en cours de culture, notamment comme engrais starter. Sa solubilité dans l'eau permet son utilisation en goutte à goutte (Phosphate monoammonique 1.2.49).

#### 5.4.3 Le coefficient d'utilisation

La première année d'apport il y a utilisation de 5 à 15% du P apporté par la plante dans le cas d'engrais à P soluble eau et de 0,5 à 10% dans le cas de P insoluble eau.

40 à 99% du phosphore est fixé.

Le DAP phosphate diammonique a un coefficient d'utilisation de 5 à 23%. Celui du Phospal est compris entre 0,5 et 1,9%.

En fumure de croisière sur prairie sur 2 ans, 33% des apports sont utilisés (Auvergne) avec l'apport simultané d'azote favorisant fortement l'utilisation de P.

## VI LE POTASSIUM

### 6.1 Rôles du potassium

Les besoins des plantes en Potassium sont très importants du fait que c'est l'élément minéral qu'elles contiennent en plus grande quantité. Il n'intervient pas directement comme élément constitutif de la matière organique (comme N ou P) mais agit comme activateur d'enzymes, dans l'équilibre acido basique de la plante. Il favorise un meilleur métabolisme des glucides, des acides organiques et des substances azotées. Il permet une meilleure résistance à la verse. L'équilibre N/K est important. Il favorise une meilleure tolérance à des pH acides (< 5) et à l'excès d'ions aluminium. Il améliore la résistance aux maladies en général sauf lorsque l'apport de K diminue l'alimentation calcique. L'excès de K est peu préjudiciable à la plante (sauf lorsqu'elle est mal alimentée en Ca et/ou Mg) et à l'environnement.

K intervient particulièrement sur :

- L'économie de l'eau pour la plante, en agissant sur les phénomènes de pression osmotique, de transit de l'eau dans le végétal, d'extraction de l'eau du sol, de perméabilité et de développement des racines. Les pertes par transpiration sont diminuées.

Une bonne alimentation potassique a pour effet de diminuer la consommation de l'eau (réduction de 20% pour la luzerne). En conditions sèches, la vigne peut rester turgesciente et verte lorsqu'elle bénéficie d'une forte fumure potassique (600 à 1 150 u de K<sub>2</sub>O/Ha). Cependant un fort niveau d'apport de K au printemps ou en été augmente la consommation en eau. Elle peut favoriser aussi la résistance au froid (mais peut être pas pour les agrumes) et la tolérance au sel par certains mécanismes voisins.

-une meilleure photosynthèse : en stimulant l'assimilation du gaz carbonique, en agissant sur l'ouverture des stomates, sur la migration des produits photosynthétiques, et en ayant une action directe sur la formation des pigments (chloroplastes). Il semble plus efficace dans la plante les années peu ensoleillées et les étés froids.

La qualité : Il peut améliorer le poids de 1 000 grains du blé, la qualité de la pomme de terre, la teneur en huile et acides gras des plantes oléagineuses, le calibre, la précocité, la coloration, la saveur et la conservation des fruits, le taux de sucre, le degré alcoolique ainsi que le bouquet des fruits, le développement des légumineuses, une bonne digestibilité, l'appétence et la valeur nutritive des fourrages.

## 6.2 Analyses

Expression de K :

Le potassium échangeable est extrait par l'acétate d'ammonium comme les autres bases échangeables Ca, Mg et Na. La même méthode est utilisée par tous les laboratoires français. Il peut être exprimé en 0/00 ou en me/100g (milliéquivalent pour 100 g de terre ; un équivalent = poids moléculaire/ valence.  $K^{*}1,2=K_{20}$   $K_{20}^{*}0,83 = K$   $K_{20} \text{ 0/00} = K \text{ me/100g} * 0,47$  et  $K \text{ me/100g} = K_{20} \text{ 0/00} * 2,13$

Le niveau souhaité devrait être déterminé pour chaque type de sols par région ce qui est souvent trop lourd à déterminer. Comme on doit tenir compte de la force avec laquelle K est retenu, le niveau souhaité tient compte, non de K, mais du degré de saturation de K soit K/CE.

On peut se fixer comme satisfaisant :

- 3% de K/CE en grandes cultures,
- 4% en cultures intensives et pérennes,
- 5% en cultures protégées.

K se situe alors entre 0,3 et 0,8 me/100 g

Le niveau observé en Corse :

La plupart des cultures sur les différents sols de Corse ne montrent pas de carence en K. C'est le résultat de teneurs correctes avant mise en culture et/ou de conditions favorables (sol acide, graveleux et caillouteux, argiles très favorables, minéraux riches en potassium, passage très rapide de K sous forme échangeable...).

Néanmoins, environ 20% des sols sur granites et sur schistes ont moins de 0,2 me/100 g de K, ce qui est insuffisant, surtout pour les sols sur schistes à plus forte CE.

Les besoins en K seront plus importants :

- en sol calcaire en place surtout puis sur alluvions récentes
- en sol sur roches vertes riches en magnésium et pauvre en K
- en sol à mauvais drainage
- en sol plus évolué et argileux par rapport à un sol non lessivé
- en sol sur miocène ou alluvions récentes ayant des types d'argile retenant plus fortement K
- en sol facilitant le lessivage de K : Sol très sableux et caillouteux, pauvres en matières organiques, nettement acides, avec de forts apports d'eau, avec des restitutions importantes et mal distribuées par le bétail ...
- pour des cultures plus exigeantes et /ou à plus fort rendement, à besoins instantanés importants, pour certaines variétés ou porte greffe

Exemple de calcul

Supposons que le niveau moyen d'un horizon de 30 cm d'épaisseur est de 0,31 me/100 g en surface correspondant à 2,7% CE. Ce niveau peut être considéré comme faible pour des cultures assez exigeantes et il est préférable d'avoir 4% de K/CE.

Si le sol est de densité = 1,4 et avec 90% de TF, il faut apporter  $(0,31*4/2,7 - 0,31) \text{ me/100 g}$  de TF soit  $0,46 - 0,31 = 0,15 \text{ me/100 g}$  ou  $0,15 * 0,391 = 0,059/00$  soit pour un poids de terre par ha de  $10\,000 * 0,3 * 1,4 * 0,9 = 3\,780$  tonnes par ha une quantité de 223 Kg de K /Ha ou, exprimé en unités de potasse 268 unités /ha.

Sous forme de chlorure à 61% de potasse il faut apporter près de 440 Kg/Ha.

Cet apport sera effectué en fumure de fond (arboriculture) mais pas en cultures annuelles ou pluriannuelles où on se contentera de majorer la fumure annuelle des plantes exigeantes pour éviter notamment des exportations inutiles de K (consommation de luxe des fourrages).

Cultures	- exigeante	- exigeante	+ exigeante	+ exigeante
Prélèvement	M à TE	M à TE	F à M	F à M
Exportation	F à M	M à TE	F à M	M à TE
Cultures	Céréales à paille-grain maïs grain graminées porte graines	graminées fourragères maïs fourrage céréales à paille exportée	légumineuses porte graines betteraves porte graines colza tournesol pois, féverole soja	pomme de terre betteraves à sucre et fourragères légumineuses fourrages choux, tabac

F : Faible ; M : moyen ; TE très élevé

En fait il faudrait tenir compte en plus de deux faits : La possibilité de rétrogradation d'une partie de K apporté et les pertes par lessivage. On n'en tient pas compte ici.

#### ➤ Fixation de K

Une partie de l'engrais apporté peut passer sous forme peu assimilable et il faut majorer les apports d'un coefficient C qui varie avec l'argile :

10% A	C = 1,33
20% A	C = 1,54
30% A	C= 1,82
40% A	C = 2,22

Cependant en Corse où la majorité des sols fixe peu et peut même fournir K on prend C = 1.

#### ➤ Lessivage

Ils sont de l'ordre de :

- 10 Kg de K<sub>2</sub>O/Ha/an en sol argileux (> 25% argile)
- 30 à 40 Kg en sol peu argileux
- 60 Kg et plus (en Corse) en sol sableux, caillouteux, acide, enrichi en potasse.

La récolte après l'apport d'engrais utilise 25 à 30% de K en moyenne et 30 à 70% est retenu par le sol. 60% des apports de K sont utilisés (fumure moyenne de 2 ans) en Auvergne sur prairie (l'apport d'azote augmentant de 10% l'utilisation de K).

## 6.3 Les engrais

### 6.3.1 Les différents types d'engrais

TYPE	% K2O	Autres	CaO	Soluble	Hygro	Sel
Chlorure potasse	60	Cl 46	0	34	faible	116
Sulfate Potasse	50	SO3 45	0	11	nulle	46
Patent-kali	30	SO3 45 MgO 10	0	30		43
Nitrate potasse	46	N 13	+25	32	faible	74

### 6.3.2 Le choix des engrais, chlorure ou sulfate

Ce choix est fonction de la sensibilité au chlore de certaines cultures :

SENSIBILITE	Très forte	Forte	Moyenne	Faible	Très faible
	Framboisier Groseillier à maquereau Myrtiller Pépinières Avocatier	Cerisier Ronces Groseillier à grappes	Pommier Prunier Pêcher Abricotier	Poirier Cassissier	Pois Haricot Fèves Laitues Concombres Fraisiers Jeunes résineux

Ce choix peut être aussi fonction des effets physiologiques du chlorure et du sulfate :

- SO<sub>4</sub> limite plus le risque de chlorose que Cl en sol calcaire
- K du sulfate utilisé plus lentement que K du nitrate ou du chlorure
- Salinité plus faible du sulfate
- Sulfate à très peu de chlore 2,5% et le sulfate haute qualité 0,5%
- K du sulfate est parfois mieux retenu dans le sol que K du chlorure
- Sulfate réduit les pertes de calcium du sol (sulfate de calcium beaucoup moins soluble que chlorure de calcium)
- K du sulfate a un effet supérieur au chlorure sur la qualité, la conservation et la résistance aux parasites de certains produits : tabac, lin à fibre, primeurs, cultures sous abris, vignes à vins fins, raisins de table, asperges, fleurs, crucifères, pomme de terre
- Chlorure est le moins cher et le plus utilisé sur céréales, plantes sarclées, plantes fourragères, arbres fruitiers à pépins, vigne à vin de consommation courante...
- Le nitrate de potasse bénéficie de l'interaction positive de N avec K
- SO<sub>4</sub> interagit négativement sur l'alimentation en molybdène et peut induire des carences (agrumes en Corse, luzerne)
- En sol salé il ne faut pas utiliser le chlorure (le meilleur serait le bicarbonate)
- On peut faire des fumures massives de correction de 500 à 1 000 Kg de K<sub>2</sub>O/Ha avec des sulfates et des chlorures sauf pour ces derniers en sol peu drainant et avec un hiver sec. On choisira de même le sulfate en localisation de doses importantes de 200 à 300 Kg de K<sub>2</sub>O.

## VII LE MAGNESIUM

### 7.1 Les rôles du magnésium

Mg intervient comme constituant de la chlorophylle, comme activateur d'enzymes, dans la synthèse des protéines, des sucres et des lipides. Il participe à l'absorption, au transfert et à l'utilisation du phosphore. Il maintient la turgescence cellulaire comme K. Il est mobile dans la plante (carence sur les parties âgées). Il peut interagir négativement avec Ca ou K. Il participe à la croissance et au développement de la plante. Il agit en général favorablement sur la qualité, surtout des fruits : les pommes carencées sont petites, peu colorées et manquent de saveur ; Pour les agrumes, il y a alors moins de sucre et d'acide.

Mg excès : De rares exceptions montrent des symptômes de toxicité de Mg

Mg peut être à un niveau tel que le sol est improductif ( $Mg /CE = 90\%$ )

Lorsque Mg est à un niveau voisin de Ca ou plus élevé ( $Ca/Mg < 1$ , exprimé en me) le sol peut être en partie improductif car – il peut y avoir des problèmes de perméabilité du sol

-- il peut y avoir déséquilibre et diminution de l'alimentation en Ca ou K

-- il peut y avoir augmentation de la toxicité en Na

En Corse Mg peut être important. On sait que  $MgCl_2$  est très soluble et que les pluies en régions voisines de la mer sont riches en NaCl.

### 7.2 L'analyse du magnésium

Unités :

$$Mg * 1,66 = MgO$$

$$MgO * 0,6 = Mg$$

$$Mg 0/00 * 8,33 = Mg \text{ me}/100g$$

$$Mg \text{ me}/100g * 0,12 = Mg 0/00$$

$$MgO 0/00 * 4,96 = Mg \text{ me}/100 g$$

$$Mg \text{ me}/100 g * 0,2 = MgO 0/00$$

Niveaux souhaités :

Exprimé en Mg me/100g les teneurs peuvent s'interpréter :

	10% Argile	30% Argile
Faible à très faible	< 0,25	< 0,50
Un peu faible	$0,25 < Mg < 0,40$	$0,50 < Mg < 0,80$
Satisfaisant	$0,40 < Mg < 0,65$	$0,8 < Mg < 1,30$
Elevée	$Mg > 0,65$	$Mg > 1,3$

Exprimé en fonction de l'exigence des cultures, le niveau souhaité pour éviter les carences se situe :

- au-dessus de 0,35 et 0,75 me/100 g en grande culture respectivement lorsque le taux d'argile est de 10 ou 40%,
- 0,45 à 1 me /100 g pour les cultures intensives et pérennes,
- 0,6 à 1 me/100 g. pour les cultures protégées

Exemple de calcul d'apport magnésien en sol pauvre :

Apport =  $(Mg \text{ souhaité} - Mg \text{ analysé}) * 0,20$  (pour passer en MgO 0/00)\* 3000 (poids terre en tonnes)  
On n'utilise pas ici de coefficient correcteur comme pour K ou P (C = 1 ou Mg apporté entièrement assimilable)

Exemple : Pour 20% argile et Mg sol de 0,4 me/100g, il est souhaitable d'avoir 0,6 me. Il faut apporter  $(0,6 - 0,4) * 0,2 * 3000 = 120 \text{ kg de MgO /Ha (120 u)}$  ou 750 Kg de sulfate de magnésie à 16% MgO. Le sulfate de magnésie forme la plus soluble en tous sols quelque soit sa présentation physique. On le réservera en sol calcaire ou neutre alors qu'en sol acide on utilisera un amendement calcomagnésien (exemple calcaire à 32% CaO et 18% MgO).

### Niveaux observés en Corse :

Les teneurs observées en Corse sont nettement au-dessus de ces niveaux en sol non cultivé. Elles peuvent être, en sol sur roches vertes, excessives (5 à 20 me/100 g) par rapport aux autres cations. Le niveau Mg est aussi très important en sol lessivé, argileux, peu acide, hydromorphe (3 à 7 me/100g). Des teneurs faibles peuvent se trouver en sol calcaire (calcaire non dolomitique).

En sol cultivé les pertes doivent être considérées car l'expérience montre que l'on peut passer rapidement, en 10 à 15 ans, d'un sol bien pourvu à un sol appauvri à teneur insuffisante

**Pertes de magnésium en Corse :** Les pertes de Mg sont inéluctables avec la mise en culture (exportation, lessivage, acidification, érosion, pertes sous le goutteur). Les pertes peuvent être :

- Très importantes : La mise en culture peut amener de fortes pertes de Mg qui peuvent abaisser Mg à des niveaux de carence en peu d'années.

Exemple : Ceci a été observé pour des sols bruns moyennement argileux très caillouteux avec enherbement et clémentiniers fortement irrigués et fertilisés en NPK. En une douzaine d'années, les teneurs en Mg ont diminué de 3 à 6 fois moins de Mg (selon les horizons).

A 80 cm de profondeur, on observe des pertes de 77 Kg/Ha/an de Mg sans apport de potasse et les pertes augmentent de 10 Kg de Mg /Ha/an avec des apports de potasse. L'alimentation foliaire a baissée de plus de 50% en 8 ans.

Les pertes sont plus élevées au début de la mise en culture lorsque le sol est plus riche en Mg :

- En 1968 les pertes sont de 57 Kg Mg dont 18 Kg dus à l'apport de 200 unités de potasse

- En 1977 les pertes sont de 46 Kg Mg dont 5 Kg dus à l'apport de 200 unités de potasse

Les pertes indépendantes de l'apport de K sont constantes (40 Kg/Ha/an) de Mg ou 66 Kg MgO en enherbement permanent alors que celles dues à K sont importantes au départ et plus faibles ensuite.

- Moins importantes :

dans le cas de vignobles : En rassemblant age  $\leq 3$  ans (moyenne 2,8 ans : 2,18 me Mg) et age 4 à 6 ans (moyenne 5,03 ans : 2,32 me Mg) on obtient :

Age	Teneurs en Mg me	Perte en me	Perte/an en me	Kg de Mg sur 20 cm
3,9	2,25			
8,4	1,93	0,32	0,07	25
17	1,73	0,20	0,023	8

Les sols sont comparables en ce qui concerne l'argile et la matière organique

- Effet des eaux d'irrigation :

Sous clémentinier de 1973 à 1979, l'horizon de surface voit son taux de Mg :

- diminuer de façon importante au sud de la plaine orientale de 1,5 à 0,96 me/100 g TF (eau du Fium Orbo très peu de Mg)
- peu ou pas diminuer au Nord (de 1,67 à 1,40 me) : L'eau du Golo apporte 9 à 18 Mg/an
- peu ou pas au centre (de 1,68 à 1,62) : l'eau d'irrigation apporte 30 à 60 Mg/an

## VIII SODIUM ET CONDUCTIVITE

### 8.1 Le sodium

Sodium = Na

Na \* 1,35 = Na<sub>2</sub>O

Na me/100g \* 4,34 = Na 0/00

Na<sub>2</sub>O \* 0.74 = Na

Na 0/00 \* 0.23 = Na me/100g

En Corse Na est le plus souvent < 0,2 me/100 g en sol cultivé (correct à bas).

Il peut se situer entre 0,2 et 0,5 en sol vierge ou en sol à mauvais drainage (correct à élevé).

De 0,5 à 1 il peut être considéré comme élevé (sol d'alluvions récentes assez près de la mer) avec des risques pour les cultures sensibles.

Supérieur à 1 me, il est très élevé avec des risques de dégradation du sol et de toxicité pour la plupart des cultures. Ce risque est fonction de la capacité d'échange et des autres bases : Si Na / Capacité d'échange > 15% on parle de sol sodique dégradé.

Des teneurs élevées à excessives en sodium peuvent être observées pour les sols sur miocène, cette formation étant d'origine marine.

En sol riche en Na (plusieurs me/100g) pour diminuer cette teneur de 1 me pour 15 cm de sol, il faut apporter 2 T/Ha de gypse.

### 8.2 La conductivité

La mesure de la quantité de sels minéraux dissous dans la solution du sol est la conductivité (inverse de la résistivité) exprimée en millisiemens/cm (mS/cm) et mesurée sur un extrait au 1/5 (1 kg sol pour 5 l d'eau). 1 mS/cm correspond à peu près à 4 g de sel / Kg de terre. Le sol est considéré comme non salé si conductivité < 0,4 ; peu salé de 0,4 à 0,7 ; à salinité élevée de 0,7 à 2 et très salé au-dessus.

L'interprétation doit tenir compte :

- du taux de matières organiques : plus il est élevé, plus la limite de toxicité pour les plantes est repoussée vers les niveaux élevés. A moins de 4% de matières organiques, il y a risque à plus de 0,5 mS/cm.

- du type de sels, les sulfates étant moins toxiques que les nitrates ou les chlorures,

- du type de culture,

Si la conductivité est élevée, il faut diminuer l'apport d engrais et bien les choisir, augmenter le taux de matières organiques, faciliter le drainage.

## IX OLIGO-ELEMENTS

### 9.1 Différents facteurs agissant sur les oligo-éléments

	Facteurs agissant négativement sur l'alimentation en oligoéléments							
	Mn	Cu	Zn	Fe	Mg	B	Mo	
Fertilisation	Chaulage	■					■	
	Excès N			■				
	Excès P	■						
	Excès K	■			■			
	Excès Mn						■	
	Excès Fe	■					■	
	Excès S						■	
	Excès Cu	■		■	■			
	Excès Zn	■	■		■			
	Ca/Mg élevé			■				
Sol	Manque K							
	Calcaire actif					■		
	pH	> 6	> 7	> 7.3	> 7.3		> 7	< 6.5
	Lessivage							
	Baucoup C ou N							
	Peu de C ou N							
	Hydromorphie				■			
Climat	Froid	■			■			
	Chaud							
	Très humide			■	■			
	Vent	■						
	Fort ensoleillement			■	■			
	Faible aération			■				
	Sécheresse	■				■		

### 9.2 Le Fer

- **Conditions de la carence :** Sol calcaire, pH élevé, excès de Cu, Mn, Mo; saturation en eau
- **Prévention :** Porte greffe résistant, engrains acidifiants, engrais verts, drainage, bonne irrigation, nématicides, éviter trop d'apports de P et d'N
- **Correction :** Les besoins annuels varient de 500 à 3 000 g/Ha. Au sol les formes minérales, sulfates et surtout oxydes sont peu efficaces car deviennent insolubles ce qui ne se passe pas avec les chélates :
  - Fe EDTA en sol peu calcaire et en goutte à goutte (5 fois moins par rapport à l'épandage en plein) et Fe EDDHA en sol calcaire
  - Pulvérisations : Sulfate de fer, chelate, nitrate de fer, sel de Mohr

En Corse des chloroses ont été observées (agrumes, kiwis) ou sont possibles sur certains sols sur miocène ou sur schistes et plus rarement en sols d'alluvions récentes calcaires.

### 9.3 Le Cuivre

➤ **Conditions de la carence :** Sol pauvre, à humus acide se décomposant mal, fort chaulage, forte teneur P, forte dose N, sol très argileux

➤ **Prévention :** Comme pour le fer

➤ **Correction :** Les besoins annuels varient de 25 à 150 g/Ha. Au sol 6 à 7 Kg de Cu /Ha sous forme sulfate de cuivre (25 à 35% Cu) ou oxychlorure (50%), en pulvérisations foliaires (moins fréquent) sous forme d'oxychlorure ou chélate. Attention aux excès.

En Corse il peut y avoir des niveaux faibles en cuivre pour des sols sur granites leucocrates. Les niveaux deviennent 5 à 10 fois plus élevés sous vigne mais n'atteignent pas encore des niveaux toxiques.

### 9.4 Le Manganèse

➤ **Conditions de la carence :** Sol pauvre en Mn ou acide et lessivé; sol neutre ou alcalin (surtout peu tassé et riche en microorganismes) ; sol riche en matières organiques peu décomposables, trop de chélate de fer.

➤ **Prévention :** Eviter des chaulages importants, de tasser les sols, les engrains verts, les scories.

➤ **Correction :** Les besoins annuels varient de 50 à 1 000 g/Ha. Au sol le sulfate de manganèse est le plus efficace (20 à 100 Kg de Mn/Ha) mais devient rapidement peu assimilable.

Pulvérisation foliaire : sulfate de manganèse (0,3 à 0,7 kg Mn/Ha) mais aussi produits phytosanitaires, et Mn EDTA plus efficace.

En Corse la carence existe, moins fréquente que pour le zinc (agrumes). Elle est fortement corrélée au pH et peut apparaître à un pH voisin de la neutralité, même en sol riche en manganèse comme les sols rouges d'alluvions anciennes. Les sols acides ne montrent pas de carence mais quelquefois des excès, avec chlorose de la vigne. Cet excès en sol acide peut être fortement accentué avec l'apport de matières organiques.

L'apport d'engrais acidifiant comme l'ammonitrat en sol rouge de la SRA augmente le taux de manganèse qui devient alors satisfaisant.

Il y a une plus forte alimentation manganique sous goutte à goutte, surtout avec des eaux d'origine granitique qui acidifient le sol.

### 9.5 Le Zinc

➤ **Conditions de la carence :** Sol pauvre ou épuisé (sableux acide), chaulage excessif ainsi que fort apport de P, pauvreté en matières organiques; Excès d'humidité, basse température, mauvaise structure du sol (tassé, nivellé..)

➤ **Prévention :** Engrais acidifiants, éviter chaulage excessif et fort apport P, bonne structure et engrais verts, éviter N uniquement ammoniacal

➤ **Correction :** Les besoins annuels varient de 100 à 600 g/Ha. Au sol 3 à 5 Kg de Zn /Ha sous forme de sulfate ou de chélate EDTA en sol calcaire.

En pulvérisations foliaires (moins utilisé) : sulfate de zinc neutralisé, chélate de zinc

En Corse la carence est fréquente (agrumes). Le zinc assimilable se trouvant dans l'horizon humifère, l'érosion du sol et/ou les feux importants peuvent fortement diminuer ces teneurs. Par contre les zones de concentration du bétail peuvent être fortement enrichies (excès ?)

## 9.6 Molybdène

- **Conditions de la carence :** Sol acide (< 5,5) ; lessivage en sol neutre ou alcalin, sols riches en Fer, pauvre en matières organiques (ou tourbeux), en sol sec, riche en soufre, en Cuivre.
- **Prévention :** Amendements en sol acide et engrais alcalinisant en sol peu acide. Utilisation de scories, P abondant, éviter les sulfates.
- **Correction :** Les besoins annuels varient de 0,5 à 20 g /Ha Sol 0,1 à 1 Kg de Mo /Ha sous forme de molybdate d'ammonium (54% Mo) ou en foliaire ou en combinaison avec du cobalt sur légumineuses. En foliaire, entre 150 et 700 g de molybdate de sodium (39% Mo) ou d'ammonium.  
Ne pas dépasser les doses indiquées, sur fourrages surtout.

En Corse la carence en Mo a été observée (Agrumes) et est très préjudiciable à l'alimentation azotée. Elle est importante en sol acide, riche en fer, en éléments lourds comme Ni. Cette carence augmente avec l'apport de sulfate.

## 9.7 Bore

- **Conditions de la carence :** Sol pauvre ou appauvri par lessivage (sol sableux pauvre en matières organiques et acides), chaulage; forte luminosité et sécheresse; forte alimentation azotée et calcique
- **Prévention :** arrosage; apport de fumier, engrais vert, éviter des apports importants d'amendements calcaires
- **Correction :** Les besoins annuels varient de 20 à 400 g /Ha. Les apports de correction de carence sont plus importants. Au sol 0,3 à 3 Kg B/Ha sous forme de borate de soude (pentaborate à 18% B) borax (11% B) et Solubor (20% B). Ce dernier est utilisable aussi en pulvérisation foliaire ainsi que l'acide borique (17,5%) à la dose de 0,1 à 0,5 Kg/Ha de B. Attention aux excès (sur agrumes, vigne, pêchers)

En Corse les niveaux de bore sont souvent faibles et des carences ont été observées sur différentes cultures (oliviers, tomates, pommier, vigne). Le bore soluble peut être lessivé en sol léger, caillouteux, acide. Une humidité suffisante est nécessaire et l'alimentation est supérieure en aspersion par rapport au goutte à goutte, comme pour le calcium et le phosphore, contrairement à certains autres éléments (Mn, K).

## X LES ENGRAIS COMPOSÉS

### 10.1 Les différentes formes d'engrais

Formés de la combinaison en usine des divers engrains simples ou binaires, ils ont des formules très variées suivant les cultures envisagées : 0-15-30 ; 0-14-28 ; 0-20-20; 0-25-25; 10-10-20; 17-17-17; 22-11-11; 7-15-30; 7-14-28 ; 25-5-16 pour irrigation fertilisante etc.

Pour faire soit même une solution fertilisante pour le goutte à goutte on utilise le phosphate monoammonique 12.49 + nitrate de potasse 13.44 + nitrate d'ammoniaque 33.5 avec une eau peu calcaire ou acidifiée.

### 10.2 Les mélanges possibles

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0
2	0	+	0	+	0	+	0	+	+	+	-	+
3	-	0	+	0	-	0	+	-	0	0	+	-
4	0	+	0	+	-	0	+	-	+	+	+	-
5	0	0	-	-	+	+	-	+	+	0	-	+
6	0	+	0	0	+	+	-	+	+	+	+	+
7	-	0	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
8	0	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+
9	0	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0
10	0	+	0	+	0	+	+	+	+	+	+	0
11	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	0
12	0	+	-	-	+	+	-	+	0	0	0	+

1 Nitrate de Ca

- Mélange interdit

2 Nitrate de Na,K

0 Mélange permis lors de l'épandage

3 Nitrate de NH4, ammonium

+ Mélange permis

4 Sulfate de NH4

5 Cyanamide calcique

6 Phosphate calciné, PHospal

7 Superphosphates

8 Scories, phosphates naturels

9 SO4K2

10 KCL

11 Fumiers, engrais organiques

12 Chaux, marnes, craies

### 10.3 Amendements et engrais organiques

N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO en 0/00 de matières fraîches

Amendement	MS%	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Paille	85-95	3-5	1-2	6-30	1-8	0.9
Fumier Cheval	25-30	5-7	2-4	5-7	6-10	2.5
Fumier ovin	35-40	6-7	2-4	7-9	6-10	2.5
Fumier Bovin	20-25	3-6	2-3	4-6	6-10	2
Fumier Porcin	25-30	2-6	1-3	2-7	4-8	
Fumier volaille	40-50	6-30	10-18	8-10	20-25	3
Compost frais	65-80	4-6	4-5	4-6	20-50	
Compost fermenté	65-80	5-10	4-8	4-10	30-60	3
Purin	1-2	2.5	4			
Lisier Bovin	10-15	2.5-3.5	1-2	5_6	3	1
Lisier Porc	10-15	2.5-5	1.5-4	2.5-4	3-4	1-2
Marc de raisin	35-45	6-8	2-4	4-6	3-6	1-2
Algues	20-30	4-8	1-3	10-20	3-10	1-2
Tourbe blonde	85-95	5-22	0.3-1	0.1-1	2-4	1
Boues épuration	52-85	10	27	1.3	83	5
Humus industriel	50		4	1		1

## XI LES BESOINS DES DIFFERENTES CULTURES

### 11.1 Le tournesol

#### ➤ Le sol

- pH de 6 à 7
- sol meuble en profondeur,
- sol profond. Il peut puiser l'eau jusqu'à 2 à 3 m en desséchant fortement le sol, au-dessous du pF 4.2 sur les 50 premiers cm, surtout en sol argileux. Il peut utiliser 100% de la réserve utile. En condition de stress qu'il tolère mieux que d'autres plantes, l'efficience de l'eau peut augmenter de 20 à 50%. Il est modérément tolérant à la salinité.
- Il extrait bien N des couches profondes et exporte beaucoup d'azote dans ses graines. Il y a peu de reliquats de nitrates. Pour 25 qx il restitue 7T de matières sèches soit 1 200 à 1 500 Kg d'humus (varie peu par rapport au rendement).

#### ➤ Les prélevements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI	Grain	3,5	1,2	0,85	0,3	0,75
Kg/QI	Total	5,5	1,75	11	6,4	3
35 QX	Exporté	80	44	30	5	15
35 QX	Restitué	80	16	370	195	75

### ➤ Les besoins en engrais

**N** : Exigeant en N entre les stades 5 paires de feuilles et début floraison mais compte tenu de son enracinement profond mis en place en 40-45j extrayant l'azote de façon importante (si bonne porosité du sol) et des risques liés à des niveaux importants d'azote (verse, Botrytis, Sclerotinia, retard récolte, baisse de la teneur en huile) on apportera au semis 50 à 80 u suivant l'aptitude du sol à fournir de l'azote.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 60 u sauf sol pauvre 120 u

**K<sub>2</sub>O** : 110 u jusqu'à 300 u en sol pauvre. Il faut apporter plus que les exportations pour satisfaire les besoins instantanés très importants

**CaO/MgO** : la carence Mg existe. En MgO l'entretien en sol correctement pourvu est de 35 à 80 u/Ha/an du sol argileux au sol sableux et de 115 à 155 u pour les mêmes sols à niveaux faibles.

**Oligo éléments** : Carence en Bore très importante, autres carences mineures (Manganèse)

## 11.2 Le Soja

### ➤ Le sol

- pH 6 à 6,5. Un pH basique (+10% calcaire actif) le fait chloroser et un pH trop acide diminue la pérennité du rhizobium.
- Il est modérément tolérant aux sels.
- Il peut pousser sur une large variété de sols bien drainés, surtout sol argilo-limoneux, aussi sur tourbe, sauf ceux qui sont très sableux.
- Il est mieux adapté à l'argile que le maïs.
- Il peut exploiter le sol jusqu'à 1 m (si bien structuré, sans obstacle, sans une forte irrigation).
- La présence d'une nappe phréatique peu profonde peut nuire au rendement.
- Il peut résister à la sécheresse.

Le soja permet une restructuration du sol. Il restitue 1 300 à 1 600 Kg d'humus (30Qx). Les risques de pertes de nitrates sont plus limités ? Reliquats fin hiver 60 à 135 Kg de NO<sub>3</sub> sur 90 cm

### ➤ Les prélèvements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI	Grain	5,3	1,4	1,7	0,15	0,3
Kg/QI	Total	9,5	2,9	5,7	2,2	1,7
30QX	Exporté	172	42	50	4	10
30QX	Restitué	128	42	120	60	42

### ➤ Les besoins en engrais

**N** : Pas d'apport d'N (les besoins importants sont fournis à 70-80% par les nodules et le reste par les reliquats azotés en début et fin de cycle) sauf :

- si l'inoculation a échoué la 1ère année : Apporter entre le début de floraison et le début de formation des gousses : 100 u (terre profonde humifère)  
150 u (terre moyenne)  
200 à 250 u (terre légère)

- en cas de mauvaises conditions de nodulation (trop de reliquats azotés, sol tassé, excès de calcaire actif, manque de fer) : Apporter 100 u au début de la formation des gousses si alimentation en eau est satisfaisante et s'il y a peu de risque de verse et de Sclerotinia.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 50 u sol normal, 120 u en sol pauvre

**K<sub>2</sub>O** : 60 u sol normal, 180 u en sol pauvre

**CaO/MgO** : faibles exportations

**Oligo éléments** : Peu sensible aux déficiences en Cu et B, moyennement sensible à celles en Zn et Mo, sensibles à celles en Mn et Fe

**Remarque** : Les exportations en soufre sont assez importantes.

### 11.3 Le Maïs grain

#### ➤ Le sol

- pH de 5 à 8
- modérément sensible à la salinité
- peut venir sur une large variété de sols mais préfère les sols bien drainés limoneux profonds
- vient mal sur les argiles denses et en sol très sableux
- il a des possibilités d'extraction d'eau du sol limitées. Il extrait peu l'eau au-dessous de 40 cm de profondeur. Il extrait 30 à 40 mm d'eau en moins que le blé ou le Sorgho. Une compaction d'un horizon du sol limite les racines dans l'horizon inférieur (effet d'ombre). L'efficience de l'eau est forte mais décroît rapidement avec la sécheresse (résistance racinaire élevée, plus que celle du tournesol) l'enfoncissement des résidus restitue de l'humus mais le bilan est un peu négatif.

#### ➤ Les prélèvements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI	Grain	1,5	0,75	0,5	0,02	0,20
Kg/QI	Total	2,2	1	2,08	0,50	0,45
≈100QX	Exporté	137	60	40	20	17
≈100Qx	Restitué	60	20	170	50	20

#### ➤ Les besoins en engrais

**N** : Sans données précises sur N minéral, apporter 160 à 180 u N pour 100 Qx en sec et 210 à 230 u en irrigué. En sol sableux, superficiels, froids, non irrigués, mettre 20 à 30 u au semis et le reste localisé en profondeur au stade 6-8 feuilles.

En sol plus profond et plus riche en éléments fins, un seul apport avant le semis peut suffire mais le fractionnement peut apporter quelques quintaux en plus. Les besoins importants vont de 10-15j avant à 20-30j après la floraison male. Il faut 2,3 Kg N /QI de maïs ou 1,3 Kg N / T de Matières sèches.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 80 u en sol bien pourvu jusqu'à 200 u en sol pauvre. Apporter P même en sol très riche (Les besoins sont élevés entre le stade 6 et 8 feuilles alors que les racines sont peu développées -idem pour K). En sol pauvre ou froid, 30 à 40 u seront apportées en fumure starter soluble avant le semis

**K<sub>2</sub>O** : 80 u en sol riche jusqu'à 200 u en sol pauvre. Les besoins instantanés sont importants

**CaO/MgO** : Peu d'exportations en CaO. En MgO l'entretien en sol correctement pourvu est de 30 à 75 u/Ha/an du sol argileux au sol sableux et de 70 à 115 u pour les mêmes sols à niveaux faibles

**Oligo éléments** : La déficience en Zinc est la plus importante puis celle en cuivre (nettement moins sensible que le blé)

**Remarque** : Sensible aux risques d'intoxication ammoniacale. Le maïs est très sensible aux apports de matières organiques 30 à 40 T recommandés

**Cas particulier du maïs ensilage** : Plante exigeante où les exportations arrivent presque au niveau des besoins totaux de la plante.

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI MF	Tout	0,22	0,15	0,40	0,10	0,10
15T MS	Exporté	210	75	215	60	33

Pour un rendement de 40T/ha on apportera 110 à 150 u de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 210 à 260 u de K<sub>2</sub>O suivant que la richesse du sol est correcte à un peu faible. L'apport d'azote sera de 130 à 160 u/Ha après une fumure organique de 30 à 40T/ha et 200 à 230 u autrement. En sol à bonne minéralisation et à apports réguliers de matières organiques, 50 u/Ha suffisent.

## 11.4 Les céréales d'hiver

### ➤ Le sol

#### Blé

- pH 5,5-6 à 7, modérément tolérant à l'acidité
- supporte des sols très divers, préférant les textures moyennes, limono-argilocalcaires et argilosiliceuses, proches de la neutralité. Les sols argileux peuvent amener des destructions en hiver, le démarrage est plus lent et l'asphyxie fréquente au printemps Il peut y avoir déchaussement hivernal après gel en terre calcaire.
- éviter les sols creux
- les terres riches en humus (tchernozem) sont les meilleures
- éviter les sols tourbeux riches en sodium, magnésium ou fer
- un sol trop sableux, acide, n'est pas favorable.
- il supporte assez bien la présence d'une nappe phréatique à 0,6-0,8 m (limon sableux à limon) ou 0,8-1m (argile) ainsi que sa remontée pour une brève période à 0,25 m. Si la nappe reste à 0,5 m durant longtemps, le rendement diminue de 20 à 40%
- il est modérément tolérant à la salinité
- il a une capacité remarquable à assécher le sol (lié probablement à l'ajustement osmotique des racines). La RFU peut être prise comme 2/3 RU de 0 à 60 cm, 1/2 de 60 à 90 cm puis 1/3 en fonction de l'installation des racines fines qui peut être limitée par une semelle de labour, un excès d'eau ou au contraire un sol sec, une densité du sol importante. En sol de limon profond, la RFU peut aller jusqu'à

80-85% RU sur 1 à 2 m de profondeur. En surface le sol peut se dessécher plus bas que le point de flétrissement permanent. Le stockage profond permet une meilleure utilisation de l'eau qu'une même quantité stockée plus superficiellement.

#### **Triticale**

- rustique et supporte très bien l'asphyxie radiculaire. Il a des racines plus développées que le blé et fournit plus de matières organiques au sol. Les essais en Corse ont montré un très bon comportement du triticale.

#### **Avoine**

- plus sensible à la verse que le blé.
- la moins exigeante pour le sol (nature physique, acidité, fertilité),
- tolère mieux que le blé ou l'orge les terres soulevées et extrait les éléments fertilisants par un système racinaire plus développé que le blé ou l'orge.
- les conditions optimales de culture sont les mêmes que celles du blé (limon profond bien alimenté en eau)
- elle tolère les terres lourdes et humides (ou le blé souffre) et tolère l'acidité moyennement.

#### **Blé dur**

- sensible à l'excès d'eau
- exclue les sols lourds, ressuyant mal au printemps. Très sensible à la verse. Moyennement tolérant à la salinité comme le blé. Il valorise mieux l'eau que le blé.

#### **Orge**

- pH 6,5 à 7,8. L'orge est plus tolérant que les autres céréales aux sols basiques et moins tolérant aux sols acides
- s'accorde mal des sols lourds, argileux, froids (nitrifiant lentement au printemps limitant ainsi le tallage)
- préfère les terres légères, peu profondes, à sous-sol calcaire (mieux que le blé) s'ils sont bien drainés et se réchauffent vite.
- donne de bons rendements en limons comme le blé si elle ne verse pas
- nécessite des sols non creux
- est plus précoce et a besoin de moins d'eau que le blé
- est mieux adapté que le blé ou le triticale aux conditions sèches
- est moyennement tolérant à la salinité (plus que le blé)

#### **Seigle**

- craint l'humidité stagnante et demande un bon drainage
- est tolérant à l'égard de l'acidité du sol, pH optimum voisin de 5,5

#### ➤ **Les prélèvements du blé**

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI	Grain	1,9	1	0,6	0,06	0,15
Kg/QI	Total	2,3	1,2	1,8	0,40	0,25
70QX	Exporté	130	70	40	4	10
70QX	Restitué	30	14	90	28	7

## ➤ Les besoins en engrais

**N** : Les besoins jusqu'au début montaison sont faibles (40 à 50 u) puis deviennent importants durant les deux mois de montaison du stade épi 1 cm à la floraison. Deux dates d'apport sont préconisées :

- 1er apport D1 : Pour fournir les 30 à 90 kg absorbés de la sortie hiver au stade épi à 1 cm il faut les apporter en janvier :

Cas général (rotations céréalières) : 50 u/Ha

En cas de précédents riches et minéralisation hivernale forte : 0 à 40 u/Ha

En sol hydromorphe et à état défavorable : 80 u/ha

Si blé à très haut potentiel : 80 u/ha en 2 fois

Si population inférieure à l'optimum : < 40 u/Ha

- 2ème apport D2 : Il faut fournir au stade épi 1 cm (tout début de la montaison) le reste des besoins en azote soit : dose totale - azote apporté.

La dose totale DT est calculée en :

- ajoutant aux besoins du blé (3u d'N par QI soit 3\*RD) les reliquats azotés R après récolte  
et en - retranchant la fourniture d'azote S par le sol (reliquats sortie hiver, minéralisation de l'humus, des résidus organiques, du fumier)

$$DT=D1+D2= 3*RD+R-S$$

On peut utiliser également un coefficient d'utilisation de l'azote K pour le second apport (à la place du reliquat)

$$D2 = (3*RD-S)/K -D1$$

Soit pour            K = 0,8 (varie de 0,7 à 1)  
                      S= 80 u (varie de 50 à 150 u)  
                      D1 = 50 u (varie de 0 à 80 u)  
                      D2 = 50 u

soit au total 100 u.

Ce total peut varier ici de 140 u (50+90) en sol pauvre en nitrates à 50 u (50 + 0) en sol riche.

D'autres périodes d'apport existent :

- un apport automnal : les besoins étant faibles(10 à 15 u) les réserves d'N minéral du sol suffisent. Le développement n'est pas accéléré par un apport d'azote. La décomposition des pailles est accélérée mais les risques de lessivage augmentent.

- un apport tardif près de l'épiaison qui peut améliorer la richesse protéique du grain

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : Besoins importants après le stade floraison. Comme seulement 10 à 20% de l'apport est utilisé durant la culture qui suit, l'engrais peut être apporté l'année de la culture ou en tête de rotation mais dans ce dernier cas 20 à 30 u de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble avec le 1er apport d'N sortie hiver peut servir de fumure starter. Apporter 90 à 190 u/Ha suivant la richesse du sol et rajouter 10 u si les pailles sont enlevées.

**K<sub>2</sub>O** : Les besoins sont à leur maximum avant la floraison. Ensuite la quantité totale de potasse dans la plante diminue. L'apport de potasse varie de 90 à 200 u suivant la richesse du sol si les pailles sont enfouies et de 150 à 260 u si les pailles sont enlevées.

**CaO/MgO** : En MgO l'entretien en sol correctement pourvu est de 30 à 75 u/Ha/an du sol argileux au sol sableux et de 50 à 95 u pour les mêmes sols à niveaux faibles.

**Oligo éléments** : Peu sensible à la carence en B, Mn, Fe (orge et avoine plus sensible), Mo (avoine un peu plus sensible) peu à moyennement sensible à Zn, sensible à très sensible à la carence en cuivre et en manganèse (orge un peu moins sensible)

Le seigle est très peu sensible à toutes les carences.

**Remarque** : Bilan des différences suivant les cultures

**Orge** : Le 1er apport n'est pas nécessaire (au maximum 30 u par précaution) dès qu'on peut rentrer dans la parcelle. Les besoins sont plus faibles que pour le blé (2,3 u N/QI) et comparables à ceux du seigle et de l'avoine.

**Blé dur** : On fait un troisième apport de 30 u trois semaines après le stade "épi à 1 cm"

Les besoins en azote sont importants (3,5 u N /QI) et une mauvaise alimentation en N après floraison provoque le mitadinage (texture farineuse et non vitreuse de l'albumen)

**Triticale** : Besoin en N semblable à celui du blé (3 u N/QI), besoins en K un peu plus importants surtout lorsque les pailles sont enlevées.

Les exportations en soufre peuvent être importantes notamment pour les blés (50 Kg/Ha au moins) et peuvent nécessiter un apport de 25 u de SO<sub>3</sub> (risque faible de blocage ou lessivage) ou 40 u si les risques sont importants.

## 11.5 Sorgho grain

### ➤ Le sol

- préfère un sol profond à bonne réserve d'eau ou sol superficiel irrigué permettant une implantation rapide de la culture à fort système racinaire
- peut venir en sol léger sableux.
- s'adapte à des pH très différents pH 4,5-5 à 8 -8,5 mais est sensible à la toxicité en Al et à la chlorose en sol calcaire
- a une moyenne à bonne tolérance au sel (entre l'orge plus tolérante et le maïs moins tolérant)
- préfère sol non battant (risque de mauvaise levée)
- tolère des conditions plus sèches et des sols moins filtrants que le maïs
- peut pousser sur des sols argileux gonflants et tolère relativement bien de courtes périodes d'engorgement, préférant cependant des sols sains.
- son système racinaire peut atteindre 1 à 2 m de profondeur et utiliser facilement 55% de l'eau disponible, et jusqu'à 80% en fin de culture. Si l'irrigation est peu fréquente, il prend 60% de l'eau sur le premier m et 40% en profondeur. Si l'irrigation est fréquente, il ne prend que 10% de l'eau au-dessous de 1 m et 90% au-dessus. Il valorise très bien l'eau avec utilisation de 20 à 50% d'eau en moins que le maïs. Il laisse d'importants résidus qui immobilisent les nitrates du sol.

### ➤ Les prélèvements du blé

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI	Grain	1,25	0,62	0,52	1,15	0,75
Kg/QI	Total	2,6	0,92	3,45		
60qx	Exporté	75	40	30		
60Qx	Restitué	90	20	210		

### ➤ Les besoins en engrais

**N** : Prélevé à un rythme rapide du début à la fin du stade gonflement de la tige. La totalité de N 80 à 120 Kg est apportée avant le semis. Résiste à la verre mécanique En culture irriguée on peut apporter 20 à 50 u en plus et on pourra réaliser un second épandage en début de montaison.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 60 à 80 u en sol normalement pourvu, 50 u en plus en sol pauvre

**K<sub>2</sub>O** : 80 à 100 u en sol normalement pourvu, 150 u autrement

**Oligo éléments** : Très sensible à la carence en Zn comme le maïs. Il est sensible à la carence en Mn comme l'avoine et le blé, beaucoup plus que le maïs. Il répond au cuivre moyennement comme le maïs. Il est peu sensible aux carences en B, Mo. Le sorgho comme le maïs est plus sensible à la déficience en Fer (chlorose) que la plupart des dicotylédones.

**Remarque** : L'emploi de fumier est toujours bénéfique

**Sorgho fourrager** : Il a des besoins très supérieurs à ceux du sorgho grain. Une coupe exporte 126 N, 69 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 196 K<sub>2</sub>O, 90 CaO et 73 MgO. La fertilisation est de l'ordre de :

**N** : 65 u avec fumier ou 100 u sans fumier au semis et 50-80 u après une coupe. Pour de l'ensilage l'apport avant semis en sol à faible reliquat sera de 150 u

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 90 u avec fumier et 110 u sans apport

**K<sub>2</sub>O** : 120 u avec fumier et 230 u sans apport

## 11.6 Pois Feverole

### ➤ Le sol

- bien ressuyé (comme pour la plupart des légumineuses)
- les terres asphyxiantes ou battantes sont défavorables
- un sol profond, bien structuré, limoneux ou argilo-calcaire ou argilosiliceux est souhaitable (surtout si cultures de printemps)
- les terrains caillouteux ou pierreux rendent la récolte du pois difficile (pour les variétés sans vrille)
- pH 5,5 à 6,5
- craint fortement la salinité du sol
- laisse 40 à 80 Kg d'azote N
- le pois valorise bien l'eau dont les apports précoce avant floraison facilite le travail des nodosités (Alimentation azotée). Le pois peut utiliser 40 à 60% de la RU sur 80 cm à 1 m s'il n'y a pas d'obstacles structuraux.

### ➤ Les prélèvements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI	Grain	4,2	1,37	1,45		
Kg/QI	Total	5,7	1,82	5	1,25	0,22
35 Qx	Exporté	145	40	50		
35 Qx	Restitué	62	30	135		

## ➤ Les besoins en engrais

**N** : L'absorption de tous les éléments est très rapide en phase de croissance et de floraison. L'apport d'azote par engrais n'est pas nécessaire (fixation N atmosphérique et N minéral du sol) sauf conditions particulières (sol pauvre en matières organiques, humide, pailles enfouies) où 30 à 50 u d'N au départ facilite l'implantation.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 70 à 80 u en sol correct, 50% en plus en sol pauvre. Le pois est sensible à la carence

**K<sub>2</sub>O** : 100 u en sol correct, 150 u en sol pauvre.

**CaO/MgO** : En MgO l'entretien en sol correctement pourvu est de 30 à 75 u/Ha/an du sol argileux au sol sableux et de 50 à 90 u pour des sols aux mêmes textures mais à niveaux faibles. Le pois est assez sensible à la carence en Mg

**Oligo éléments** : Peu étudié

Pour le pois, il y a quelques cas de carence en Cu et des réponses positives à Zn et Mo

Pour la féverole, il peut y avoir carence en Mn, Cu, Zn et Mo. Les apports demandent à être justifiés économiquement. Le pois est sensible à la carence en fer.

**Remarque** : Les exportations en SO<sub>3</sub> sont assez importantes (100 kg SO<sub>3</sub>/ha) et peuvent nécessiter des apports de 20-40 u SO<sub>3</sub> (risque faible de lessivage ou blocage) à 40-80 u en sol à risques mais les carences sont rares

## 11.7 Colza d'hiver

### ➤ Le sol

- éviter les sols acides
- il faut un sol profond (racine pivotante) type limon de plateaux
- il s'accorde bien avec toutes sortes de terres diverses si le travail du sol assure une bonne structure au semis et en hiver.
- l'effet de la culture sur le sol est positif par couverture en hiver et diminution des pertes en nitrates.
- il donne 8 à 10 T de matières sèches soit 1600 à 1800 kg d'humus pour un rendement de 30 Qx.

### ➤ Les prélevements du blé

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI	Grain	3,7	1,5	1	0,8	0,4
Kg/QI	Total	5,3	2	9		1,4
35 QX	Exporté	110	47	35	17	14
35 QX	Restitué	134	41	315	157	73

## ➤ Les besoins en engrais

**N** : A l'automne pas d'apport sauf si :

- 1- il n'y a pas de reliquats (pailles enfouies) : mettre 30 à 40 u au semis ou à la levée
- 2- la végétation est en retard. Pour rattraper partiellement ce retard, apporter 30 à 40 u au maximum 3 à 5 semaines après la date optimale du semis

Au printemps les besoins sont très importants et la minéralisation du sol insuffisante. Il faut fractionner 2 à 3 fois :

- le 1er apport dès la reprise
- le second à la montaison
- le troisième avant la floraison.

L'excès d'azote favorise la verse.

	N totat<200 u	N total>200 u	N minéral du sol	Rendement 25 à 30 Qx	Rendement >30 Qx
1er apport	30 à 50%	30%	Forte	150-170 u	180-200 u
2ème apport	50 à 70%	50%	Moyenne	180-200 u	210-230 u
3ème apport		70%	Faible	210-230 u	240-260 u

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 70 u en sol bien pourvu à 150 u en sol pauvre. Le colza est assez sensible à la carence en P

**K<sub>2</sub>O** : Les besoins de pointe sont très élevés. Excepté en sol riche où l'on compensera les exportations + pertes soit 60 à 80 u, on apportera en sol moyen 120-150 u et en sol pauvre 200-250 u

**CaO/MgO** : En MgO l'entretien en sol correctement pourvu est de 25 à 70 u/Ha/an du sol argileux au sol sableux et de 105 à 130 u pour les mêmes sols à niveaux faibles

**Oligo éléments** : Les carences sont peu fréquentes et ne concernent que le bore et le molybdène. Il faut alors intervenir très rapidement

**Remarque** : Le colza est exigeant en soufre. Il absorbe, pour 35qx, 220 Kg de SO<sub>3</sub>/Ha qui vient de la minéralisation de l'humus. Elle peut être insuffisante et alors faire perdre 5 à 10 Qx. On apportera alors 75 u de SO<sub>3</sub> à la montaison. Un excès peut augmenter la teneur en glucosinolates.

**Colza fourrager** : peut nécessiter 70 à 80 u d'azote, 80 à 120 u de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et autant ou plus de K<sub>2</sub>O. (jusqu'à 200-300 u en sol pauvre)

## 11.8 Cultures fourragères - légumineuses

### ➤ Le sol

#### La luzerne

- craint l'acidité,
- craint l'excès d'humidité (sauf type marais) et les sols asphyxiants
- résiste bien à la sécheresse (sols profonds, non acide en profondeur et apport de P et K en profondeur)

- importance du chaulage si le pH est < 6,5 (sauf peut être en sol riche en matières organiques diminuant l'effet de niveaux élevés en manganèse puis en aluminium obtenu lorsque le sol s'acidifie).
- modérément sensible à la salinité

### **Le trèfle violet**

- s'accommode mieux que la luzerne de sols variés, même acides ou trop humides en hiver
- il reste cependant sensible à l'excès d'eau mais est plus sensible encore à la sécheresse
- la différence de comportement à l'acidité peut être due aux bactéries symbiotiques du trèfle moins sensibles à l'acidité que celles de la luzerne. Il faut un PH > 5,5
- le trèfle blanc est comparable au trèfle violet mais est plus rustique avec un pH > 5.
- modérément sensible à la salinité (moins que la luzerne)

### ➤ **Les prélèvements de la luzerne**

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI de MS	Foin	2,3	0,5-0,7	2,-3	2,5-3,8	0,15-0,4
12T MS	Total	326	96	240-360	240	60

\*A la SEI, une analyse fourragère donne 2,25% de K soit, pour 14,7 T/Ha de MS une exportation annuelle estimée à 330 K ou 400 u de K<sub>2</sub>O.

### ➤ **Les besoins en engrais**

**N** : L'azote est fourni par le rhizobium (inoculation à la création d'une luzernière en conditions difficiles ou mieux systématiquement). On peut faciliter le démarrage du semis (non encore symbiotique) par 20 à 30 u d'N (sol pauvre en matières organiques).

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : Apporter à la création en enfouissant, 100 u (Trèfle) ou 150 u (Luzerne) puis chaque année suivante d'exploitation 70 u (Trèfle) ou 100 u (Luzerne) pour une exploitation fauche/pâture (10 à 20 u de plus si pas de pâturage)

**K<sub>2</sub>O** : Apporter à la création avec enfouissement si possible, 150 u (trèfle) ou 230 u (Luzerne) puis chaque année suivante 100 u (Trèfle) ou 150 u (Luzerne). Les besoins sont beaucoup plus importants en cas de fauche seule, sans restitution de potasse (200 à 400 u)

Les restitutions de K par les animaux (fécès et surtout urine) sont localisées et enrichissent fortement et localement le sol. Ceci peut entraîner, en Corse où K est peu retenu, de fortes pertes en sol léger, peu humifère (sol granitique) nettement acide.

**CaO/MgO** : En MgO l'entretien en sol correctement pourvu est de 55 à 100 u/Ha/an du sol argileux au sol sableux et de 75 à 120 u pour les mêmes sols à niveaux faibles. L'exportation de CaO est importante. Pour la luzerne apporter 500 à 750 u de CaO/Ha à l'implantation puis tous les 2 ans à l'automne.

**Oligo éléments** : La luzerne est peu sensible à la déficience en Zn, moyennement sensible à celles en Fe et Cu et nettement plus sensible à celles en Mn et Mo et surtout B. Il en est de même pour le trèfle violet, plus sensible cependant que la luzerne à la carence en Mo.

**Remarque :** Les besoins en soufre sont assez importants ( $\approx 100$  kg/ha de SO<sub>3</sub>) et peuvent nécessiter des apports de 20-40 u (risque faible de lessivage ou blocage) à 40-80 u (risques élevés).

## 11.9 Cultures fourragères - graminées

### ➤ Le sol

Les graminées poussent correctement à des pH de 5 à 6 mais il est préférable d'être à un pH > 5,5 pour une production faible et > 6 pour une production moyenne à élevée.

L'indifférence au pH ne s'observe qu'à un niveau satisfaisant de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O mais en sol de mauvaise structure, les espèces ont du mal à s'implanter (sauf le ray grass d'Italie ≈ plante pionnier) et un amendement calcaire s'impose alors.

Le dactyle et la fléole sont moyennement sensibles à la salinité alors que les ray grass et la fétuque élevée sont moyennement tolérants.

La tolérance aux sols asphyxiants est faible pour le brome et le dactyle (comme pour les légumineuses), moyenne pour le ray grass d'Italie et bonne pour les fétuques, la fléole et le ray grass anglais. La fétuque des prés s'adapte le mieux aux inondations, même prolongées. Le ray grass a besoin de sols frais.

### ➤ Les prélèvements

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/QI MS	Pâturee	2	0,7	3	1,2
Kg/QI MS	Fauchée	2	0,6	2,5	2
12T MS	Exportée	240-420	72-108	192-540	18-42

### ➤ Les besoins en engrais

**N :**

- A la création de la prairie : 40 u
- Hiver ou sortie hiver : 80 à 150 u soit décembre-janvier pour les dactyles précoces et les fléoles janvier-février pour les dactyles tardifs et les ray grass d'Italie février-mars pour ray grass anglais

Les forts apports sont surtout pour l'ensilage.

- Après chaque exploitation, apporter 50 à 60 u soit après la 1ère exploitation de printemps, soit éventuellement en juin sur les espèces résistant à la sécheresse (dactyle et fétuque élevée) soit en fin d'été pour un pâturage tardif.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : à la création 100 à 150 u puis chaque hiver 80 à 120 u (pâture) ou 100 à 125 u (fauche)

**K<sub>2</sub>O** : à la création 100 à 150 u puis chaque hiver 80 à 120 u (pâture) ou 300 à 500 u (fauche).

**CaO/MgO** : Les forts apports d'engrais azotés favorisent les pertes de CaO qui peuvent être de l'ordre de 400 u CaO /an. L'apport en surface est peu efficace mais sera effectué si le pH est descendu au-dessous de 5,5

Dactyle et fléole sont moyennement sensibles à la salinité alors que le ray grass et la fétuque élevée sont moyennement tolérants.

**Oligo éléments :** Il y a peu de carences : carence en Cu sur ray grass et fléole

Des apports (essais INRA) de 150 u de P et K tous les 2 ans et de :

- 120 u d'N par an ont multiplié le rendement par 1,5\*
- 320 u d'N par an ont multiplié le rendement par 2

\* Ceci correspond pour 120 u N à une augmentation de 9,5 à 15 Kg de matières sèches /Ha/Kg d'azote pour 3 sols différents

## 11.10 Les prairies permanentes

### ➤ Caractérisation du potentiel de production

3 critères sont retenus :

#### **1. Excès d'eau en hiver et au printemps**

Excès d'eau NUL : sols filtrants ou très superficiels, éventuellement drainés

Excès d'eau MOYEN : sol à ressuyage lent; on peut entrer dans la parcelle durant les périodes sèches de l'hiver et du printemps

Excès d'eau IMPORTANT : on ne peut pas pénétrer dans la parcelle avant la mi-mars

#### **2. Importance de la sécheresse**

Sécheresse NULLE : production durant tout l'été sauf en années très sèches

Sécheresse MOYENNE : Généralement pas de production entre le 15 juillet et le 1er septembre sauf en années humides

Sécheresse FORTE : Pas d'herbe du 15 juin au 15 septembre

#### **3. L'altitude (à n'utiliser que s'il n'y a pas d'autres facteurs limitants)**

A : en plaine < 600 m      B : de 600 à 1200 m

#### *Types de prairies*

Sécheresse	Excès nul	Excès moyen	Excès important
Nulle	A <600 //B > 600	C	D
Moyenne	E	F	G
Forte	H	I	J

#### *Systèmes d'exploitation*

Exploitation printemps	Exploitation été	Système d'exploitation
PATURE	PATURE	1
PATURE	FAUCHE	2
FAUCHE	PATURE	3
FAUCHE	FAUCHE	4

➤ Les besoins en engrais

N:

1. Dose d'azote pour la première pousse de l'année au démarrage (fonction de la température hivernale) en u/Ha :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pât p	70	50	50		70	50		70	50	
Pât t	50	30	30		50	30		50	30	
Ensil	120	80	80	50	120	80	50	120	80	50
Foin	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Pât p et t = pâture précoce et tardif : 50u à apporter jusqu'au 15/4 sinon supprimer

2. Apport sur les repousses de printemps

- 60 u en pâture et foin,
- 80u en ensilage

3. Apport sur les repousses d'été en u/Ha

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pât	50	30	50	50	30	30	30			
Foin	70	50	70	70	50	50	50			

3. Apport après la dernière coupe

Déconseillé si hiver froid, possible si hiver doux sur prairie très dégradée où 50 u favoriseront le tallage et pourront permettre le rattrapage de la végétation avant l'hiver.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : Exportations de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> u /Ha

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	70	40	55	45	55	45	20	45	20	10
2	100	55	85	65	75	55	25	50	25	10
3	110	65	95	65	95	75	35	85	40	15
4	140	80	110	90	110	90	40	90	40	20

L'apport correspond aux exportations + 15 à 40 u en sol calcaire ou très acide + 50 à 100 u si le sol est pauvre et a besoin d'un redressement. L'apport sera enfoui à l'installation de la prairie ou en couverture.

**K<sub>2</sub>O** : Exportations de K<sub>2</sub>O u /Ha

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	210	120	165	135	165	135	70	135	70	30
2	300	165	265	205	215	275	90	150	75	35
3	330	195	275	205	275	235	120	255	135	55
4	420	240	330	270	330	270	140	270	140	60

L'apport correspond aux exportations :

+ 15 à 60 u pour compenser les pertes en sol moyennement argileux à très sableux ou très caillouteux  
+ 50 à 100 u si le sol est pauvre en potasse  
L'apport pourra être fractionné en 2 s'il est important (> 200 u)

En sol pauvre en K en Corse du Sud (K sol surface < 0,2 me/100 g) l'apport d'engrais potassique a fait augmenter la teneur en K du fourrage de 0,93 à 1,92%. Ce doublement de K permet un doublement du rendement et aussi de la teneur en K du sol (Test D. Damiani).

**CaO** : Exportations en u CaO/Ha/an. Eviter des apports > 1 000 CaO en une fois

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
CaO	500	400	500	400	500	400	250	400	250	200

## 11.11 La Vigne

### ➤ Le sol

Les plus hauts rendements sont obtenus sur sols fertiles et profonds. Néanmoins, sur des sols peu fertiles, peu profonds et caillouteux, la qualité peut être meilleure.

On peut la trouver sur sables du littoral (franc de pied si < 5% éléments fins) en évitant les sols sableux contenant des quantités importantes de sables fins qui peuvent devenir imperméables.

On y fait surtout des vins blancs (finesse et bouquet) mais aussi du raisin de table précoce.

Les sols argileux (> 25% A) ne peuvent convenir que pour les vins ordinaires sauf exceptions (Sauternes avec plus de 100 Km de drains).

Le calcaire est favorable à la qualité (plus de parfum des vins blancs -qualité du Cognac).

La matière organique donne des vins plus colorés, plus riches en tanins mais favorise la vigueur et le rendement au détriment souvent de la qualité et de la précocité.

Les sols caillouteux profonds sont favorables à la qualité mais augmentent les risques de gel.

Les terres d'alluvions récentes fertiles donnent une qualité médiocre de vins en régions septentrionales mais pas forcément en régions méridionales.

Les sols trop humides doivent être drainés mais certains PG résistent mieux que d'autres et seront conseillés (Paulsen 1103, so4..).

La sensibilité à la chlorose varie fortement suivant les porte-greffes : Du plus au moins sensible la limite de tolérance en % calcaire actif est :

Riparia	<7%
4453	<9%
3309	<11%
Lot et R140	<14%
99R,110R,SO4, 1103P	<17%
41B	< 40%

La vigne est modérément sensible à la salinité (gène à 0,1 0/00Nacl, 3309 meurt à 0,4 0/00, Lot à 0,7, puis 41B, 1103P, 99R et 110R).

Les plus résistants (<1 0/00) sont le 1616 et le 216-3.

La vigne est plus ou moins sensible à la sécheresse suivant le choix des porte-greffes : Résistants 110R, 140 Ru, 1447P, puis moins résistants 99R et 1103P suivi par 4453m. Les Riparia sont les plus sensibles.

### ➤ Les prélèvements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Grappes	par hecto	0,4	0,2	0,56		
Sarments	par hecto	0,15	0,07	0,20		
Racines	par hecto	0,04	0,02	0,06		
Feuilles	par hecto	0,20	0,10	0,20		
Total	par hecto	0,79	0,39	1,02		0,20

### ➤ Les besoins en engrais

#### N :

0 à 60 u (vins fins, faible production)

0 à 100 u (vins courants, forte production)

L'apport peut être diminué :

- pour certains sols (riches en matières organiques et humides, à pH peu acide)
- pour des cépages vigoureux (Carignan, Grenache..).

L'apport sera augmenté :

- en sol pauvre
- en condition d'érosion
- en conditions climatiques défavorables
- pour des cépages faibles (Aramon, Cinsault) : En cas de faiblesse marquée, 80 à 120 u d'N seront apportées. L'apport se fait à l'automne et avant débourrement, rarement plus tard.

#### P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :

En sol correctement pourvu 40 à 60 u

Jusqu'à 100-120 u en sol pauvre et lorsque l'alimentation foliaire est très faible

0 u dans le cas contraire

#### K<sub>2</sub>O :

90 à 120 u (vignes de faible rendement, de qualité)

120-250 u (vignes de plaines à fort rendement)

On peut diminuer les doses jusqu'à 0 u si le sol est riche ou si l'alimentation foliaire est bonne.

On peut moduler en fonction du cépage/PG :

- + sur Carignan, Alicante
- sur Grenache, Cinsault, 4453

On peut apporter 200 à 500 u en cas de carence (rare en Corse)

### **CaO/MgO :**

Pas d'apport si le rapport sol/feuilles est correct.

Si les teneurs sont juste suffisantes : 30 u/Ha/an (surtout sur certains cépages et PG Grenache, Chasselas, Carignan, 4453, R110, SO4).

En cas de déficience : 100 à 200 u de MgO

En cas de carence marquée : 300 u

### **Oligo éléments :** La vigne est sensible à :

- la carence en Fer (choix du sol et du porte greffe)
- la carence en Manganèse (rare en Corse ou les niveaux sont élevés)
- la carence en Bore (coulure Grenache...)

## **11.12 Les pêchers**

### ➤ **Le sol**

- pH entre 5,8 et 7,8. Il est préférable d'être près de la neutralité.
- un pH acide augmente la sensibilité à la bactériose.
- en sol calcaire, la chlorose apparaît vers 8% de calcaire actif (PG franc) et plus tôt si le sol est asphyxiant. Le GF 677 ne chlorose que vers 15 à 18%. Parmi les francs, le Némaguard est très sensible et le GF 305 plus résistant.
- le sol doit être profond, sain, à texture légère ou autrement avec suffisamment de cailloux ou graviers (20-50%).
- il redoute les sols de limons évolués à structure très battante ou les argiles très gonflantes (montmorillonites)
- la profondeur racinaire du pêcher comme des arbres fruitiers en général peut être supérieure à 2 m mais avec un maximum de 0 à 50 cm, utilisant 70 à 80% de la RU. L'extraction de l'eau du sol en profondeur sans irrigation est un phénomène adaptatif et a été observé sur clémentinier en Corse.
- les PG se classent, par rapport à l'asphyxie, du très sensible au plus résistant : Amandier puis franc de pêcher puis hybride amandier GF677 puis Pruniers Damas et Saint-Julien.

### ➤ **Les prélèvements**

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/Tonne	Fruits	2	0,5	2,5	0,10	0,20
Kg/Tonne	Feuilles	1,95	0,5	3,45	4,5	1
kg/Tonne	Bois de taille	2,75	0,50	1,15	3,6	0,4
Kg/Tonne	Charpente	0,75	0,10	0,2	0,5	0,05
kg/Tonne	Total	7,45	1,6	7,3	8,7	1,65

### ➤ **Les besoins en engrais**

#### **N :**

En situation moyenne : apporter 150 u

- en irrigation par aspersion : les 2/3 à la fin de l'hiver et 1/3 au grossissement du fruit (au plus tard au durcissement du noyau)

- en irrigation par goutte à goutte : 1/3 en couverture à la fin de l'hiver et 2/3 de mai à août inclus (20 à 30 u/mois dans l'eau d'irrigation) (terminer en juillet pour les pêchers précoces)

Les apports peuvent être plus importants si:

- le sol est filtrant : + 40 u soit 190 u
- le rendement est élevé : 180 à 225 u
- Le développement végétatif est insuffisant (niveau foliaire faible) : 180 à 225 u
- Passage à un sol enherbé + 80 u/Ha pendant 1 à 2 ans puis apport moyen

On peut apporter N après la récolte si fort rendement et irrigation pour reconstituer les réserves.

#### **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** :

Si le niveau foliaire est correct : 60 à 80 u

Si les niveaux du sol et de la feuille sont déficients : 120 u et exceptionnellement 180 u

Si l'alimentation est importante : 0 u, apport possible une année sur deux

Un mauvais drainage diminue l'assimilation de P alors que l'enherbement l'améliore.

#### **K<sub>2</sub>O** :

Si le niveau foliaire est correct : 150 à 200 u jusqu'à 250 u pour des rendements élevés

Si le niveau est déficient : 225 à 250 u jusqu'à 300 u

Si les niveaux du sol et de la feuille sont élevés : 0 u

**MgO** : si le niveau est faible : 100 à 250 u

**Oligo éléments** : Sensible aux carences en Bore, manganèse et Zn ainsi qu'à la chlorose ferrique.

**Remarque** : Moyennement sensible au chlore

### **11.13 Le kiwi**

#### ➤ **Le sol**

- sol meuble, profond, frais, assez riche en matières organiques,
- éviter les limons battants et les sols hydromorphes, les sols à taux d'argile > 30%
- les racines peuvent aller très profondément (4 m) mais c'est surtout le 1<sup>er</sup> mètre de sol qui est colonisé. Il faut cependant un temps important pour cela (10 ans).
- les racines ne sont pas adaptées aux sols secs et le stress hydrique peut diminuer la croissance des racines au lieu de favoriser l'utilisation des réserves d'eau en profondeur.
- pour des plantes adultes, la RFU est de 40% mais peut augmenter jusqu'à 50-60% en sol profond non caillouteux et en irrigation non localisée.
- c'est une des plantes les plus sensibles à l'asphyxie à cause notamment d'une faible porosité intercellulaire au niveau racinaire à l'air et elle peut souffrir même si la macro porosité du sol n'est pas complètement remplie d'eau. 24 heures seulement d'asphyxie peuvent suffire à l'endommager. Une anoxie de plus de 4 jours peut être irréversible. Le kiwi souffre de l'excès d'eau à la sortie de l'hiver qui est le plus souvent trop humide pour lui et en juillet août ou la vitesse d'apparition des symptômes augmente avec la température. La nappe phréatique doit rester au-dessous de 1,2 m toute la saison.
- le kiwi peut chloroser s'il y a beaucoup de calcaire actif (>7% à pH 7,5) (comme le pêcher).
- il est préférable de se situer à un pH > 6

## ➤ Les prélèvements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/Tonne	Fruit	1,5 à 1,9	0,48 0,67	2,9 -5	0,4 à 0,6	0,2 à 0,6
30 T	Fruits	49	20	96	17	(11 Cl)
30 T	Restitué?	91	20	88	207	(69 Cl)
30 T	Total	140	40	184	224	(80 Cl)

## ➤ Les besoins en engrais

### N :

- 150 à 200 u en conditions normales
- jusqu'à 250 u en conditions d'alimentation N déficiente, sol pauvre, rendement très importants, mauvais recyclage de la matière organique
- 80 à 120 u en conditions d'alimentation favorable, sol fertile, pieds vigoureux..
- éviter les excès défavorables notamment pour la conservation
- l'apport pourra être de 50% avant débourrement et 2 fois 25% avant puis après floraison.
- Un apport plus tardif peut être défavorable en août (sensibilité au gel ; mauvaise conservation) mais utile en fin de végétation-récolte pour reconstituer les réserves azotées.

### P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :

- 40 à 70 u en niveau normal
- jusqu'à 100 à 120 u si le sol et les feuilles ont un niveau nettement insuffisant,
- 0 dans le cas contraire.

Le kiwi est peu sensible à la carence et à l'excès de P.

### K<sub>2</sub>O :

- 150 à 200 u si le niveau est correct
- jusqu'à 250 u pour une forte récolte (fort rendement, mauvais recyclage de la matière organique, pertes importantes par lessivage, sol à forte rétention et pauvre en matières organiques)
- L'apport peut être fractionné
- 80 à 120 u avec un niveau élevé dans le sol et dans la feuille
- jusqu'à 0 u si les réserves sont importantes.
- Il faut suffisamment de Cl pour que K réponde.

### MgO :

En sol peu pourvu en Mg un apport de 50 u/ha/an de MgO est suffisant.

En cas de carence 200 u de MgO

**Oligo éléments :** Il peut y avoir des carences en Mn, Zn et Fe. Peu de risques de carence en Mo, B et Cu mais risques de toxicité de B et Cu.

**Remarque :** Les besoins en Chlore sont très importants (correspondant à des niveaux toxiques pour les autres plantes mais la sensibilité est forte à l'apport de Na. Il y a peu d'exportation de soufre. Il faut plus de Cl si peu de lumière et beaucoup de nitrates.

## 11.14 Les clémentiniers

### ➤ Le sol

- le sol doit avoir une texture pas trop fine (< 20 à 25% d'argile et de limons) ou alors avoir un drainage satisfaisant (pente, cailloux et graviers, bonne structure). En conditions limitées de drainage, le Poncirus donne de meilleurs résultats.
- la profondeur du sol doit être importante ( $\approx 1.5$  m) bien que l'enracinement soit plus superficiel
- le pH doit se situer entre 5,5 et 7,5, si possible en Corse près de 6,5
- la résistance à la chlorose calcaire est faible pour le Poncirus, moyenne pour le Citrange et plus élevée pour le Bigaradier. En sol acide il peut y avoir des brûlures foliaires et une faible croissance sur Poncirus surtout mais aussi sur Citrange. Ceci observé surtout en sol rouge peut être lié à une carence en Mo (plus visible après apport de soufre)
- tous ces PG sont très sensibles à la salinité (l'avocatier aussi surtout la race mexicaine très sensible aux chlorures de sodium et de magnésium)

### ➤ Les prélèvements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/Tonne	Fruit	1,4 à 1,6	0,34 à 0,44	1,8 à 2,0	0,7 à 0,84	0,20

### ➤ Les besoins en engrais

**N :**

- l'apport d'N est de 160 à 200 u
- jusqu'à 250 à 300 en cas de forts rendements (60T), niveau foliaire très faible, d'enherbement mal maîtrisé, d'exportation des tailles, de niveau organique bas
- en goutte à goutte avec des arbres à développement bien maîtrisé, les apports peuvent être plus faibles (100 u certaines années)
- l'apport sera fractionné en aspersion 50% début avril et 50% début juillet ou en 3 fois (sol sableux). Un apport tardif est intéressant pour refaire des réserves mais peut avoir des inconvénients (couleur des fruits, aoutement défavorable et pousses tardives)
- en goutte à goutte 1/3 début avril en pleine surface si le système ne fonctionne pas encore, le reste fractionné avec l'eau d'irrigation de début mai à septembre (ou la totalité si apport d'eau plus précoce)

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :** 20 à 50 u en moyenne jusqu'à 100 u en sols et feuilles très pauvres et 0 u si sol et feuilles ont des teneurs assez élevées. L'apport pourra être fait une fois tous les deux ans.

**K<sub>2</sub>O :** 40 à 80 u en moyenne, rarement plus en sol pauvre ou jeune, souvent moins en sol ancien libérant de la potasse. Si l'analyse foliaire montre un niveau élevé de K, pas d'apport sur 3 à 5 ans. Ceci est souvent le cas en Corse. Le sulfate de potasse peut donner des effets négatifs en sol pauvre en molybdène (sol rouge SRA)

**CaO/MgO :** Peu de problèmes de MgO mais risque pour l'avenir de se développer. Les pertes en CaO peuvent varier de 100 à 600 u/Ha/an suivant la richesse en calcium du sol, la fertilisation surtout azotée, les doses d'eau et leur quantité de calcium, les façons culturales, le retour de matières organiques

**Oligo éléments :** Les agrumes sont très sensibles aux carences. On trouve en Corse très fréquemment des carences en Zn et moins fréquemment en Mn et en Mo. Les agrumes sont sensibles également aux chloroses, aux carences en Cu et en B.

## 11.15 L'olivier

### ➤ Le sol

- il préfère les sols plutôt basiques pH 7,5 à 8,5 et ne chlorose que pour des niveaux très élevés de calcaire actif (30-40%).
- il peut donner des rendements acceptables en sol médiocre si le sol est profond, sablonneux en zone sèche, bien aéré et très bien drainé
- en sol plus lourd la structure doit être favorable (apport de matières organiques pour la conserver) et le sol plus riche en éléments fertilisants
- la profondeur du sol doit être au moins de 1 à 1,5 m
- c'est un des arbres les plus sensibles au mauvais drainage
- il est modérément tolérant à la salinité du sol (éviter > 1g NaCl /Kg de terre) et est plus tolérant avec le goutte à goutte qu'avec l'aspersion.

### ➤ Les prélèvements

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
kg/Tonne	Fruit	5 à 10	2,5 à 3	8 à 12		
Kg/Ha	Taille	4 à 21	6 à 9	2,4 à 27		
Kg/Ha	Pousse	4 à 10	2 à 4	3 à 7		
Kg/Ha	Feuilles	6 à 9	2 à 5	8 à 30		

CaO 20 à 60 Kg absorbés dont 1/6 exporté par les fruits

### ➤ Les besoins en engrais

**N :**

40 u pour un rendement < 1T ; 40 à 80 pour 1 à 2T et 90 à 160 u pour 4 à 6T

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :** 20u pour un rendement < 1T, 30 à 40 u pour 1 à 2T et 60 à 80 u pour 4 à 6T jusqu'à 100 u en alimentation insuffisante ou fort rendement en culture intensive et 0 u si alimentation élevée (déduit de l'analyse foliaire)

**K<sub>2</sub>O :** 40 à 60 u pour < 1T ; 60 à 100 u pour 1 à 2t, 120 à 200 u pour 4 a 6t.

**CaO/MgO :** La carence magnésienne a été observée en Corse et l'olivier y est sensible. L'olivier préfère les sols plutôt basiques et est sensible aux déficiences en calcium.

**Oligo éléments :** La carence en Bore est la plus importante et existe en Corse.

## 11.16 L'amandier

### ➤ Le sol

- très résistant à la chlorose ferrique calcicole à pH > 6
- sol léger, pierreux, à bon drainage, à tassement limité (éviter les terres sablo-limoneuses ou limono-sableuses à sables fins)
- éviter les sols littoraux salés
- résiste à la sécheresse sur franc
- en sol à drainage imparfait, on peut utiliser un PG Prunier. En effet, l'amandier est très sensible à l'excès d'eau, même dans des régions où il ne tombe que 250 mm d'eau par an (Région de Murcie)
- la RFU est de l'ordre de 50% (Californie) mais peut varier de 30 à 40% en sol peu épais argileux à 70 à 80% RU en sol profond sableux. Avec l'arrêt de l'irrigation à la mi-juillet, l'arbre peut mobiliser les réserves profondes du sol jusqu'à 3,5 m de profondeur et jusqu'à près de 100% RU.

### ➤ Les besoins en engrais

N :

120 à 150 u (c'est moins que le pêcher) sauf pour certaines variétés très vigoureuses pour lesquelles on apporte moins d'N.

Apporter 2/3 à la floraison (pas de risque de coulure) et 1/3 fin mai-juin

En conduite en sec, réaliser un apport de 40 à 100 u.

En Goutte à Goutte l'apport sera plus long et fractionné avec l'eau d'irrigation

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 60 à 100 u suivant les rendements et l'alimentation foliaire

K<sub>2</sub>O : 80 à 100 u, plus si le sol est pauvre ou la récolte abondante

Oligo éléments : Déficience assez fréquente en Zn, possible en Bore

## 11.17 Le châtaignier

### ➤ Le sol

- calcifuge, pH 5,5 à 6,5
- si pH de 4,5 à 5 apporter un amendement
- si pH > 6,5 à 7 ou avec une faible quantité de calcaire actif > 4%, ne pas planter (chlorose grave entraînant rapidement la mort des plants).
- il préfère un sol léger, profond, perméable sur schiste ou sur granite
- il aime les sols riches mais peut valoriser les sols superficiels à sous-sol filtrant, acide, pauvre
- il craint l'asphyxie en sol trop argileux ou à sous-sol imperméable.

### ➤ Les besoins en engrais

N :

80 à 120 u avec 1/3 en mars, 1/3 en mai, 1/3 en septembre si beaucoup d'N ; autrement tout en mars ou 2/3 en mars, 1/3 début mai. Si vigueur excessive, diminuer N

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 60 à 80 u, moins en verger âgé

**K<sub>2</sub>O** : 90 à 120 u jusqu'à 150 u en forte production intensive

**CaO** : apport si pH < 5,5

### 11.18 Le prunier

#### ➤ Le sol

- peut venir en sol argileux bien structuré (Prunier d'ente vient bien en sol argilo-calcaire de coteaux) à 2 ou 3% de matières organiques, non tassé
- peut venir sur une large gamme de sols mais préfère les sols profonds, bien drainés, de texture moyenne non battante
- se développe moins bien que le pêcher en sols légers
- moins sensible à la chlorose que le pêcher (il peut supporter 10% de calcaire actif)
- adaptation du choix du PG au type de sol :

Le Mariana GF 8-1 est plus résistant que le myrobolan à la chlorose et à l'asphyxie

En sol sec et caillouteux: PG myrobolans\* Pruniers japonais GF31;

En sol argilo-calcaire chlorosant : Pêcher\*Amandier GF 677

En sol de texture moyenne, peu humide : Francs, myrobolans

En sols assez asphyxiants : Marianna GF 8-1

#### ➤ Les besoins en engrais

**N** :

70 à 120 u : 1er apport au printemps (stade boutons verts), 2ème en mai après la nouaison et 3ème après la récolte avec 40 à 50% au 1er apport

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 80 à 120 u : 1/2 en automne et 1/2 au printemps

**K<sub>2</sub>O** : 160 à 220 u : 1/2 automne et 1/2 printemps -100 u si la production est faible. Le sulfate est préférable. Très exigeant en K. K a pour effet l'augmentation du calibre.

**MgO** : Sensible à la carence en Mg

**Oligo éléments** : Sensible aux carences en Zn, Mn et B

**Remarque** : Moyennement sensible au chlore

### 11.19 L'abricotier

#### ➤ Le sol

- il redoute les argiles profondes, les terres froides et humides, il est très sensible à l'asphyxie racinaire
- il aime les sols chauds, légers, perméables
- l'abricotier franc vient en sol sec, pauvre, caillouteux, à teneur en calcaire assez élevée (chlorose rarement)

- il est assez résistant aux sols salés mais donne de la gomme en terres humides.
- les PG myrobolan GF31 et surtout GF 8-1 sont plus résistants à l'asphyxie et chlorosent rarement
- il peut venir aussi en sol sableux
- il peut bien résister au stress hydrique s'il est graduel et il peut récupérer rapidement après un stress

#### ➤ Les besoins en engrais

**N :**

En irrigué : 110 à 150 u (60 à 80 début février, 50 à 70 après la récolte)

En sec : 80 à 100 u (début février et après la récolte)

Exporte 12 u /T de fruit dont 4,6 pour le fruit et environ 50% recyclable

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :**

En irrigué : 40 à 80 u

En sec : 80 à 100

Exporte 2,2 u/T de fruit dont 0,9 pour le fruit et 40 à 50% recyclable.

**K<sub>2</sub>O :**

En sec : 160 à 200 u (intérêt pour améliorer la résistance à la sécheresse)

En irrigué : 120 à 250 u

Exporte 4,85 u/T de fruit dont 4,75 pour le fruit et 60% recyclable

**CaO/MgO :** Exporte 8,4 u de CaO et 1,75 de MgO par T de fruit dont les 3/4 sont recyclables

**Oligo éléments :**

- moins sensible à la chlorose ferrique que le pêcher;

- sensible aux carences en Mn, Zn, et en B

**Remarque :** Moyennement sensible au chlore

## 11.20 Le cerisier

#### ➤ Le sol

- le merisier ou le Sainte Lucie de semis est plus sensible au calcaire que l'INRA Sainte Lucie 64 (jusqu'à 25% de calcaire actif)
- le merisier préfère les sols profonds, frais et bien drainés
- le Sainte Lucie (ou mahaleb) vient sur sol pauvre, sec, et est très sensible au mauvais drainage (comme le pêcher sur franc)
- il redoute les sols lourds, compacts, à terre fine et battante
- il est très sensible à l'asphyxie racinaire
- les meilleures terres sont les sols silicoargileux profonds et des terres légères, perméables
- le Cerisier acide (Griottier) se contente de sols médiocres

#### ➤ Les besoins en engrais

**N :**

En sec : comme abricotier

En irrigué : 130 à 180 u dont 80 à 100 u 3 semaines avant la floraison, et 50 à 80 u avec une irrigation après la récolte (dépend de l'age, de la densité de peuplement et de la production)  
Exporte 16 Kg N /T de fruit dont 6,5 pour le fruit (très riche) et seulement 1/3 recyclable.

#### **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** :

En sec : 80 à 100 u  
En irrigué : 40 à 80 u  
Exporte 4 u/T dont 1,55 dans le fruit (riche) et 1/3 recyclable

#### **K<sub>2</sub>O** :

En sec : 160 à 200 u  
En irrigué : 130 à 180 u  
Exporte 9,25 Kg/T dont 3,7 pour le fruit et 1/3 recyclable

**CaO/MgO** : Exporte 2,8 u de MgO /T dont 0,7 pour le fruit (riche) et 40% recyclable.

**Oligo éléments** : Sensible au carences en Bore, Manganèse, Zinc et Fer (sur franc)

**Remarque** : Sensible au chlore

### **11.21 Pommier - Poirier**

#### ➤ **Le sol**

- le pommier est moins sensible que le poirier au calcaire actif, sauf sur M9 (EM9 < 8%, M5 < 11%, M2 < 21% et M1 possible au delà)

- le pommier redoute les terres compactes peu perméables

- il aime les sols profonds, sains, aérés, drainés, sol de limon moyen, argile sableuse et sable argileux - la résistance à l'asphyxie est très faible avec M 793,104,109,111,2, faible avec M7, 4,25,9 ; satisfaisante avec M1, 106,16,13, la plupart des francs.

- pour les sols à faible rétention d'eau, c'est par une irrigation excessive que la qualité varie le plus

- le poirier se plaît dans les sols lourds, sains

- les terres légères, sableuses ne lui conviennent pas

- il craint la sécheresse du sol et de l'air sauf quelques variétés (Alexandre Douillard)

- il est très sensible au calcaire actif sur cognassier (< 8% calcaire actif, surtout certaines variétés) et moins sur franc (< 21% calcaire actif)

- éviter les pH élevés

#### ➤ **Les besoins en engrais**

##### **N** :

1<sup>er</sup> apport Début mars : 100 u

2<sup>ème</sup> apport fin mai début juin : 60 u

On peut supprimer le 2<sup>ème</sup> apport si la charge est faible

De forts apports peuvent être préjudiciables (plus que pour le pêcher).

Exporte + de 2,4 u N par T de fruit dont 0,65 pour le fruit

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 60 à 100 u (60 pour sol enrichi ou faible rendement- En sol mal drainé 100 -120 u) Exporte + de 0.88 Kg/T de fruit dont 0.3 pour le fruit

**K<sub>2</sub>O** : 130 à 180 u Exporte + de 3.8 Kg /T de fruit dont 1.5 pour le fruit

**CaO/MgO** : Problèmes de conservation liés à la teneur en Calcium Exporte plus de 4.8 u CaO et 1 MgO par T de fruit dont 0.15 et 0.10 pour le fruit.

**Oligo éléments** : Très sensible à la carence en Bore et Zinc, sensible à celle en Manganèse (Pommier), très sensible à celle en fer (Poirier)

**Remarque** : Sensibilité au chlore moyenne pour le pommier et faible pour le poirier

## TABLEAU DES CONVERSIONS USUELLES

### Facteurs de conversion des teneurs en % ; ‰, ppm, g/kg, kg/t

1%	=	=	10‰	=	10 000 ppm	=	10 g/kg	=	10 kg/t
1‰	=	0,1%	=	=	1 000 ppm	=	1 g/kg	=	1 kg/t
1 ppm	=	0,0001%	=	0,001‰	=	=	1 mg/kg	=	1 g/t

### Facteurs de conversion pour les éléments, leurs composés et leurs ions

Eléments ‰	Facteurs de conversion	Composés ‰	Facteurs de conversion	Ions me/1000g	Facteurs de conversion	Eléments ‰
N	← 0,23 X X 4,429 →	NO <sub>3</sub>	← 0,062 X X 16,13 →	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	← 71,38 X X 0,014 →	N
N	← 0,776 X X 1,288 →	NH <sub>4</sub>	← 0,018 X X 55,56 →	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	← 71,38 X X 0,014 →	N
P	← 0,436 X X 2,291 →	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	← 0,024 X X 41,67 →	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	← 96,8 X X 0,0103 →	P
K	← 0,83 X X 1,205 →	K <sub>2</sub> O	← 0,047 X X 21,27 →	K <sup>+</sup>	← 25,6 X X 0,0391 →	K
Ca	← 0,714 X X 1,40 →	CaO	← 0,028 X X 35,7 →	Ca <sup>++</sup>	← 49,9 X X 0,02 →	Ca
Mg	← 0,60 X X 1,66 →	MgO	← 0,020 X X 49,6 →	Mg <sup>++</sup>	← 83,3 X X 0,012 →	Mg
Na	← 0,74 X X 1,35 →	Na <sub>2</sub> O	← 0,031 X X 32,26 →	Na <sup>+</sup>	← 43,4 X X 0,023 →	Na
S	← 0,40 X X 2,50 →	SO <sub>3</sub>	← 0,04 X X 25 →	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	← 62,4 X X 0,016 →	S
				Cl <sup>-</sup>	← 28,16 X X 0,0355 →	Cl