

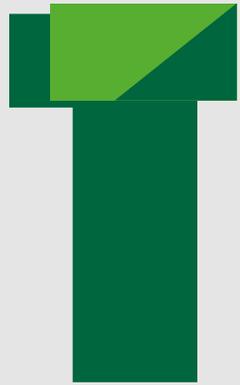
# Equilibre du Sol, Lecture des analyses et stratégies d'intervention



03/03/2023

Paul ROBERT



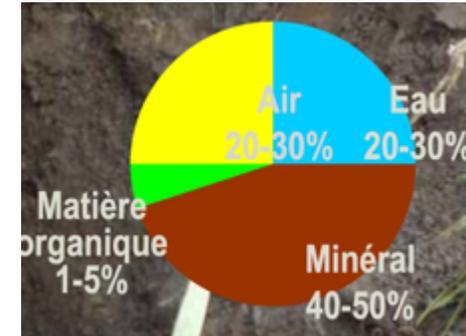


# Rappels généraux

# Fertilité d'un Sol

## Indicateurs:

- Texture
- Stabilité structurale
- Structure
- Masse Volumique Apparente
- Infiltration
- Capacité de rétention de l'eau

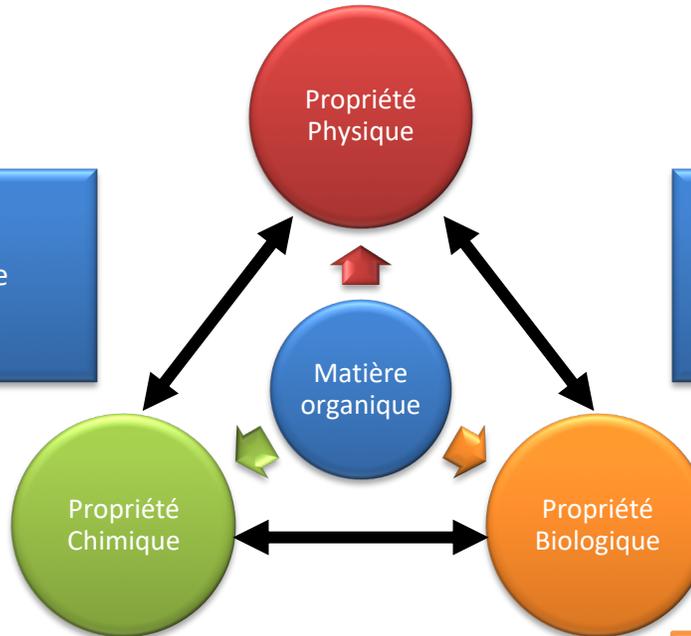


## Apports:

- Système Racinaire
- Cultures de couverture
- Résidus de Cultures
- Engrais Organique

## Contributions:

- Travail du sol
- Rotation des cultures
- Protection des berges
- Culture pérennes



## Indicateurs:

- CEC
- pH
- N – P – K etc...

## Indicateurs:

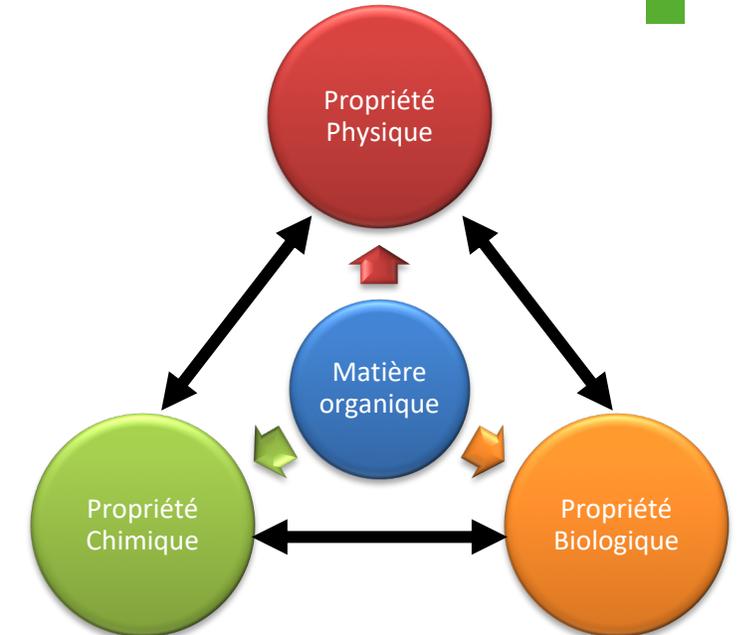
- Vers de terre
- Micro-organismes
- Matières organiques du sol
- Odeur

# Fertilité d'un Sol

## Indicateurs:

- Masse Volumique Apparente

Texture	MVA idéale (g/cm <sup>3</sup> )	MVA Pouvant affecter l'enracinement (g/cm <sup>3</sup> )	MVA empêchant l'enracinement (g/cm <sup>3</sup> )
Sable, Sable limoneux	<1.6	1.7	>1.8
Limon Limon Sablo-argileux Limon-argileux Argile-limoneux	<1.4	1.6	>1.8
Argile sablonneuse Argile (35-40%)	<1.1	1.5	>1.6
Argile (>45%)	<1.1	1.4	>1.5



# Fertilité d'un Sol

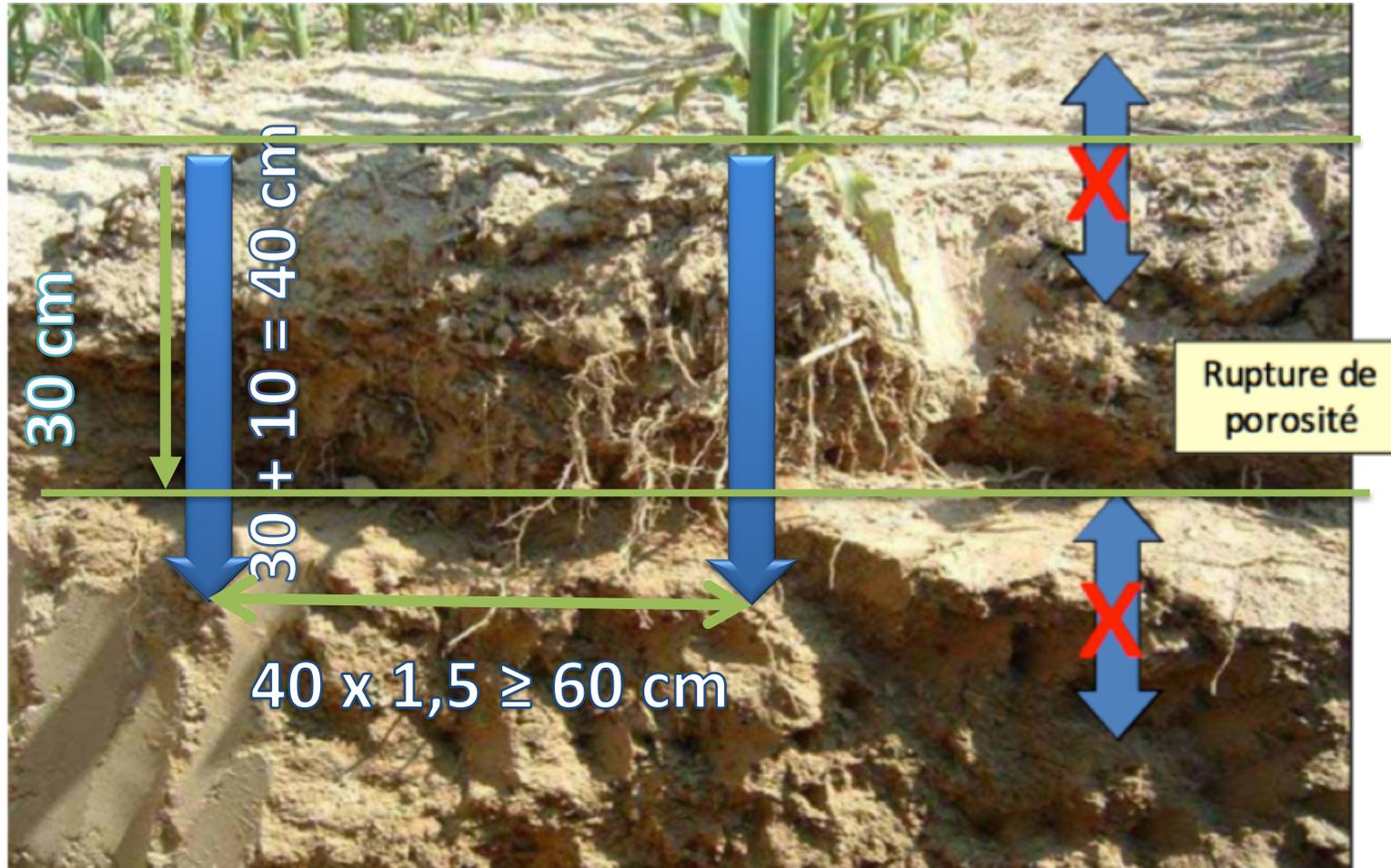
## Structure

Type de Compaction	Profondeur typique (cm)	Causes les plus fréquentes	Correctifs
Surface	0-18	Pulvérisation par travail secondaire. Outils animés	Hersage, Culture de couvertur, Reduction passage
Semelle de labour	18-30	Labour en condition humide	Strip-till, chisel
Profonde	30-75	Passage lourds, conditions humides	Sous-solage, rotation, culture de couvertur, prévention
Naturelle	Sans fin, progressive	Sol peu profond, sous-solk imperméable	Sous-solage, rotation, couvert, prévention

# Gérer la Structure

La Compaction

## LA BASE !!!!



# Fissuration

Matériel

---



*Guillaume et Antoine Chedru*

# Fissuration

## Matériel



Guillaume et Antoine Chedru

# Fissuration

Stratégie de positionnement



*G. et A. Chedru*



**Fissuration**

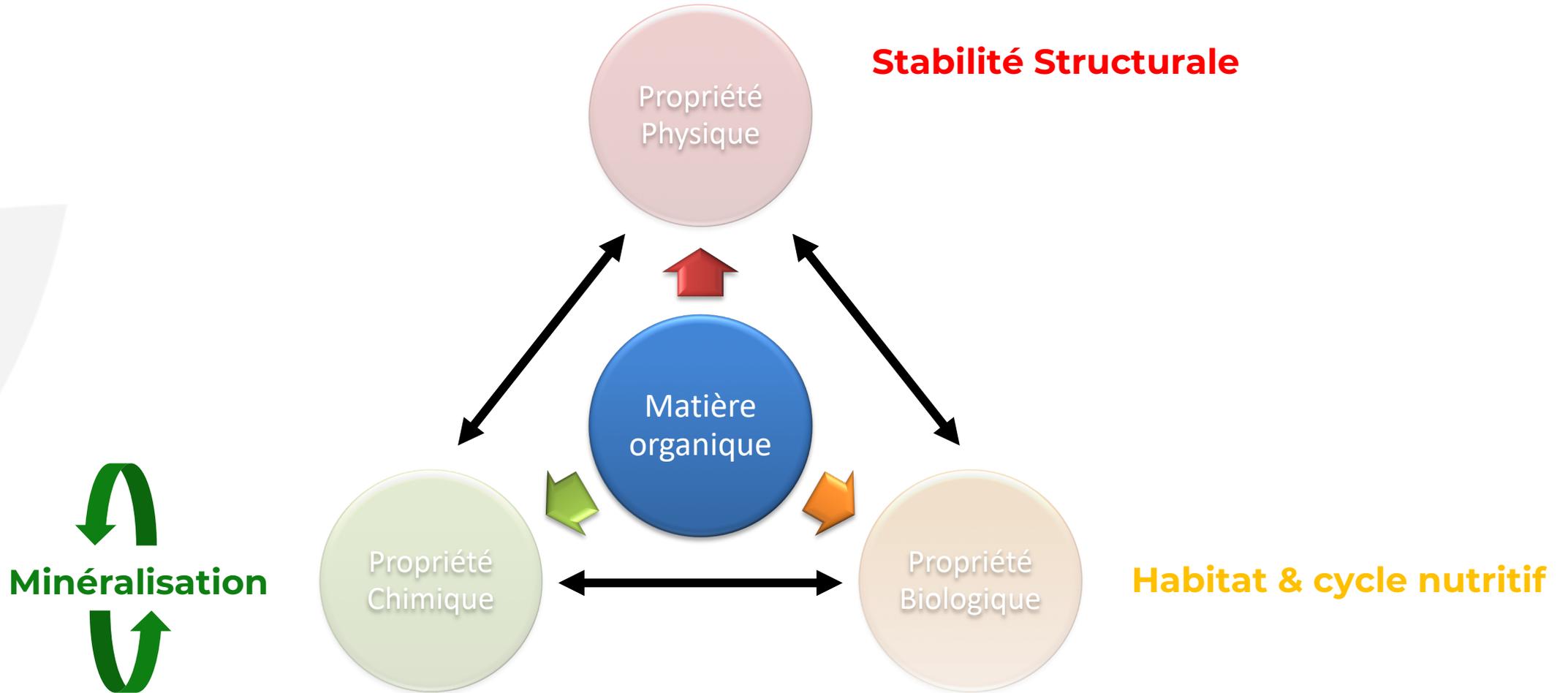
# Fissuration

Pourquoi les EM ?



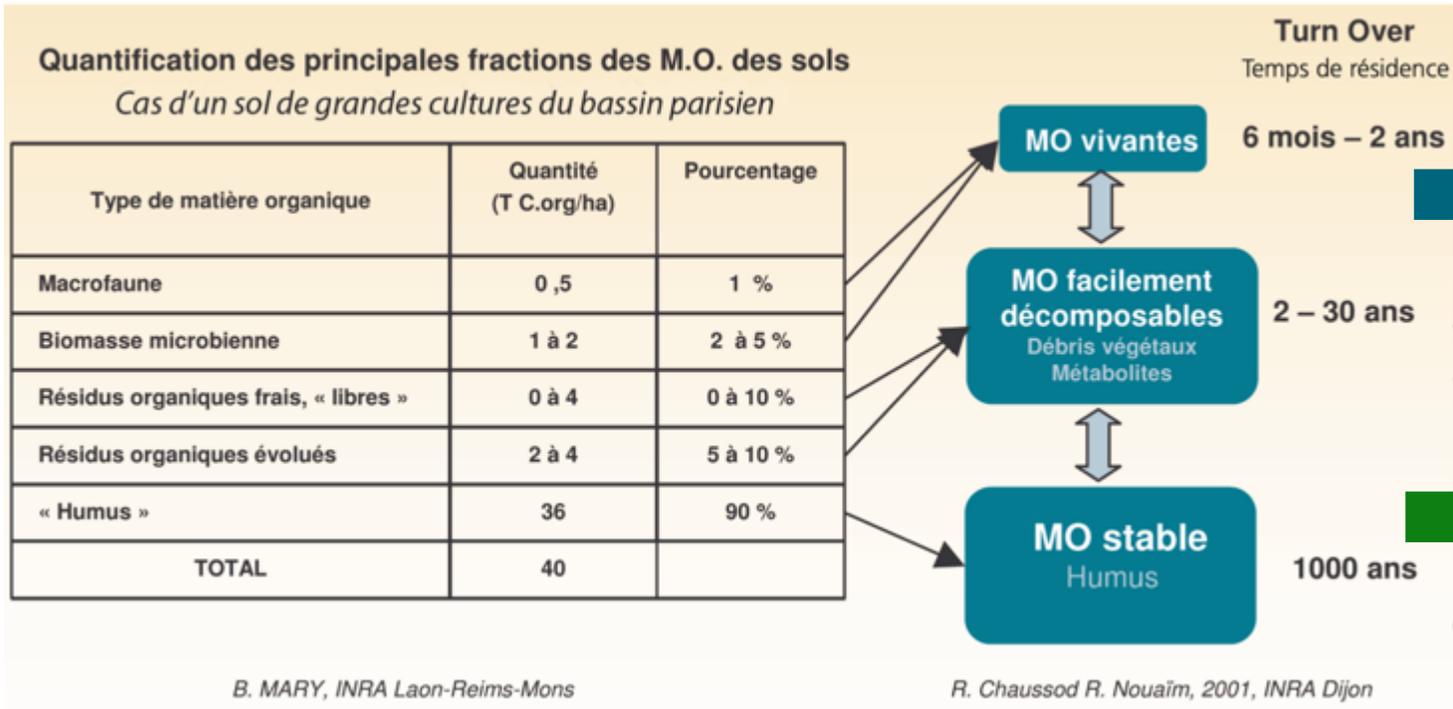
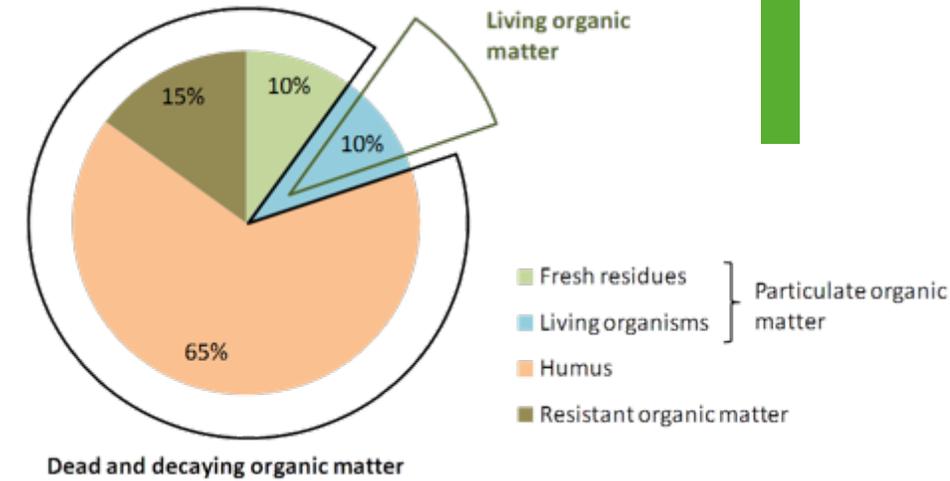
# Fertilité d'un Sol

## La Matière organique



# La matière organique

Turn Over



## Alimentation

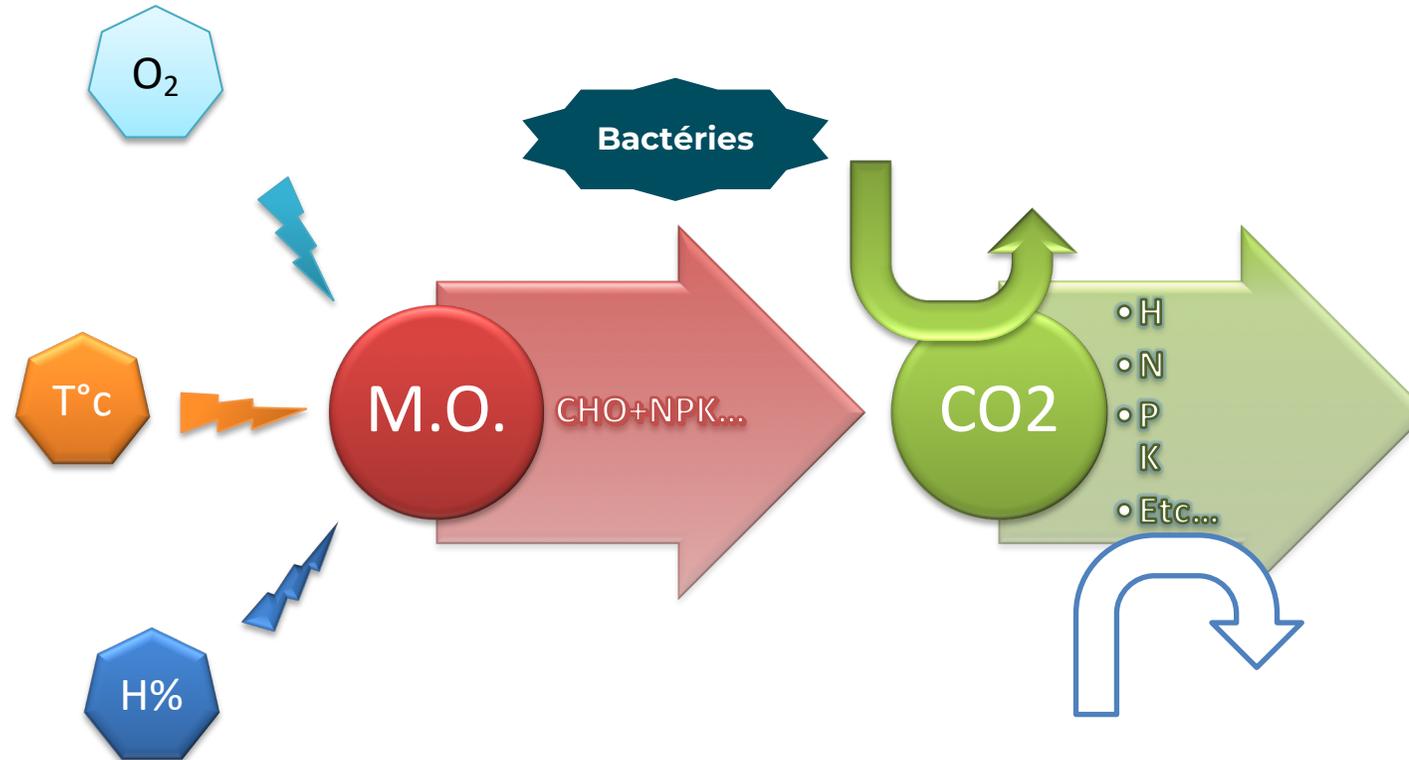
- Plantes
- De la Vie du Sol

## Stockage

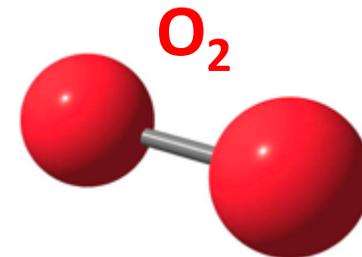
- Carbone
- Eau
- Elts minéraux

# La matière organique

## Minéralisation

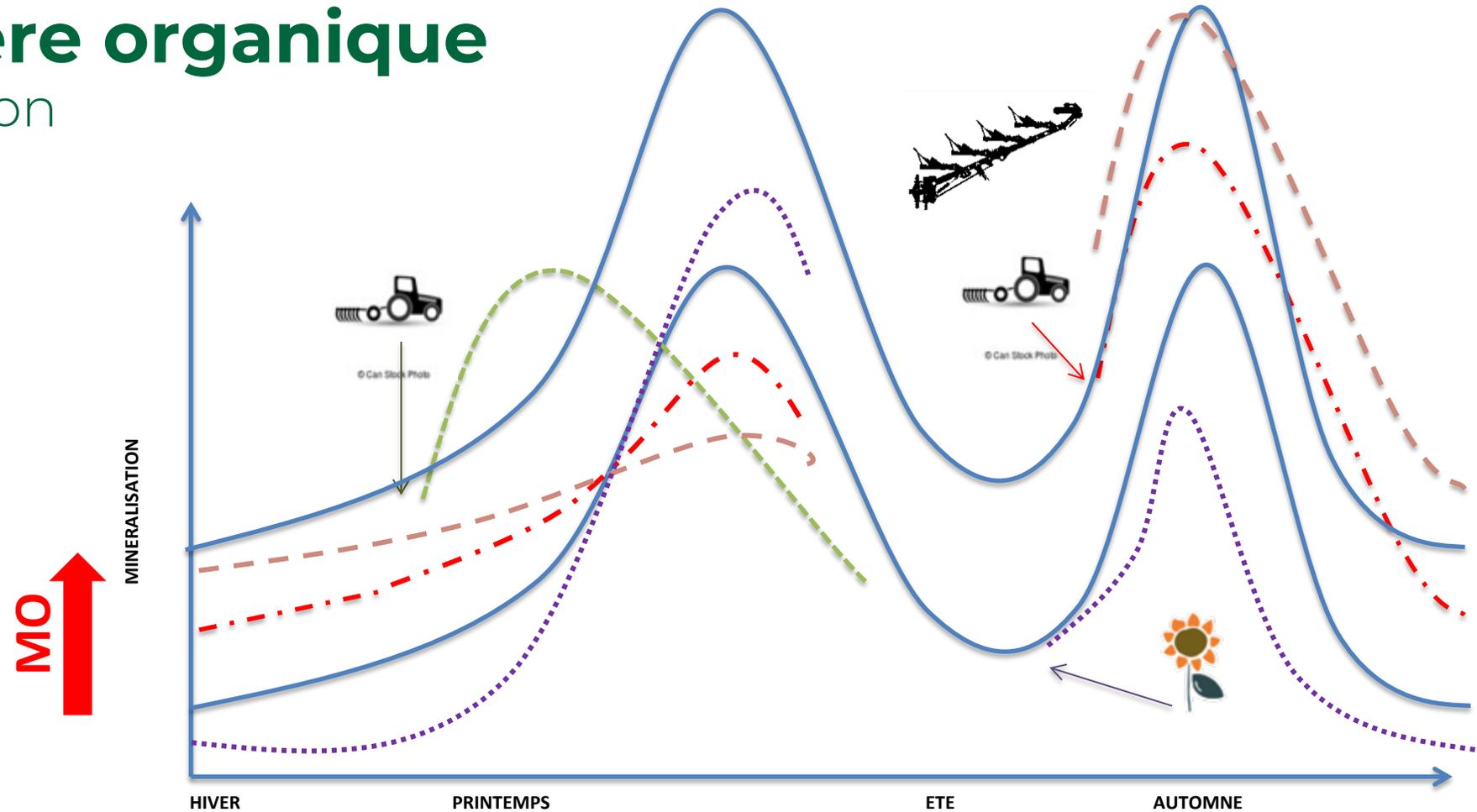


Première cause de carence?



# La matière organique

## Minéralisation



### Exemple:

Limon du 76 avec 2% de M.O. va minéraliser en moyenne:

- **130** u. de **N** en **Labour** 25 cm (100 u. de N en TCS)
- **60** u. de **N** en **SD**

Pour minéraliser **130** u. de N en **SD** → Besoin de **4,6 %** de **M.O.**

# Rapport C/N

Equilibrer la ration pour le sol



## Rapport C/N des pailles:

Blé : 80  
Maïs: 54  
Pois : 24

Résidus de récoltes

=

Couverts végétaux



## Rapport C/N des couverts

10 < Mélange couvert < 20

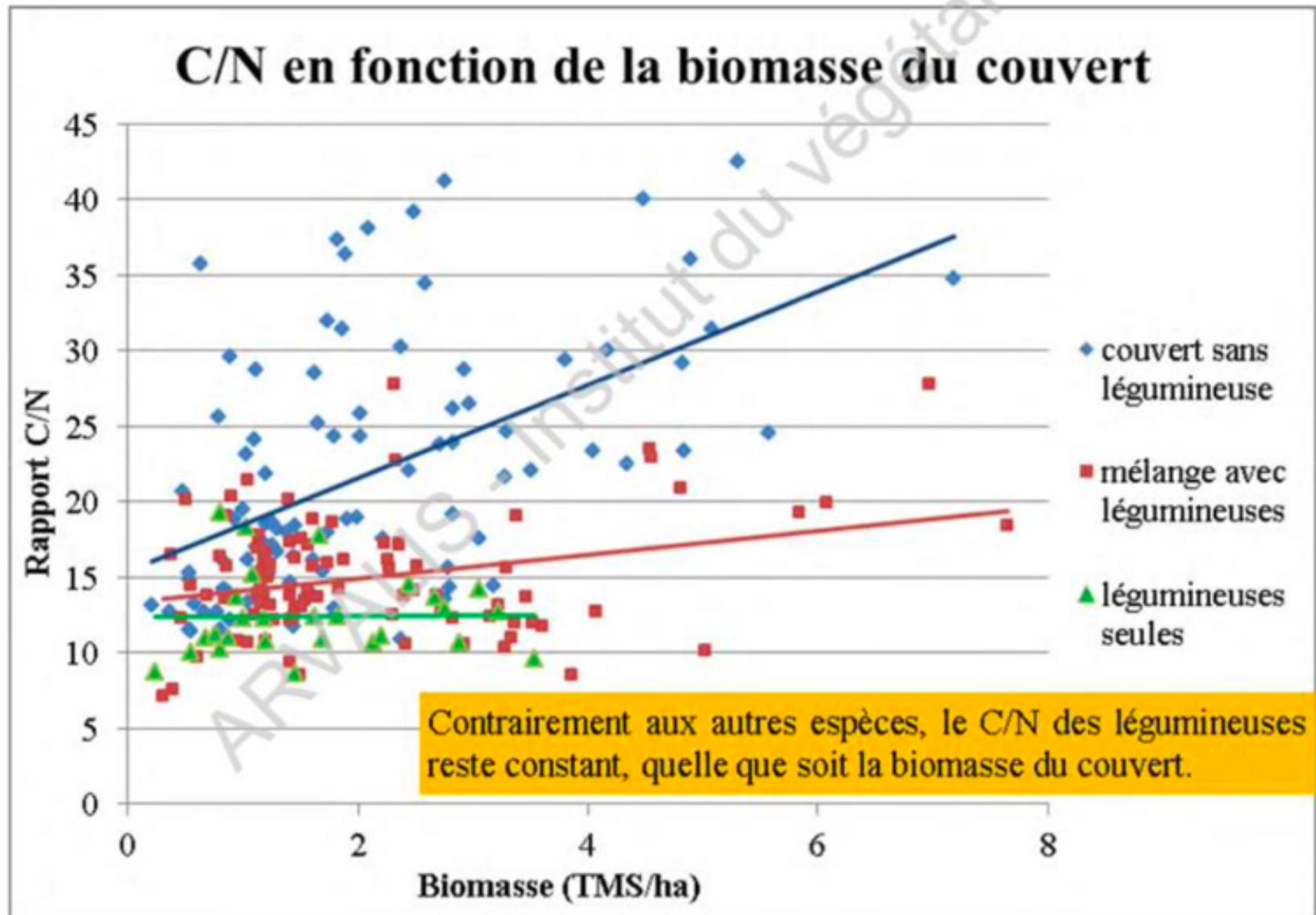
C/N > 24  
Risque faim d'N



C/N < 20  
Libération d'N

# Couvert Végétal

C/N

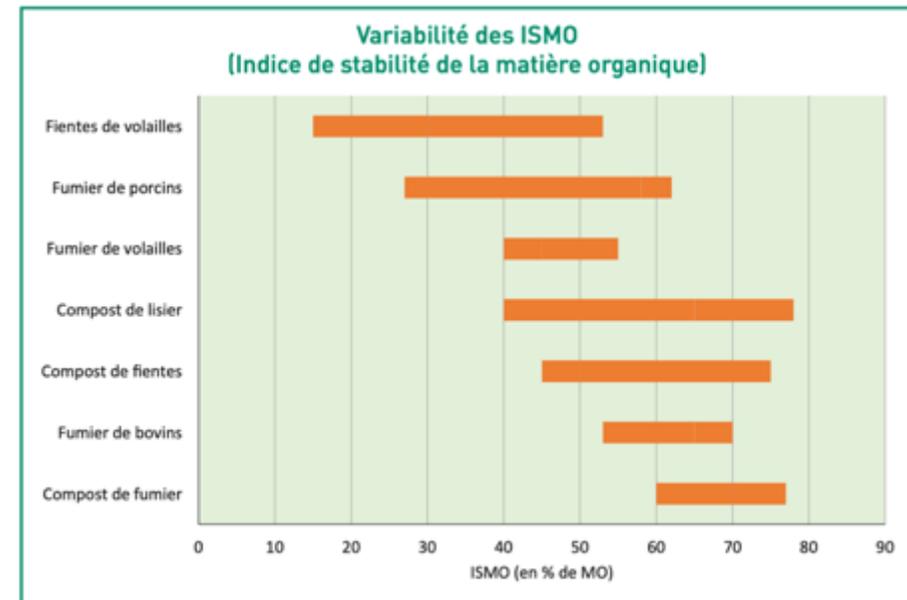
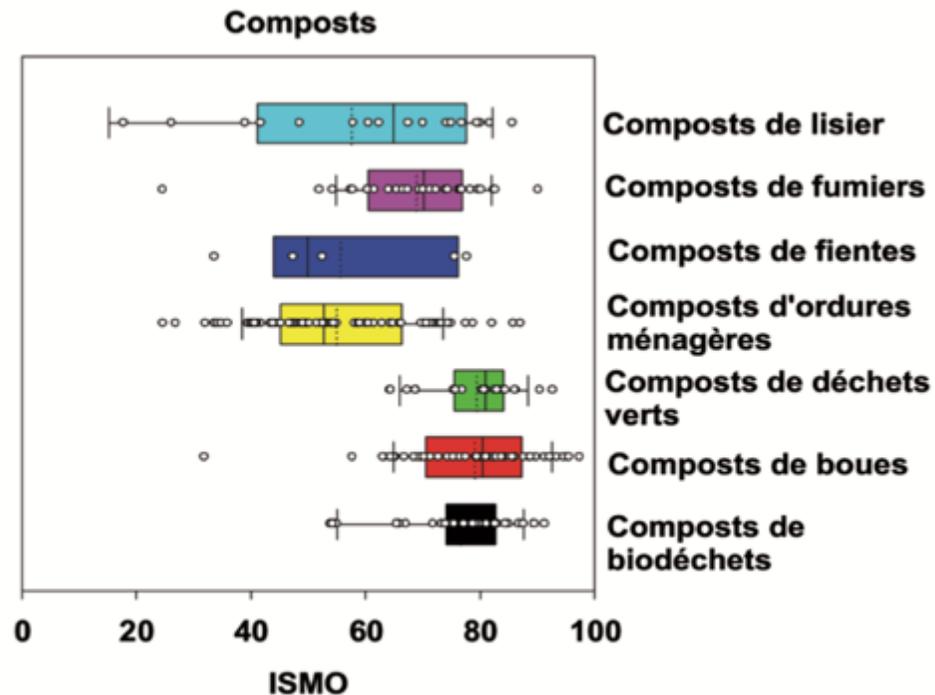


# Apport Organique

ISMO

K1 = Coefficient isohumique = % M.O. → Humus

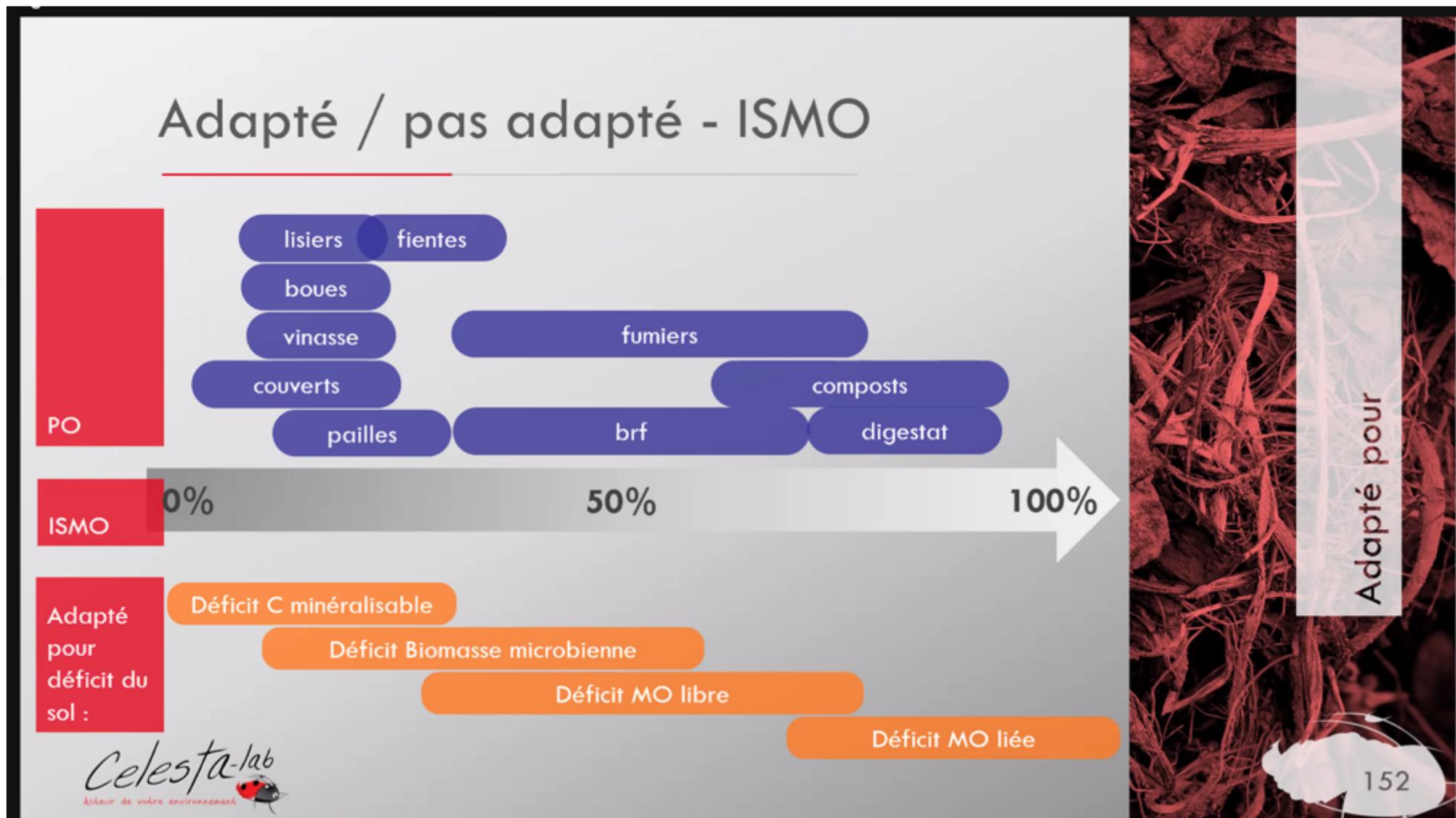
**ISMO** = Indice Stabilité de la Matière Organique  
→ % M.O. qui procurerons de l'Humus stable



Source : Lashermes et al. 2009

# M.O.

## Apport Organique

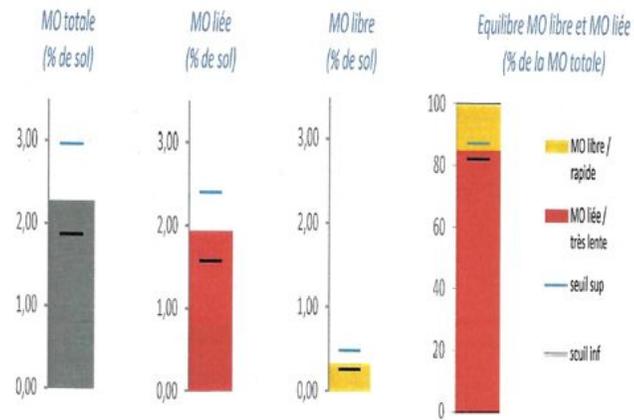


# BRF

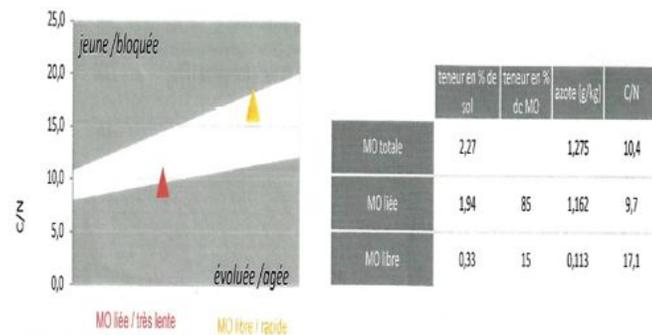


# MO / Celestalab

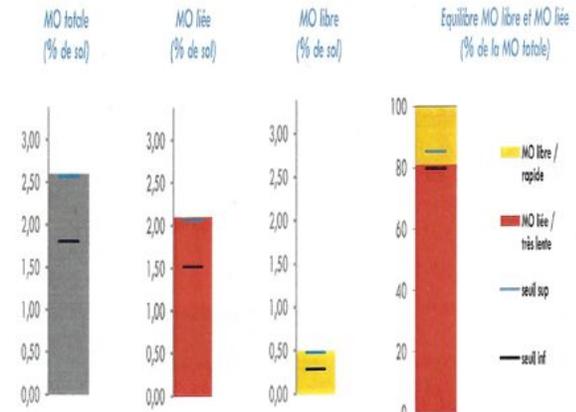
## CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL 2015



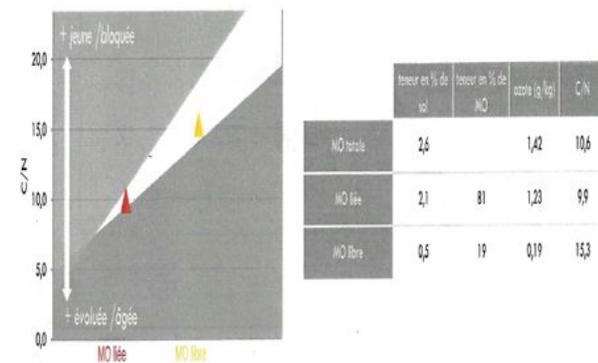
Etat d'humification des différentes fractions de MO



## CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL 2020



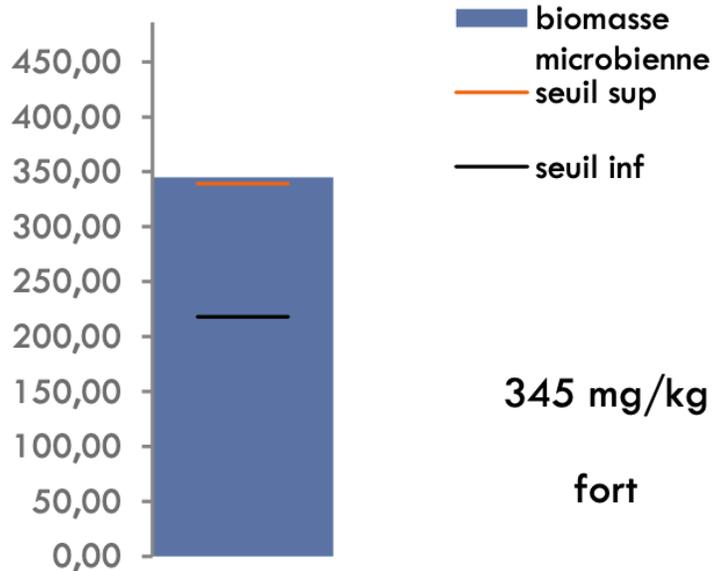
Etat d'humification des différentes fractions de MO



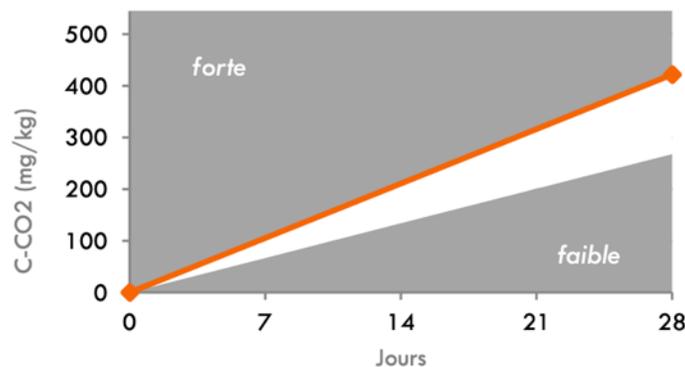
# Dégradabilité de la MO

✓ ACTIVITÉS MICROBIOLOGIQUES MINÉRALISATRICES DE C et N : dégradabilité de la MO

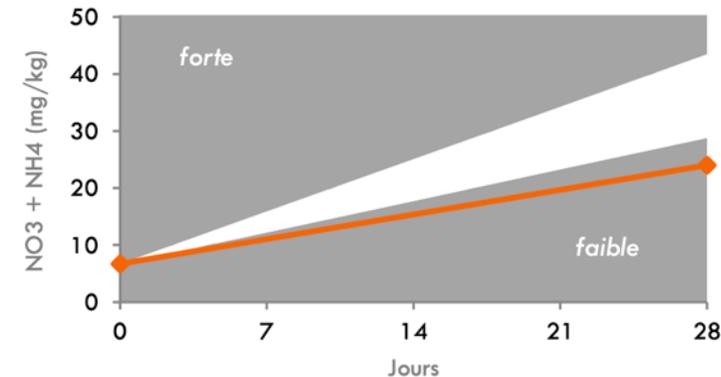
Biomasse Microbienne  
(mg C/ kg de terre sèche)



Minéralisation du carbone



Minéralisation de l'azote



## BILAN DES ÉLÉMENTS MINÉRALISÉS

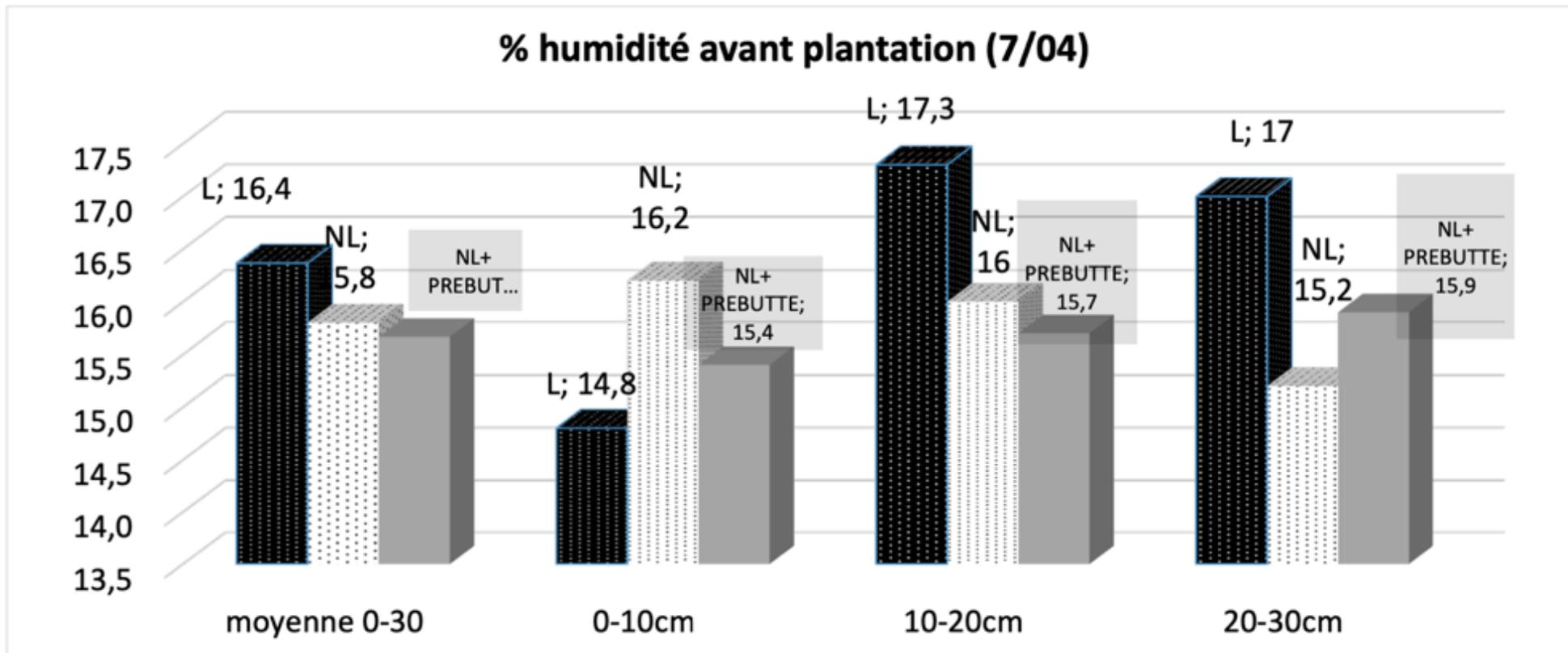
CARBONE				AZOTE				
C organique (g/kg TS)	C minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Cm/BM	N total (g/kg)	N minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%Ntotal)	Fourniture annuelle N (U)	Reliquat (U)
13,0	421,9	3,2	43,7	1,3	17,3	1,4	64,1	16,6
satisfaisant	satisfaisant un peu fort	fort			faible	faible		

Mauguio, le  
Robin Fischer  
Ingénieur Agronome Conseil

20/01/2021

# Couvert Végétal

Ressuyage



# 2

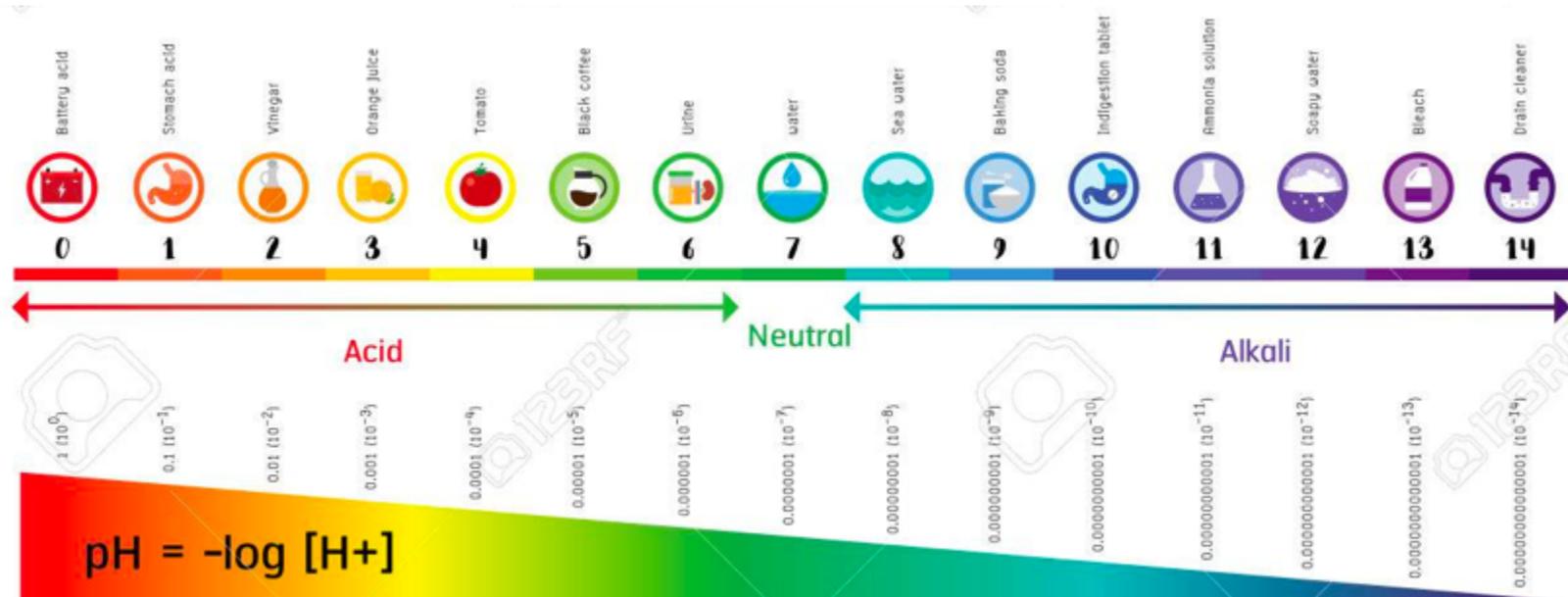
## NUTRIMENTS Rôles et relations sol / plante

# Le pH

$$\text{pH} = -\text{Log} (\text{H}_3\text{O}^+) \quad \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$$

**Un acide** = espèce chimique capable de **libérer un H<sup>+</sup>** :  
 $\text{AH} = \text{A}^- + \text{H}^+$

**Une base** = espèce chimique capable de **fixer H<sup>+</sup>** :  
 $\text{B} + \text{H}^+ = \text{BH}^+$

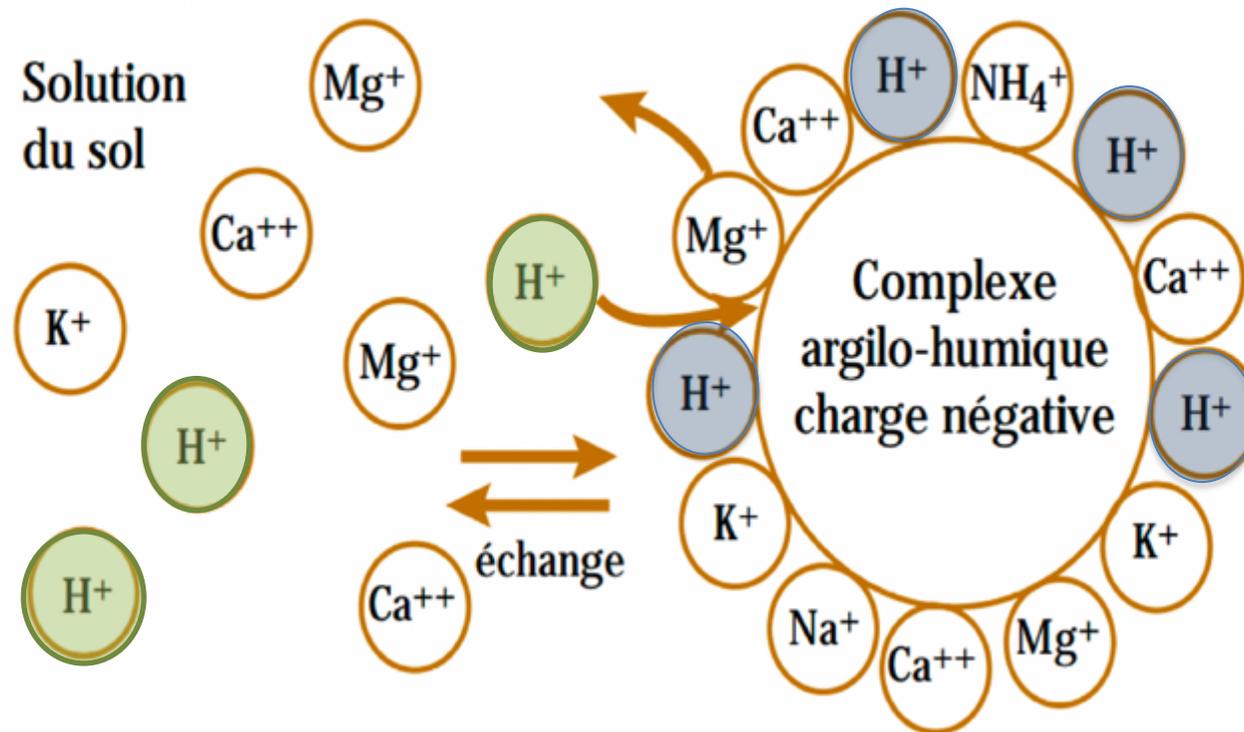


# Le pH

pH<sub>eau</sub> VS pH<sub>kcl</sub>

pH<sub>eau</sub> = pH solution du sol

pH<sub>kcl</sub> = pH<sub>eau</sub> + réserve acidité CEC



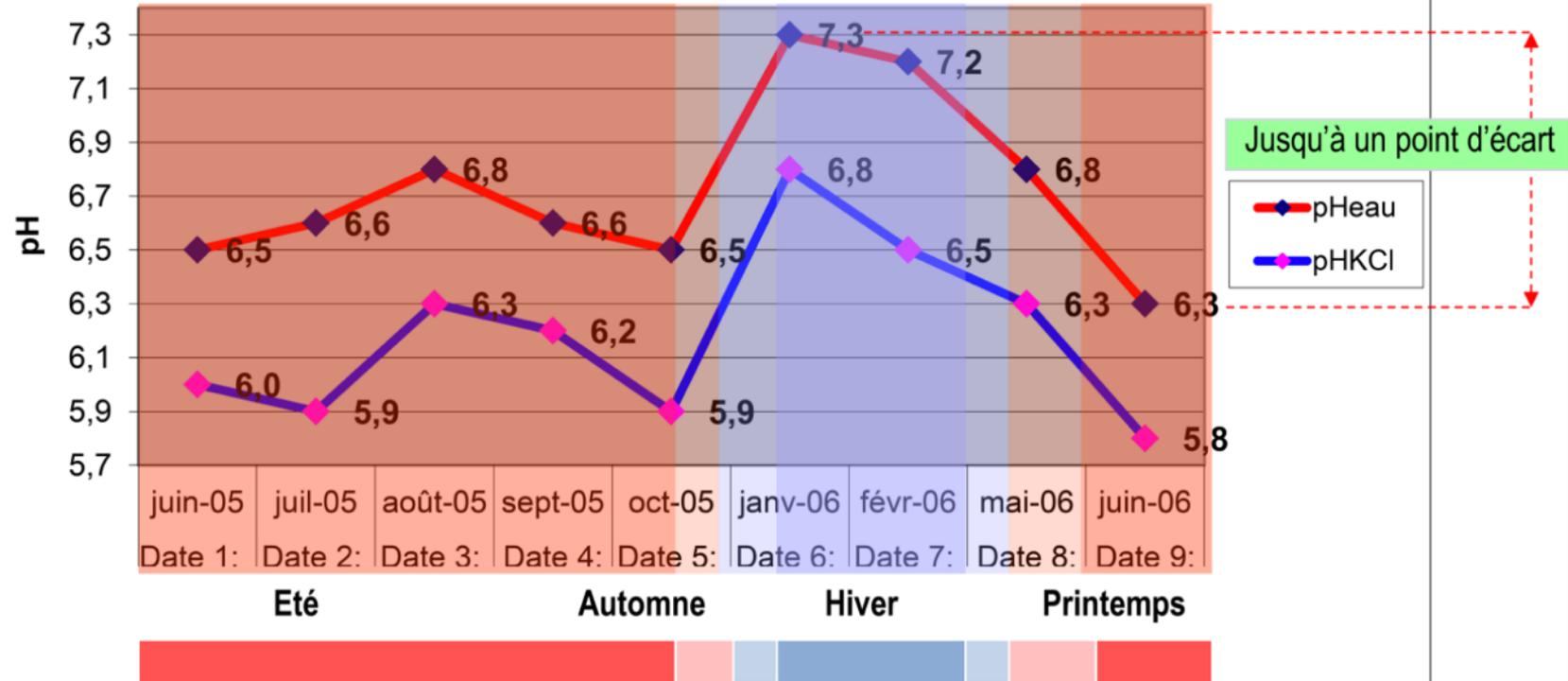
pH<sub>kcl</sub> ≤ pH<sub>eau</sub>

# Variation pH

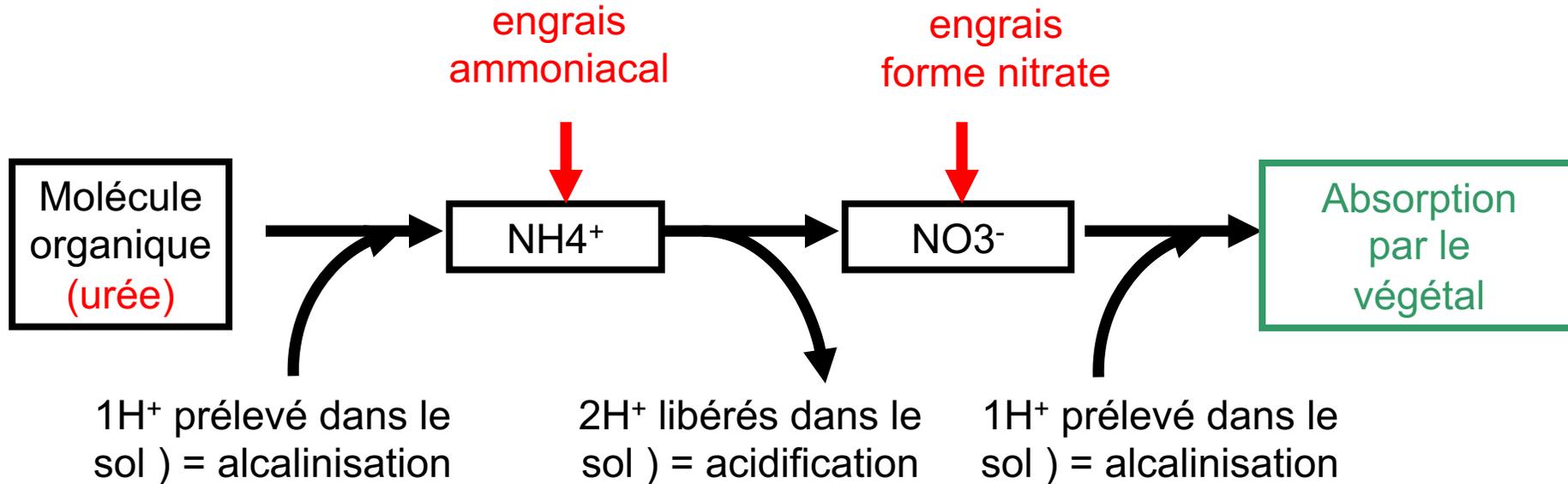
Exemple d'un suivi du pHeau et pHKCl sur une parcelle (9 dates de prélèvements)  
Monoculture Maïs grain **irrigué**, commune de St SEVER 40500

**Variations saisonnières du pHeau et du pHKCl  
Maïsadour 2005-2006 (sol de Limon)**

Sol de Limon : argile = 12,5% - Matières organiques = 1,3% - CECMetson = 72 meq/kg



# Influence de la forme d'engrais azoté sur l'acidification

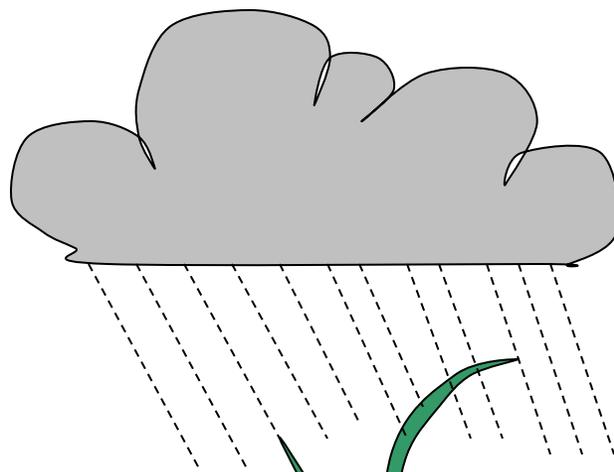
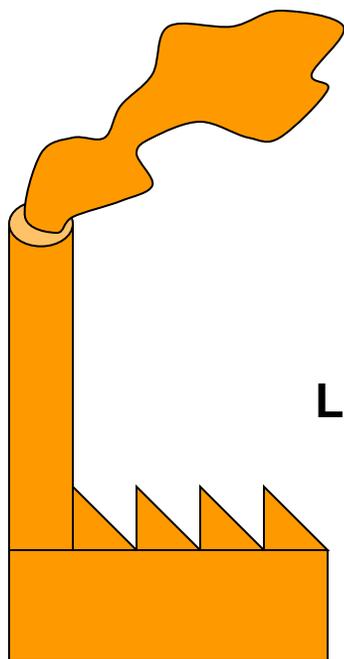


**Bilan :**  
(si tout est absorbé  
par le végétal)

Urée	0	= neutre
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	+1	= acidification
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-1	= alcalinisation
Ammonitrate	0	= neutre

# Les causes de l'acidification

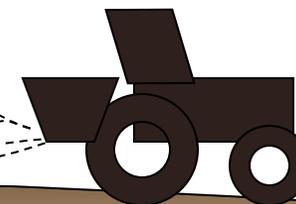
L'industrie



Les pluies

Les récoltes

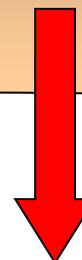
Les pratiques,  
Les engrais



Les cycles C, N et S



Le drainage

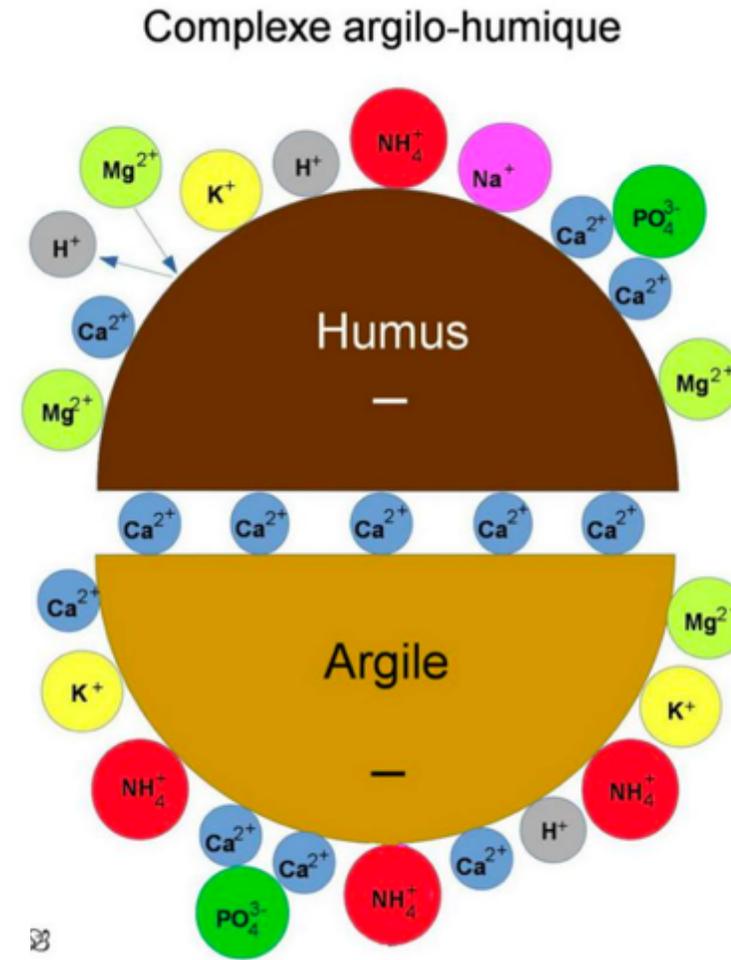
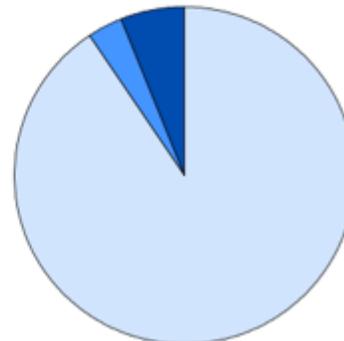


# Complexe d'Echange Cationique

**CEC** = Complexe  
d'Echange  
Cationique  
→ *Garde manger*

## ÉQUILIBRE DES CATIONS DANS LA CEC

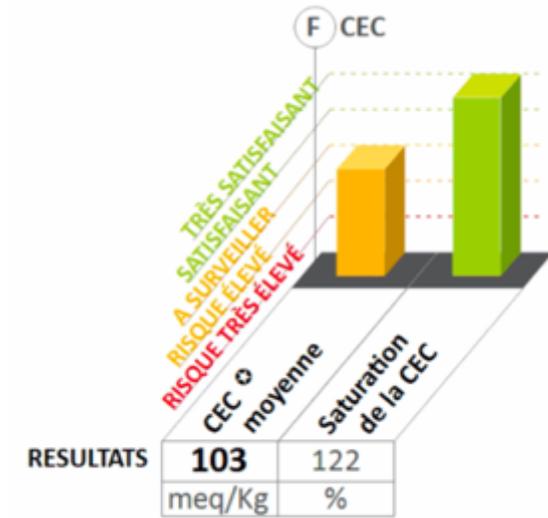
Ca	90.5%
K	3.3%
Mg	6.2%
Na	0.0%
H	0.0%
Total : 100.0%	



# Complexe d'Echange Cationique

**Taille de la CEC:** meq ou mmol

- Lié au CAH
- capacité d'échange
- Risque de lessivage



C.E.C. en cmol/kg	1 à 8	8 à 15	15 à 25	25 à 35
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C.E.C. faible</li> <li>• Sols à dominante sableuse</li> <li>• Échange facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C.E.C. moyenne</li> <li>• Sols à dominante limoneuse</li> <li>• Échange assez facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C.E.C. élevée</li> <li>• Sols à dominante limono-argileuse</li> <li>• Échange peu facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C.E.C. très élevée</li> <li>• Sols à dominante argileuse et/ou humifère</li> <li>• Échange difficile</li> </ul>

Lessivage



Compétition sol/plante



# Complexe d'Echange Cationique

$$\text{CEC (meq/100g)} = 0,57 \times (\text{A \%} + 1,9 \times \text{MO \%})$$

Type de sol	CEC (meq/100g)
Limons francs	12 à 16
Limons battants assez sains	9 à 12
Limons battants engorgés	8 à 10
Limons argileux vrais	14 à 17
Limons argileux	12 à 16
Limons argileux engorgés	8 à 11
Argiles limoneuses	> à 18
Argiles engorgées	> à 15
Argilo-calcaire	> à 20
Limons calcaires	7 à 12
Sables calcaires	< à 7
Sables sains	< à 7,5
Sables argileux et argiles sableuses	10 à 17 et 16 à 25
Sables limoneux et limons sableux	< 6 et < 7

Les résultats d'analyses sont souvent exprimés en ‰. Pour convertir les mesures de cations en meq/100 g de terre fine, utiliser les correspondances suivantes :

Ca meq/100g	=	CaO ‰ x 4,99	ou	Ca ‰ x 3,57
Mg meq/100g	=	MgO ‰ x 4,961	ou	Mg ‰ x 8,226
K meq/100g	=	K <sub>2</sub> O ‰ x 2,123	ou	K ‰ x 2,557
Na meq/100g	=	Na <sub>2</sub> O x 3,226	ou	Na‰ x 4,349

# Statut Acido-Basique

## Rappels

---

- SD → Risque Acidification de Surface: **Gradient de pH!!!!**
- **pH = Premier facteur d'activité biologique**
- Pluie, Activité Biologique, Engrais ( $\text{NH}_4^+$ ), Profil non homogénéisé
- pH Eau = pH solution Sol / pH Kcl = pH solution + Reserve acidité
- pH été acide (- 0,5 à - 1) / pH hiver + Basique
- Éléments à regarder
  - Prof Sol, Charge Cailloux (Pois de terre/ha) + Taille CEC
  - Saturation CEC et % H<sup>+</sup> (Acide) / Cao et Mgo (Basique)
  - pH eau (Sur plusieurs horizons) et pH Kcl
  - Taux de  $\text{CaCO}_3$  et Taux de Cao
  - Pratiques Culturelles

# Chaulage

Type de sol	Sol très acide	Sol acide	Sol peu acide		Sol neutre	Sol basique
Ca/CEC	< 40 %	40 à 60 %	60 à 75 %	75 à 90 %	90 à 140 %	> 140 %
pH eau	< 5,4	5,4 – 5,8	5,8 – 6,2	6,2 – 6,5	6,5 – 7,2	> 7,2
Prairies permanentes	redressement	entretien	impasse	impasse	impasse	impasse
Prairies temporaires, Maïs, Céréales, Oléoprotéagineux	redressement	redressement	entretien	impasse	impasse	impasse
Orge, Luzerne	redressement	redressement	entretien	entretien	impasse	impasse

Betterave

Source : Arvalis- Institut du végétal

VN (%Cao + 1,4x%Mgo) pour travail 30 cm → Valeur à diviser par 2 ou 3 en SD

Type de sol	Limon et limon sableux				Limon argileux				
	Sables					Argiles			
CEC (meq/100 g)	6	8	10	12	14	16	18	20	
Entretien (/an)	320	360	400	440	480	520	560	600	
Redressement	de 5 à 5,5	760	880	1000	1120	1240	1360	1480	1600
	de 5,5 à 6	980	1140	1300	1460	1620	1780	1940	2100
	de 6 à 6,5	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600

Entretien = compensation export + perte ( 40-60<sub>u./an</sub> Mg - 150-300<sub>u./an</sub> Cao)

Adapter Type de produit et taille / objectif

Produits	VN (valeur neutralisante)	Vitesse d'action
Chaux vive	92	rapide
Chaux vive granulée	92	rapide
Chaux magnésienne	90	rapide
Carbonate 54 (pulvérisé)	54	moyenne à rapide
Carbonates vrac humide (broyés)	40-50	moyenne
Sables calcaires, Trez	30-40	lente

Ecume = VN 20-30 / 100kg = Rapide  
 Compost = VN 8 / 100 kg brut = Moy  
 Scorie = VN 50 / 100 kg = Rapide

# Chaulage

## Produits

---

### 1. Cout / unité de Valeur Neutralisante

Rappel 1 g de Mgo = 1,4 g de Cao

### 2. Rapidité d'action

#### a. Finesse de la mouture

Pulvérisé : 80% < 0,315 mm et 100% < 1mm

Granulé: aggloméré ou compacté. Finesse : produit avant granulation

Broyé: 80% < 4 mm

Concassé ou Brut: > 4mm

#### b. Solubilité carbonique

= rapidité d'action

Lent < 20 / 20 < Moyen < 50 / Rapide > 50

Rapide > 50,

Sur roche concassé (uniquement sur portion < 1mm)

10 < DureTendre < 25 , Tendre > 25

### 3. Calcium seul ou associé Magnesium

# Chaulage

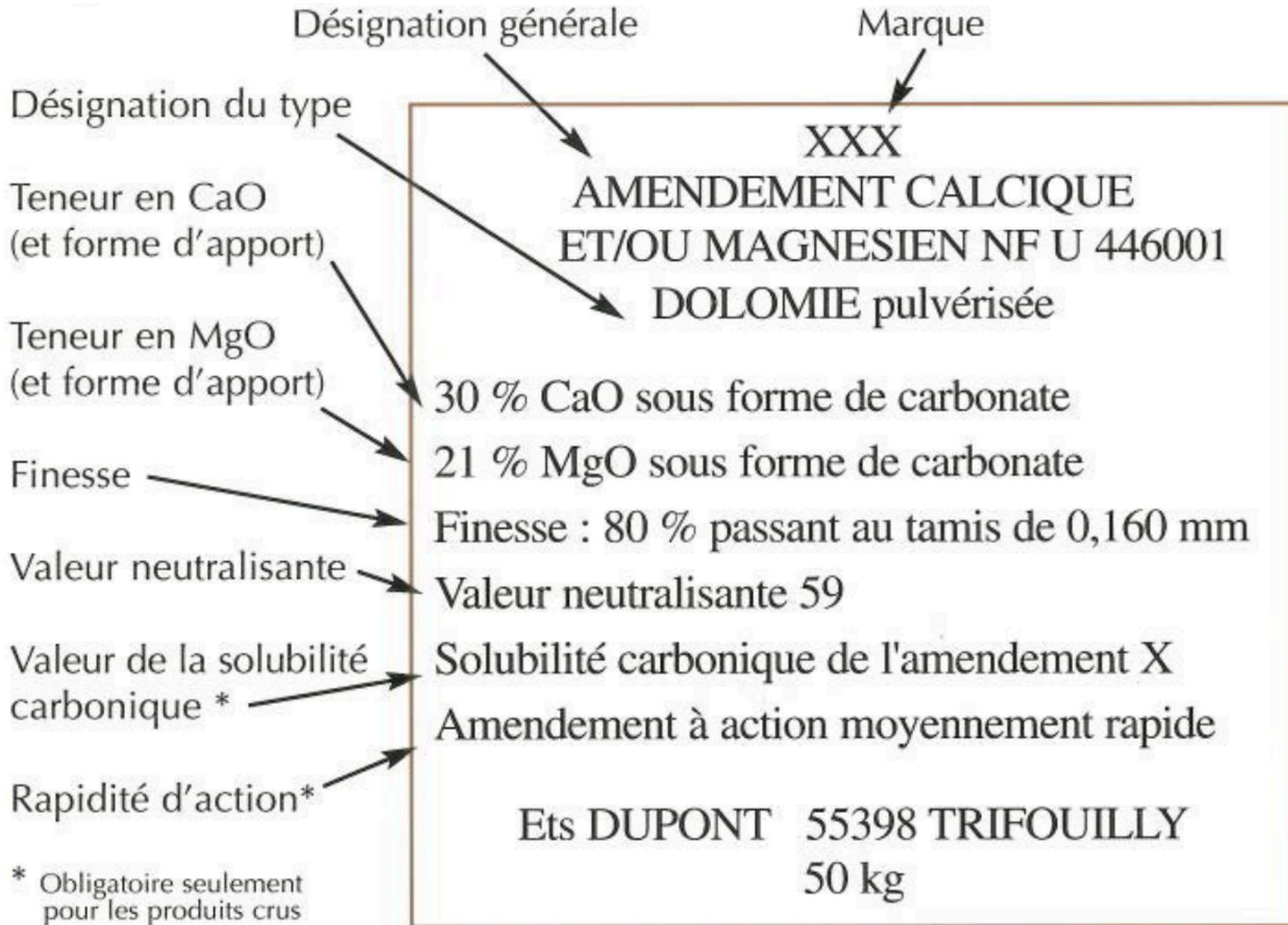
## Produits

### Les grandes catégories de produits

Types et appellation	Teneurs courantes		Valeur neutralisante	Solubilité carbonique (produits crus)	Autres caractéristiques
	% CaO	% MgO			
<b>Produits crus</b>					
Calcaire pulvérisé	45 à 55	0 à 2	45 à 55	50 à 80	Action rapide
Calcaire broyé	45 à 55	0 à 2	45 à 55	25 à 45	Action moyennement rapide
Dolomie pulvérisée	25 à 30	17 à 21	55 à 60	30 à 35	Action moyennement rapide
Dolomie broyée	25 à 30	17 à 21	55 à 60	10 à 20	Action lente
<b>Produit cuits</b>					
Chaux vive	80 à 95		80 à 95	Produits très rapidement efficaces. Manutention diminuée en raison de leur forte concentration	
Chaux vive magnésienne	45 à 75	18 à 40	80 à 110		
<b>Amendements mixtes</b>					
Amendement calcique mixte	50 à 72		50 à 72	Mélanges d'amendements crus et cuits.	
Amendement magnésien mixte	30 à 56	10 à 30	45 à 80		
<b>Engrais à valeur amendante</b>					
Ex : Scories Thomas 12	40 à 45	1 à 3	40 à 45	Engrais à bonne valeur neutralisante (entretien)	

# Chaulage

## Produits



\* Obligatoire seulement pour les produits crus

# Besoin en valeur Neutralisante

**Besoin en VN** = Quantité de CaO à apporter pour alimenter la CEC

$$VN = \text{Taille CEC}_{\text{meq}/100\text{g}} \times \% \text{ CaO} \times 0,28 \times M_{\text{terre}}/\text{ha}$$

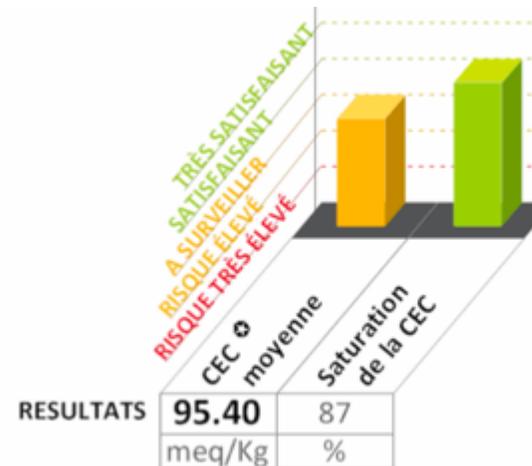
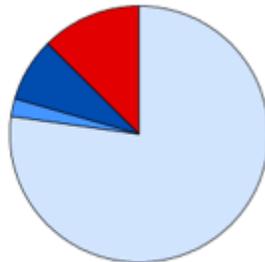
0,28 = Coefficient  $\text{Ca}^{2+} = 0,28 \times \text{CaO}$

$$M_{\text{terre}}/\text{ha} = 0,20 \text{ m} \times 1,5 \text{ d} \times 10\,000 \text{ m}^2 = 3000 \text{ t}$$

Quelle VN pour augmenter de 5% le taux de CaO sur cette analyse?

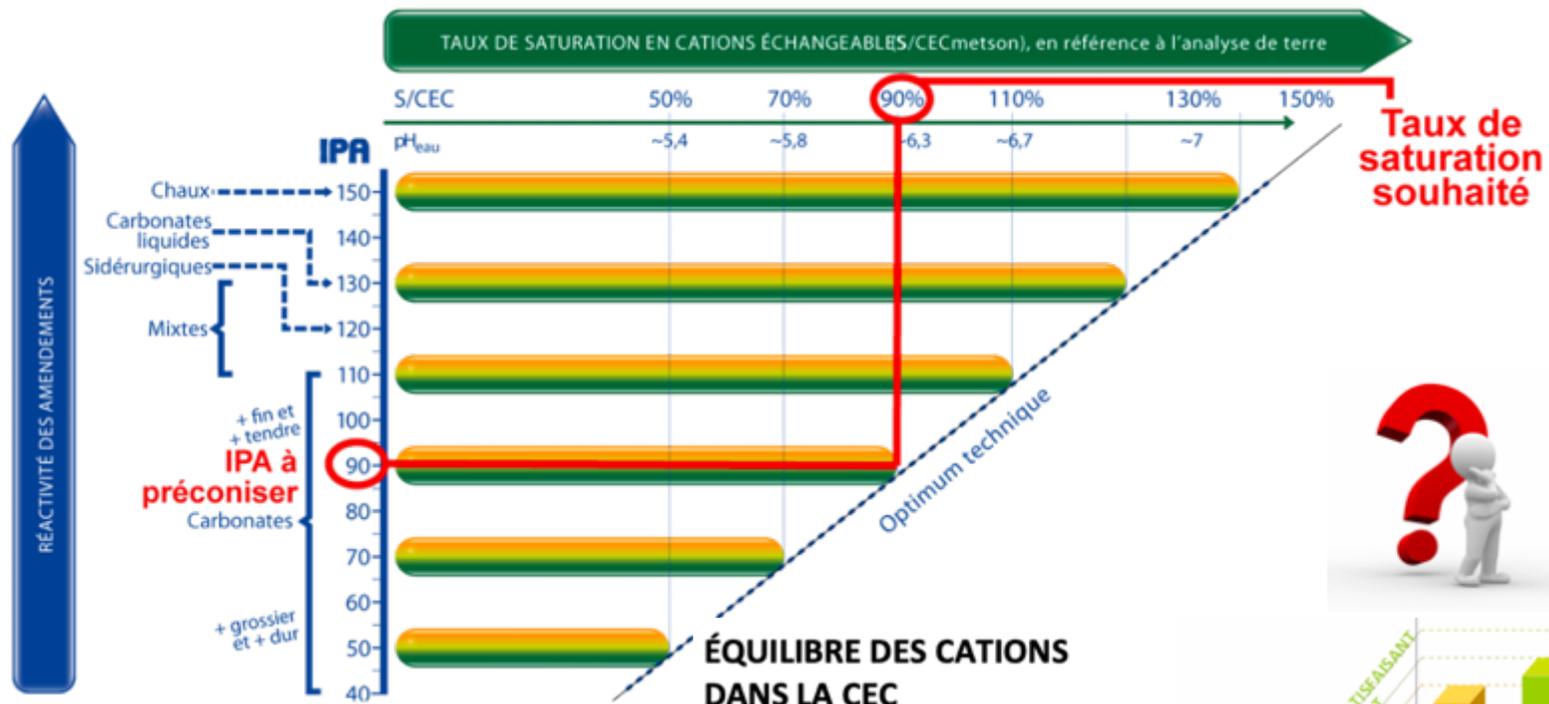
## ÉQUILIBRE DES CATIONS DANS LA CEC

Ca	77.2%
K	2.3%
Mg	7.8%
Na	0.0%
H	12.6%
Total : 100.0%	

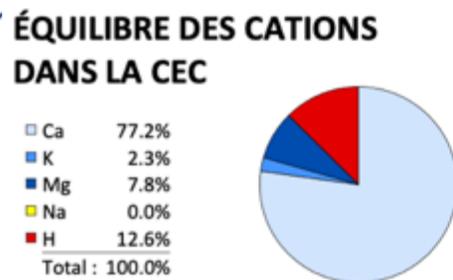


$$VN = 9,5 \times 0,05 \times 0,28 \times 3000 = 399$$

# Indice de Positionnement Agronomique



Quel IPA dois-je choisir?



Taux saturation recherché: 5%+87% = 92%  
Donc une IPA de 90%

# Impact Non Labour

---

## ***Les techniques culturales simplifiées***

Les techniques culturales sans labour (TCSL) ne modifient pas en elles-mêmes l'acidification. En revanche, elles concentrent l'acidité dans la couche de terre superficielle travaillée dont le pH peut s'abaisser rapidement. Le pouvoir tampon

du sol susceptible de s'opposer à la baisse de pH se trouve alors localisé dans cette couche où s'accumule la matière organique. Il est très important dans ces systèmes en non labour continu de suivre l'évolution du statut acido-basique de la couche de surface comme des couches plus profondes.

# Chaulage

---

- Si Ph > 5,5 préférez des Carbonates
- Apport de Mg par la Dolomie (20% Mgo + 30% Cao) mais lent
- Période épandage
  - Carbonate: Automne
  - Chaux : Toute l'année
- Chaulage avec les apports d'organiques:
  - Chaux NON → Perte d'azote
  - Carbonate OUI → Aucun problème
- Situations à risques
  - Blé/Blé = Risque Piétin échaudage
  - Pomme de terre = Galle
  - Attention après Chaux ou Carbonate très fin: Très sensible Bore et Mn , Sensible Cuivre et Zinc
- Sol Calcaire → apport de sulfate
  - Gypse ou Polysulfate

# Chaulage

## Produits

**Nouveau** **GRANUCAP 110**

"Un IPA Haute Performance" **Indice de Positionnement Agronomique IPA 110**

**Intrant Agricolture Biologique utilisable en**

GRANUCAP est composé de craie coccolithique très tendre constituée de squelettes d'algues unicellulaires (phytoplankton) d'origine marine (coccolithes). Les coccolithes sont si petites (quelques microns) qu'un mm<sup>3</sup> de craie peut en contenir jusqu'à 10 millions. Son efficacité dans le sol est remarquable avec une porosité (structure alvéolaire exceptionnelle) de l'ordre de 40 % du volume et une surface d'échange jusqu'à 5 m<sup>2</sup> par cm<sup>3</sup>.

Intrant utilisable pour la production de produits issus de l'agriculture biologique conformément au règlement (CE) n° 834/2007

**Ca<sup>++</sup>** Agir sur la structure avec le calcium (Ca) du GRANUCAP 110

- Fournit du calcium alimentaire
- Forme le complexe argilo humique
- Décompacte le sol et augmente la porosité
- Améliore l'accès à l'eau, à l'air et aux nutriments
- Augmente la densité et la profondeur des racines
- Favorise l'assimilation en K<sup>+</sup> et Mg<sup>++</sup>

**CO<sub>3</sub><sup>--</sup>** Agir sur le pH du sol avec le carbonate (CO<sub>3</sub>) du GRANUCAP 110

- Stimule la faune et la biomasse du sol
- Augmente la capacité d'échange du sol (CEC)
- Libère les nutriments de la M.O.
- Mobilise les fertilisants bloqués
- Limite le lessivage

**GRANUCAP 110**  
Amendement Minéral Basique NFU 44-001  
Amendement calcaire granulé

- 54,5 %** d'oxyde de calcium (CaO) total combiné à l'état de carbonate
- 55** Valeur Neutralisante (VN) totale origine carbonate
- 90** Solubilité Carbonique Amendement à action rapide
- Fe Cu Zn Mn** Oligo éléments origine naturelle indispensables aux plantes

**Facile à épandre !**

**Présentation :** produit granulé conditionné en vrac et big-bag 600 kg.

**Conseil d'utilisation :** 400 à 700 Kg / Ha

HA-14-04-2017

**Nouveau** **GRANUCAP 85 Duo 15**

"Un IPA Haute Performance" **Indice de Positionnement Agronomique IPA 85**

**Intrant Agricolture Biologique utilisable en**

GRANUCAP est composé de craie coccolithique très tendre constituée de squelettes d'algues unicellulaires (phytoplankton) d'origine marine (coccolithes). Les coccolithes sont si petites (quelques microns) qu'un mm<sup>3</sup> de craie peut en contenir jusqu'à 10 millions. Son efficacité dans le sol est remarquable avec une porosité (structure alvéolaire exceptionnelle) de l'ordre de 40 % du volume et une surface d'échange jusqu'à 5 m<sup>2</sup> par cm<sup>3</sup>.

Intrant utilisable pour la production de produits issus de l'agriculture biologique conformément au règlement (CE) n° 834/2007

**Ca** Agir sur la structure avec le calcium (Ca) du GRANUCAP 85 Duo 15

- Fournit du calcium alimentaire
- Forme le complexe argilo humique
- Décompacte le sol et augmente la porosité
- Améliore l'accès à l'eau, à l'air et aux nutriments
- Augmente la densité et la profondeur des racines
- Favorise l'assimilation en K<sup>+</sup> et Mg<sup>++</sup>

**CO<sub>3</sub><sup>--</sup>** Agir sur le pH du sol avec le carbonate (CO<sub>3</sub>) du GRANUCAP 85 Duo 15

- Stimule la faune et la biomasse du sol
- Augmente la capacité d'échange du sol (CEC)
- Libère les nutriments de la M.O.
- Mobilise les fertilisants bloqués
- Limite le lessivage

**Mg<sup>++</sup>** Activer de nombreux processus avec le magnésium (Mg) du GRANUCAP 85 Duo 15

- Favorise la photosynthèse
- Favorise la résistance à la sécheresse et aux maladies
- Favorise l'assimilation de l'azote minéral (teneur en protéines)
- Favorise la synthèse et la migration des sucres
- Améliore l'assimilation du phosphore
- Equilibre le rapport potasse/magnésie

**GRANUCAP 85 Duo 15**  
Amendement Minéral Basique NFU 44-001  
Amendement Calco Magnésien Granulé

- 34 %** d'oxyde de calcium (CaO) total combiné à l'état de carbonate
- 15 %** d'oxyde de Magnésium (MgO) total combiné à l'état de carbonate
- 55** Valeur Neutralisante (VN) totale origine carbonate
- Fe Cu Zn Mn** Oligo éléments origine naturelle indispensables aux plantes

**Facile à épandre !**

**Présentation :** produit granulé conditionné en big-bag 600 kg.

**Conseil d'utilisation :** 400 à 700 kg/ha

HA-14-04-2017

# Chaulage

Produits

## DOLOMIE HP AGRI CHAUX

AMENDEMENT MINERAL BASIQUE  
NF U 44-001

AMENDEMENT CALCAIRE PULVERISE

36 % D'OXYDE DE CALCIUM (CaO) total  
combiné à l'état de carbonate.

16 % D'OXYDE DE MAGNESIUM (MgO) total  
combiné à l'état de carbonate.

**VALEUR NEUTRALISANTE : 58**

- solubilité carbonique de l'amendement : 25
- amendement à action moyennement rapide.
- Finesse : 80 % au tamis 0.100 mm environ
- Produit utilisable en agriculture biologique conformément au règlement (CE) n°834/2007

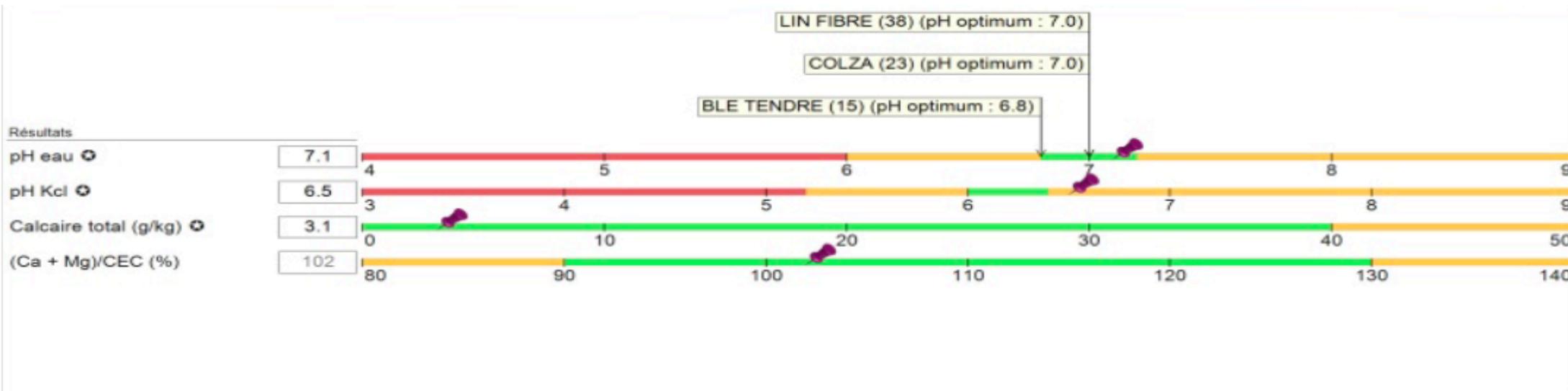
**MASSE NETTE : 1000 KG**

**AGRICH AUX**

Tél. 05 65 49 01 77

EMB 12 068 B

# CaCO<sub>3</sub> et Cao



# CaCO3 et Cao

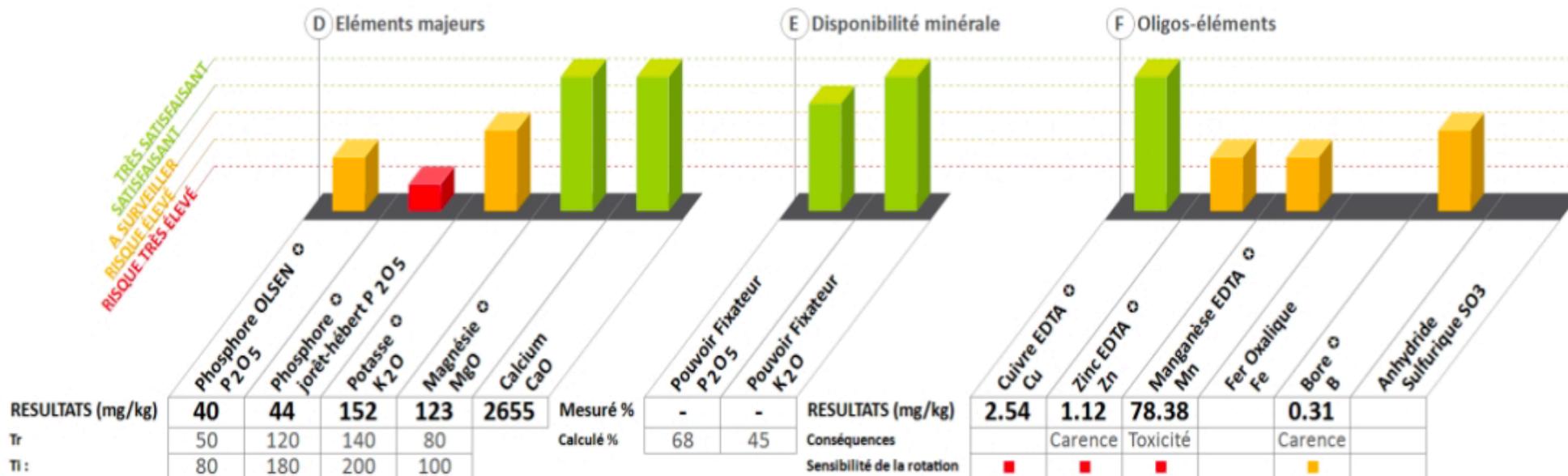
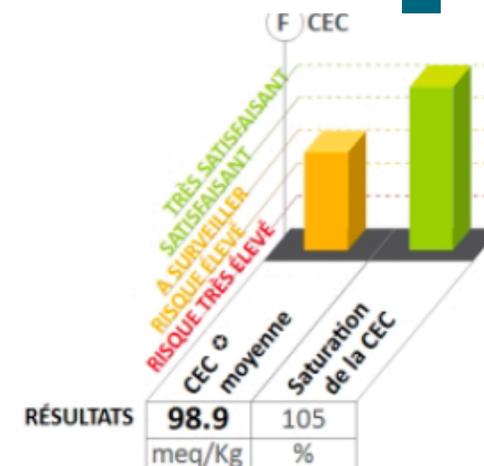
## D - Éléments Majeurs / E - Disponibilité Minérale / F - Oligo-Éléments

### SYNTHÈSE

Le phosphore est très déficitaire, la correction est impérative. Compte tenu de la CEC moyenne de votre sol (98.9 meq/kg), il est important de raisonner vos pratiques de fertilisation en conséquence afin d'éviter le lessivage. Les oligo-éléments suivants présentent une carence pour laquelle il faudra être attentif sur les cultures sensibles : Bore, Zinc. L'oligo-élément suivant présente une toxicité pour lequel il faudra être attentif sur les cultures sensibles : Manganèse.

### ÉQUILIBRE DES CATIONS DANS LA CEC

- Ca 90.6%
- K 3.2%
- Mg 6.2%
- Na 0.0%
- H 0.0%
- Total: 100.0%



Les interprétations des teneurs en éléments majeurs de la parcelle sont calculées à partir des normes COMIFER pour les cultures moyennement exigeantes. Les seuils Tr et Ti sont donnés par le COMIFER pour votre sol, ils permettent d'appréhender la fertilisation en tenant compte de l'historique cultural et de la sensibilité des cultures. Reportez-vous au plan de fumure indiqué ci-après.

# Cao

Gypse

70 e/t



180 e/t



# Cao

## Polysulfate



↓  
48%  
SO<sub>3</sub> sous forme de sulfate  
(19.2% S)

↓  
14%  
K<sub>2</sub>O du sulfate de potassium  
(11.6% K)

↓  
6%  
MgO du sulfate de magnesium  
(3.6% Mg)

↓  
17%  
CaO du sulfate de calcium  
(12.2% Ca)

420 e/t



260 e/t



# Le Magnesium

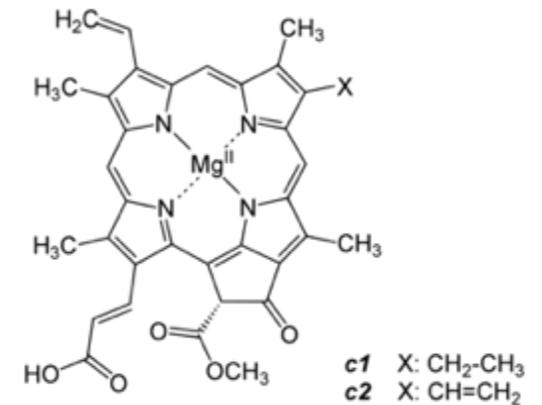
## La plante

### Assimilé sous forme $Mg^{2+}$ .

Base du noyau de la chlorophylle  
 Activité enzymatique et synthèse  
 protéique.

$MgO = 60\%$  de  $Mg$

	Coefficient d'exportation en unité/ql	Pour des rendements de...	Exportations (unités)	Prélèvements (unités)
Blé tendre pailles enfouies	0,15	90 q/ha	13	28
Blé tendre pailles exportées	0,24	90 q/ha	22	28
Orge-Escourgeon pailles enfouies	0,18	80 q/ha	15	30
Orge-Escourgeon pailles exportées	0,25	80 q/ha	20	30
Avoine	0,18	60 q/ha	10,8	-
Colza	0,4	40 q/ha	16	60
Maïs grain	0,18	100 q/ha	18	-
Tournesol	0,4	30 q/ha	12	-
Pois fanes enfouies	0,32	55 q/ha	18	45
Pois fanes exportées	0,4	55 q/ha	22	45
Féveroles	0,4	40 q/ha	16	-
Betterave sucrière (décolletées)	0,5 / t brute	80 tonnes	40	97
Pomme de terre	0,4 / t brute	35 tonnes	14	30
Maïs ensilage	3 / tonne MS	10 tonnes	30	40
Luzerne	3 à 5 / t MS	12 tonnes	18	40



# Le Magnesium

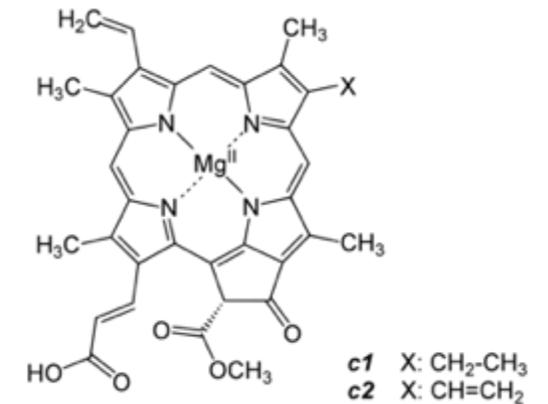
Dans le sol

## Lié au CAH.

Le sol perd en moyenne 40 à 60 kg de MgO par an à cause du lessivage

Rapport  $K_2O/MgO$  = **si ce rapport est supérieur à 2,5** des risques de carences en magnésie existent. Le potassium échangeable, en trop grande quantité dans la solution du sol, gênera la biodisponibilité du magnésium.

	«T impasse» en ppm pour MgO échangeable	
	cultures peu exigeantes : Céréales à paille, Pois	cultures exigeantes : Betterave, PDT, Luzerne...
<b>Limons francs, Limons battants, Limons calcaires, Sables calcaires, Sables</b>	60	100
<b>Limons argileux</b>	80	110
<b>Argiles limoneuses, Argiles sableuses, Sables Argileux,</b>	80	110
<b>Argilo-calcaires</b>	80	110



# Le Magnésium

## Dans les Engrais

Produit	(%)	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
<b>Korn-Kali®</b>					
Korn-Kali®		40	6	4	12,5
<b>Patentkali®</b>					
Patentkali®		30	10	-	42,5
<b>ESTA® Kieserit</b>					
ESTA® Kieserit fine		-	27	-	55
ESTA® Kieserit 26 fine		-	26	-	53
ESTA® Kieserit granulée		-	25	-	50
<b>Magnesia-Kainit®</b>					
Magnesia-Kainit®		9	4	35	9



# Interaction entre éléments

## Compétition dans la plante:

- Entre Cations:  
Calcium - Potasse - Magnésium -  
Sodium - Ammonium
- Entre Anions:  
Nitrate - Chlore – Soufre –  
Phosphore

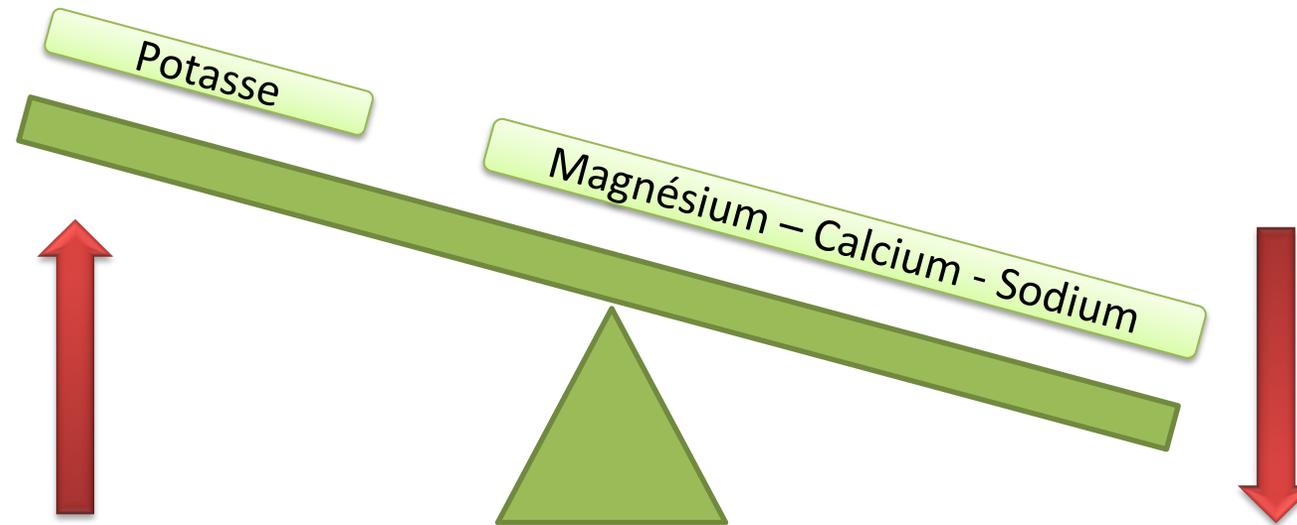


Potasse – Magnésium – Calcium - Sodium

# Interaction entre Cations

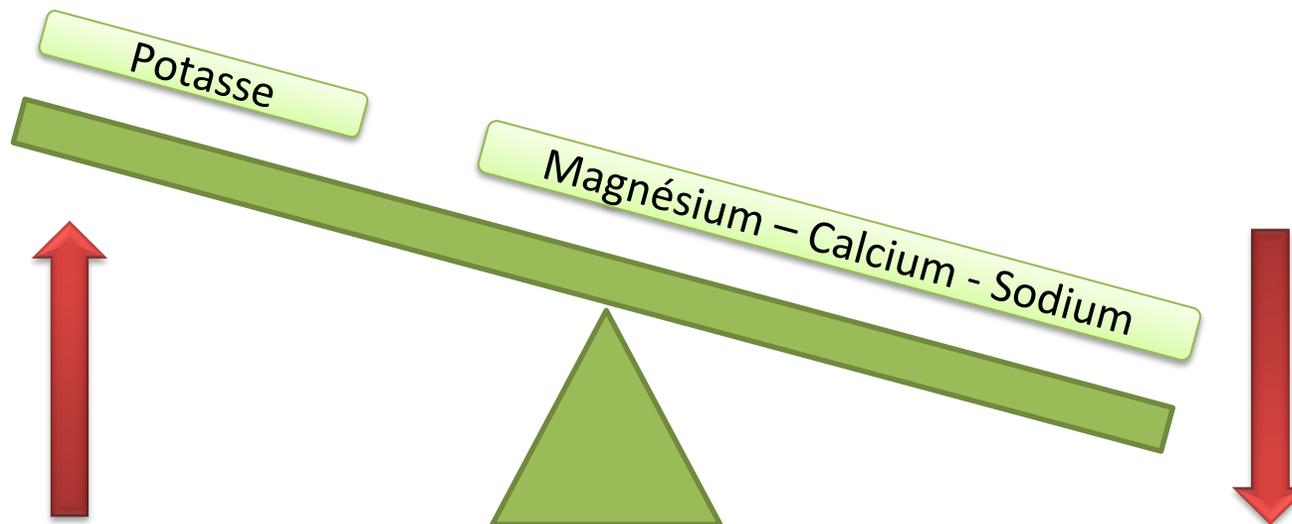
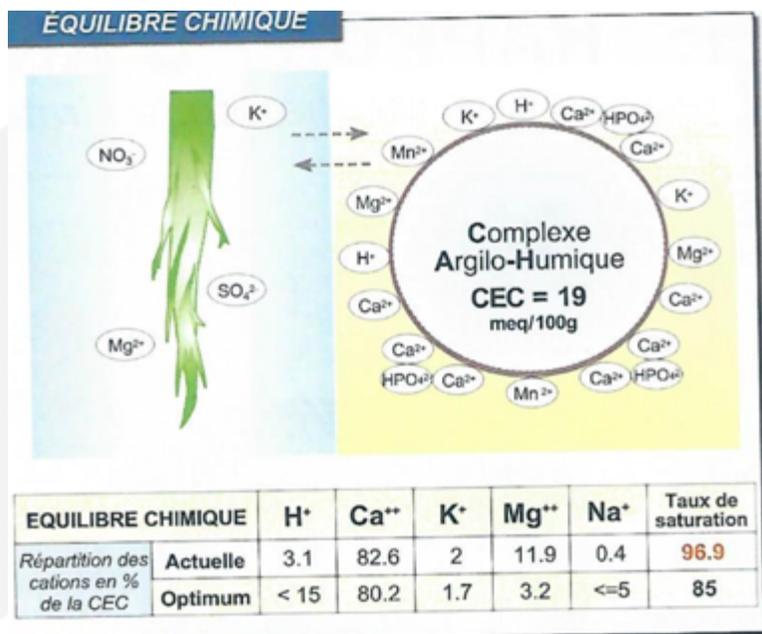
Absorption 1 Cation augmente → Les autres diminuent dans la sève  
Absorption 1 Cation diminue → Les autres augmentent dans la sève

→ Grosse application de Fumier ou Compost riche en Potasse diminue la capacité d'absorption en Mg, Ca, Na



# Rappel

## Equilibre des Cations : approche classique



Rapports	Équilibre entre les éléments (meq/100 g sol)				
	Insuffisant	Acceptable	Optimal	Fort	Trop fort
Ca/Mg	< 1	1 – 2	2 – 9	10 – 30	> 30
Plantes acidiphiles			0,8 - 5		
K/Mg	< 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,50	0,5 – 1	> 1
(Ca + Mg) / K	< 12	12 – 15	15 – 30	30 – 40	> 40
Plantes acidiphiles			6 – 8		

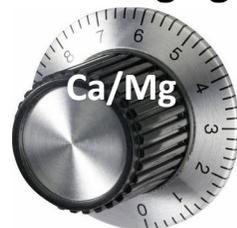
Source : Tableau 12.12 : Barème d'appréciation de l'équilibre entre les cations Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et K<sup>+</sup> (Doucet, 2006. p.332)

# Rappel

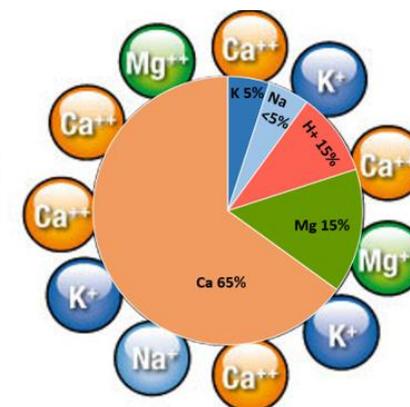
Equilibre des Cations : approche Kinsey

## La répartition idéale des cations sur la CEC

Le bouton de réglage Ca/Mg : un levier important



■ POTASSIUM	5 %
■ SODIUM	< 5 %
■ HYDROGENE	10 %
■ MAGNESIUM	15 %
■ CALCIUM	65 %

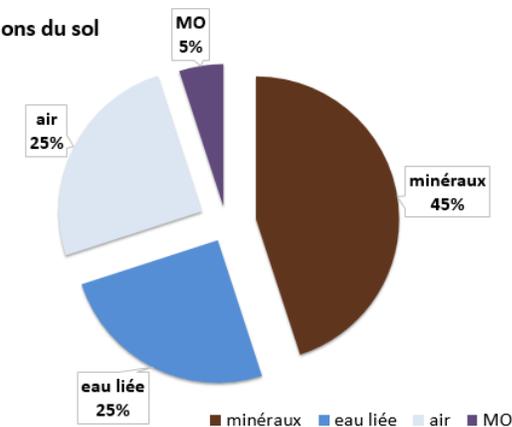


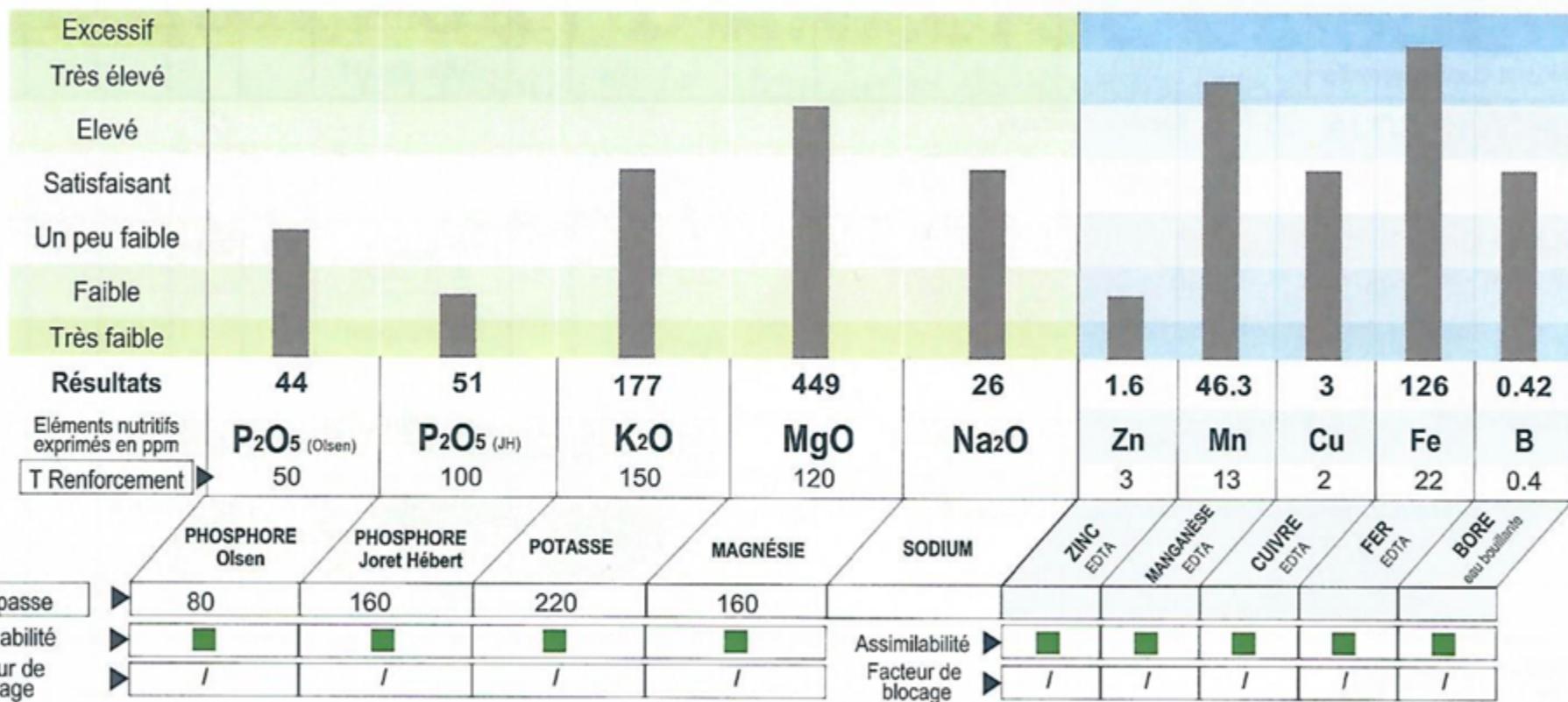
Ca/Mg : 68:12 = meilleur rapport AIR/EAU

Augmentation du % Ca = plus de pores occupés par l'air (Ventilation/Aération)

Augmentation du % Mg = plus de pores occupés par l'eau (Humidité/Cohésion)

% des fractions du sol





**Assimilabilité des réserves :**

- faible (risque de blocage)
- moyenne
- élevée : bonne disponibilité des réserves

	Résultat	Norme	Trop faible	Normal	Trop élevé
K <sub>2</sub> O/MgO	0.4	1.2	■		
CaO/MgO	9.8	35.5	■		

	Résultat	Norme	Trop faible	Normal	Trop élevé
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / Zn	27	16.7		■	■
Cu / Mo	0.88	0.8		■	

# La Potasse

## Dans les engrais

Assimilé sous forme **K<sup>+</sup>**.

Transport Passif et Actif

Rôle important dans la **régulation Osmotique**:

- Réduit la sensibilité à la sécheresse
- Régule la **fermeture des stomates**

**Croissance cellulaire** et **Synthèse protéique**

**Potasse exprimée en K<sub>2</sub>O = 83% de K**

ENGRAIS	FORMULE	% K <sub>2</sub> O	ÉLÉMENTS ASSOCIÉS
▶ Chlorure de potassium	KCl	60 %	46 % de chlorure, certaines cultures y sont sensibles
▶ Sulfate de potassium	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	50 %	44-45 % SO <sub>3</sub> sous forme sulfate directement assimilable
▶ Nitrate de potassium	KNO <sub>3</sub>	46 %	13-14 % N sous forme nitrique directement assimilable
▶ Sels de potasse et de magnésium	Différentes formules	10-40 %	Magnésium, soufre sous forme sulfate
▶ Composés PK		5-40 %	Phosphates, magnésium, soufre
▶ Composés NK-NPK		3-35 %	Azote, phosphates, magnésium, soufre

# Phosphore et Potasse

## Les Exportations

Coefficient d'exportation Unités/quintal		Exemples pour un rendement de ...	Exportations Unités	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O

Blé tendre pailles enfouies	0,9	0,5	90 q/ha	80	45
Blé tendre pailles exportées	1,2	1,8	90 q/ha	110	160
Blé dur pailles enfouies	1,2	0,6	75 q/ha	90	45
Blé dur pailles exportées	1,8	1,8	75 q/ha	135	135
Orge-Escourgeon pailles enfouies	0,8	0,7	80 q/ha	65	55
Orge-Escourgeon pailles exportées	1,1	2,1	80 q/ha	90	170
Colza	1,5	1	40 q/ha	60	40
Maïs grain	0,7	0,5	100 q/ha	70	50
Pois fanes enfouies	1	1,3	55 q/ha	55	70
Pois fanes exportées	1,5	3,5	55 q/ha	85	195
Féveroles	1,1	1,5	50 q/ha	55	75
Betterave sucrière (décolletée)	1 / tonne brute	2,5 / tonne brute	80 tonnes	80	200
Pomme de terre	1,5 / tonne	6 / tonne	40 tonnes	60	240
Luzerne	7 / tonne MS	26 / tonne MS	10 tonnes	70	260
Maïs ensilage	5,5 / tonne MS	15 / tonne MS	15 tonnes	85	225
Ray-grass	7 / tonne MS	28 / tonne MS	8 tonnes	55	225
Lin fibre			7 tonnes	20	15

# Le Sodium

## Absorbé sous forme Na<sup>+</sup>

En remplacement de la K<sup>+</sup> chez certaine plante: Betterave, Orge, Colza, Luzerne

→ Résistance à la sécheresse

ATTENTION : Baisse de la stabilité structurale des sols

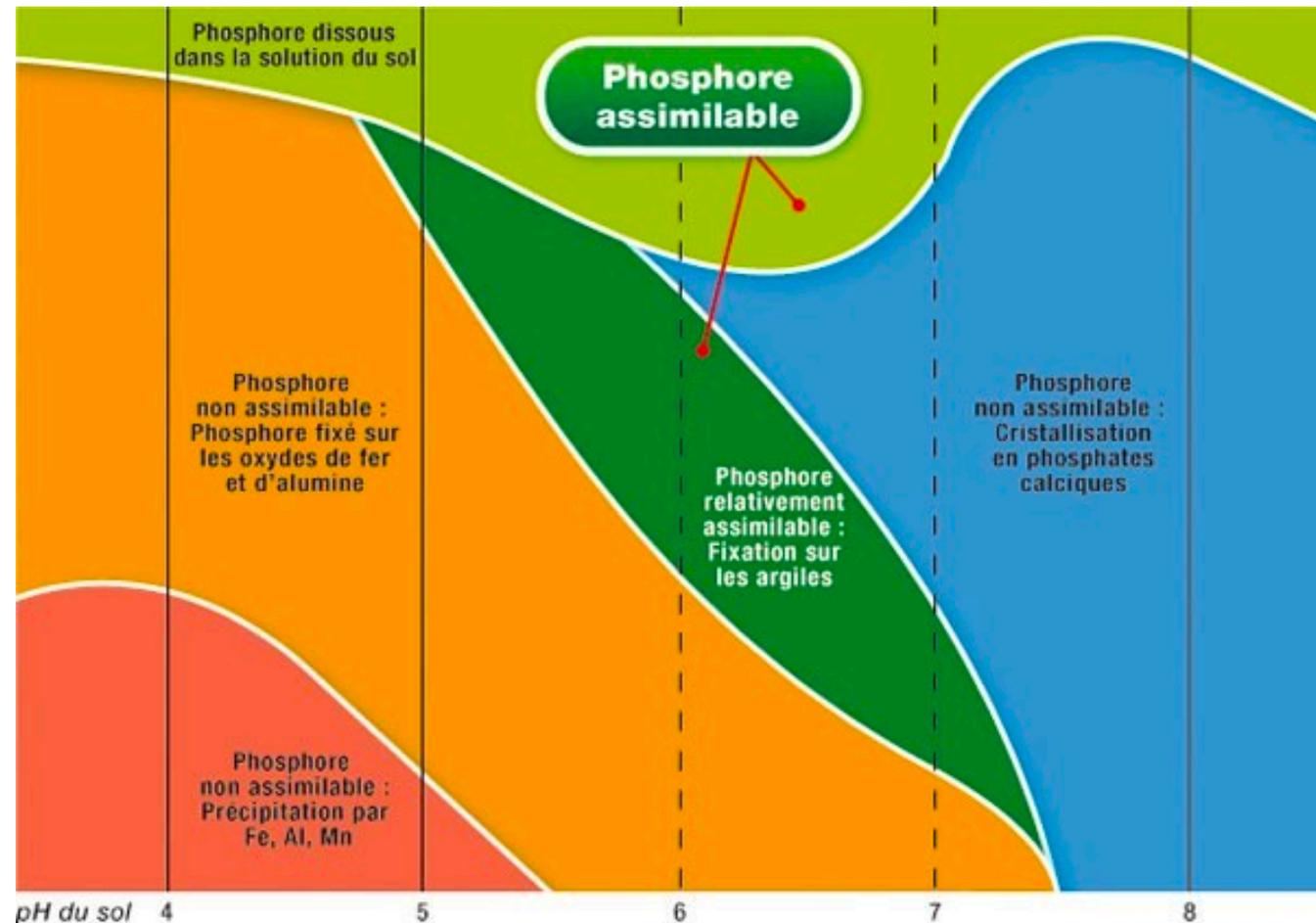
Produit	(%)	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Magnesia-Kainit <sup>®</sup>					
Magnesia-Kainit <sup>®</sup>		9	4	35	9

Si Na trop élevé → apport de Gypse (1 à 2 t/ha / 10% Argile)  
→ Thiosulfate de Ca (60 -100L/ha) ?  
→ Thiosulfate de Mg ???

# Le Phosphore

Dans le sol

## Formes de P en fonction du pH



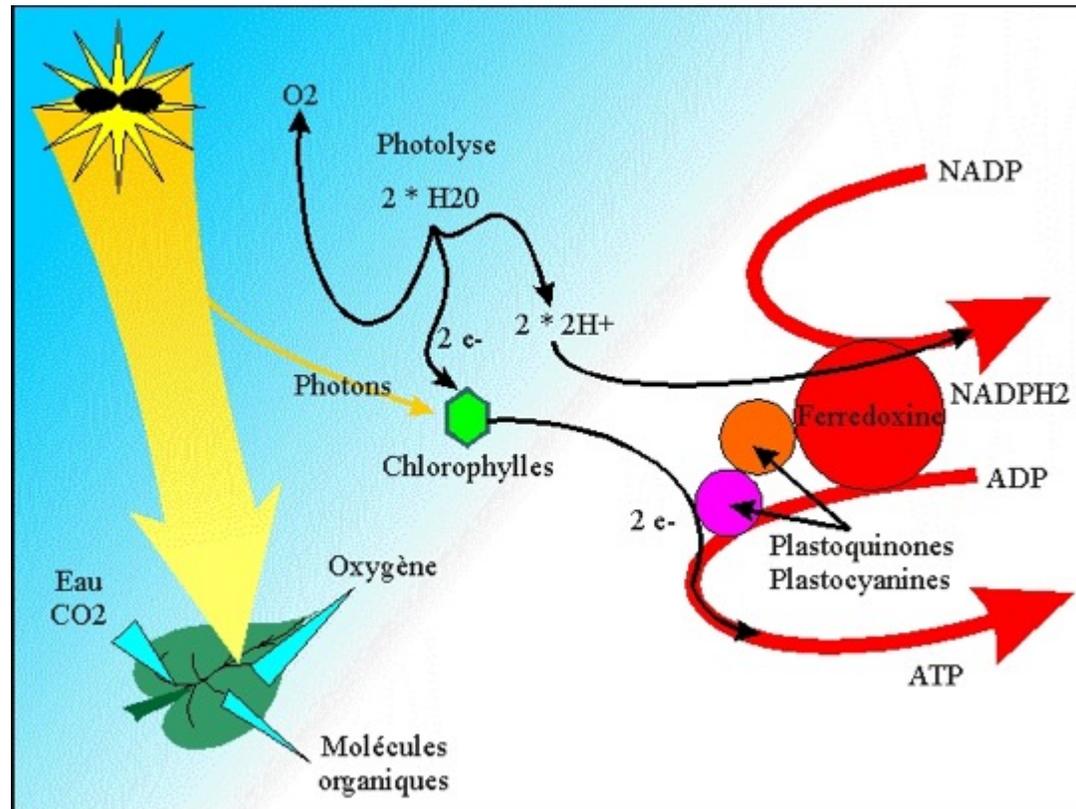
# Le Phosphore

Dans la plante

Assimilé sous forme  $\text{HPO}_4^{2-}$

Transport actif

Éléments indispensable au **cycle de l'énergie**



# Le Phosphore

Dans le sol et les engrais

devenir des engrais Phosphatés			Forme du phosphore	en quantité par ha	mobilité pour la plante	pouvoir extractif		
naturels	hypo-solubles	solubles eau				Olsen	Joret	Dyer*
	○	●	dissous dans la solution du sol	200 - 1000g soit 0,1 à 0,4%	directe	■	■	■
○ ○ ● ● ●	● ● ● ● ●	● ○	absorbé sur le complexe argilo-humique	500 kg soit 5%	échangeable et assimilable	■ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
● ● ●			lié au calcium (pH>7) à l'ammonium (pH<6) au fer (tous pH)	10 000 kg soit 95%	Lentement disponible Bloqué		□	■ ■ ■ □

# Le Phosphore

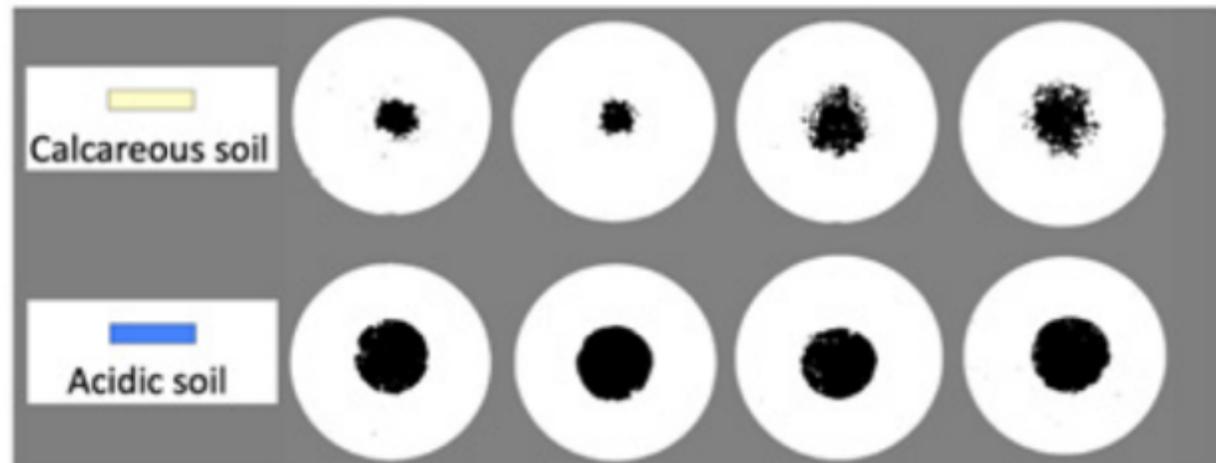
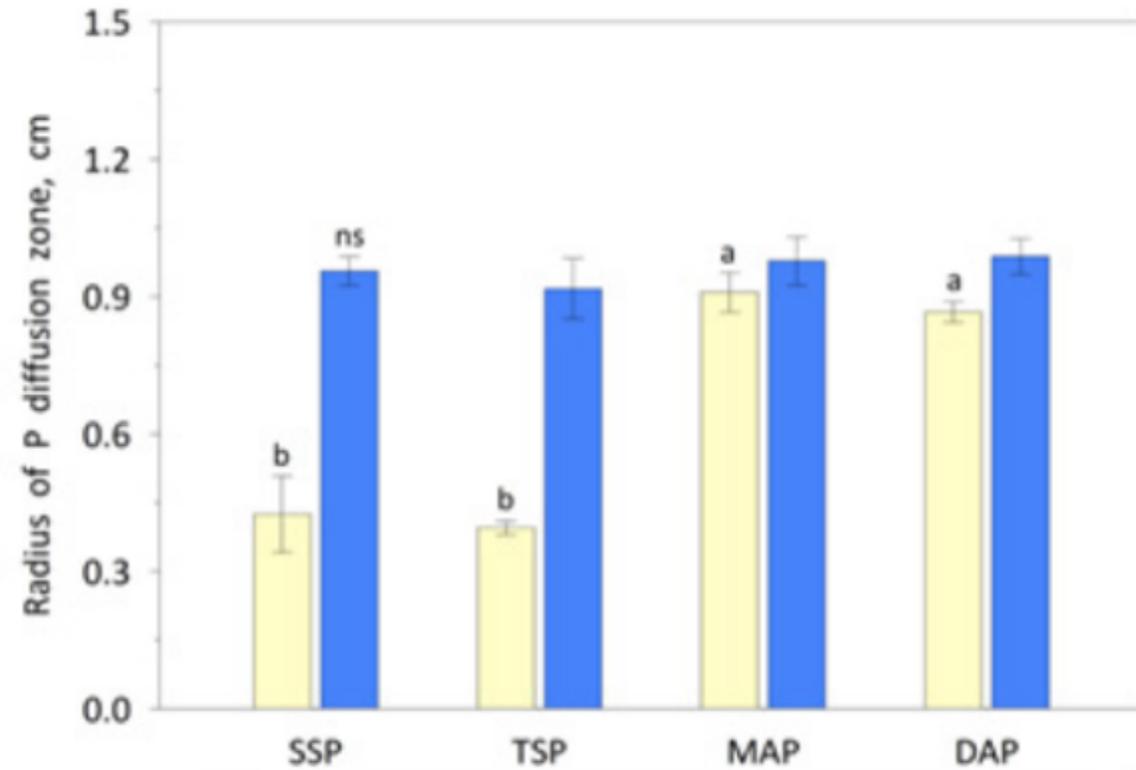
Dans les engrais

**P exprimé en  $P_2O_5$  = 43,6% de P**

ENGRAIS PHOSPHATÉS	SOLUBILITÉ DÉCLARÉE (NF U 42-001) DANS LE	RECOMMANDATION D'USAGE
▶ Superphosphate normal, concentré, triple (TSP)	▶ citrate d'ammonium neutre dont soluble dans l'eau	Tous types de sols
▶ Engrais NP: Phosphate d'ammoniaque (DAP)	▶ citrate d'ammonium neutre dont soluble dans l'eau	Tous types de sols
▶ Phosphate bicalcique, phosphate précipité dihydraté	▶ citrate d'ammonium alcalin	Tous types de sols
▶ Phosphate naturel partiellement solubilisé	▶ $P_2O_5$ total dont soluble dans l'eau	Sols acides pH<6.5
▶ Phosphate naturel tendre fin	▶ $P_2O_5$ total dont soluble dans l'acide formique	Sols acides pH<6.0

# Le Phosphore

Dans les engrais



# Fertilisation localisée (P. Dehosse, 76)

Essais de deux engrais en localisé pour un même coût

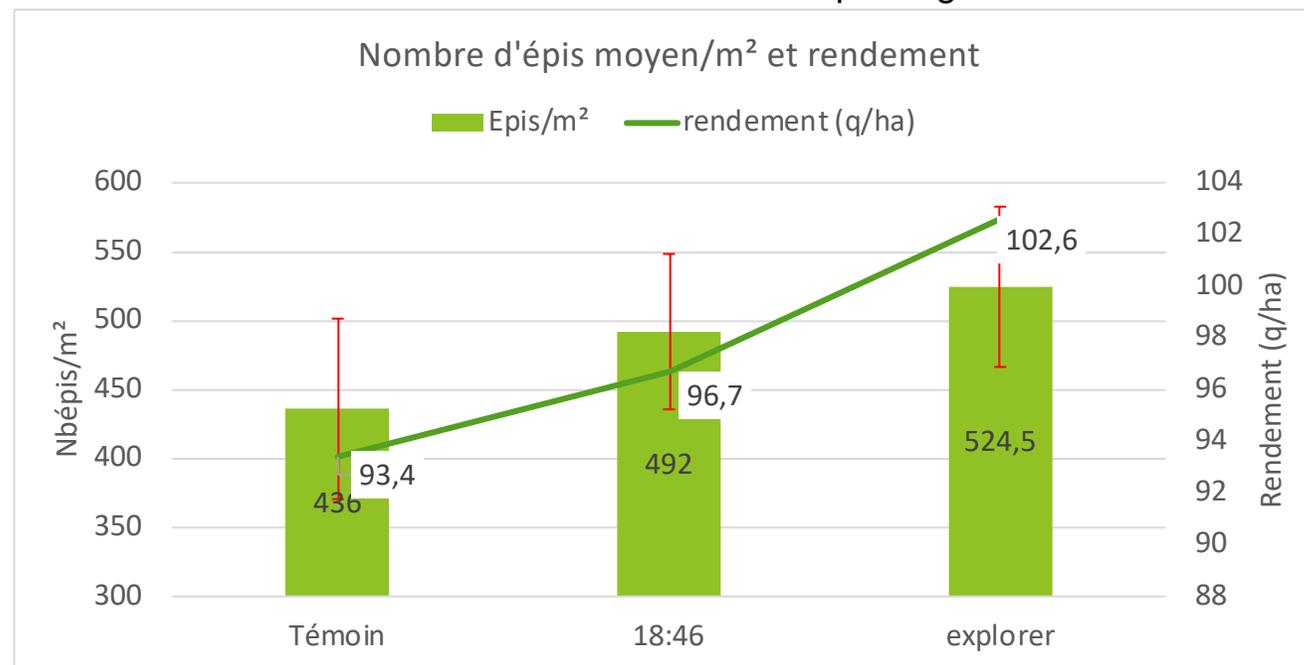
## Modalités :

- Témoin
- 80 kg/ha de 18.46
- 75 kg/ha d'Explorer (engrais organo minéral 10.20.0 + 8,5 Ca +5 Mg +9,5 S)

## ITK :

- Blé SD – précédent colza
- Semis le 12 octobre – 130 kg/ha
- Chevignon

Essai en bandes – rendement établi par l'agriculteur



On observe une augmentation du nombre d'épis/m<sup>2</sup> avec l'utilisation de fertilisation localisée.

Le rendement est nettement favorisé.

TENDANCE A  
CONFIRMER !

# Exigence

## Exigence VS Besoin

Exigence élevée	Betterave à sucre, colza, luzerne, pomme de terre
Exigence moyenne	Blé dur, maïs fourrage, orge, pois, ray-grass, sorgho, blé de blé
Exigence faible	Avoine, blé tendre, maïs grain, soja, tournesol

Tableau 2 : Classement des cultures selon leur exigence vis-à-vis du phosphore, proposé par le COMIFER (1995)

Exigence élevée	Betterave à sucre, pomme de terre
Exigence moyenne	Colza, luzerne, maïs grain, maïs fourrage, pois, ray-grass, soja, tournesol
Exigence faible	Avoine, blé tendre, blé dur, orge, sorgho

Tableau 3 : Classement des cultures selon leur exigence vis-à-vis du potassium, proposé par le COMIFER (1995)

# Doses conseillées

Haute Normandie

Haute Normandie				limons caillouteux sur argile à silex	argilo- calcaires superficiels sur craie	sables caillouteux non calcaires
	Exigence de la culture -->	Seuil -->	limons des plateaux			
Seuils P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , en mg/kg - Méthode Joret-Hébert	Forte exigence	Trenforcé	100	120	140	80
		Timpasse	160	180	200	200
	Moyenne exigence	Trenforcé	100	120	80	80
		Timpasse	160	180	180	180
	Faible exigence	Trenforcé	70	90	70	40
		Timpasse	150	170	150	150
Seuils K <sub>2</sub> O échangeable, en mg/kg	Forte exigence	Trenforcé	170	180	350	160
		Timpasse	300	310	450	200
	Moyenne exigence	Trenforcé	120	130	300	80
		Timpasse	180	190	400	160
	Faible exigence	Trenforcé	80	90	150	40
		Timpasse	150	160	300	110
Seuils P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , en mg/kg - Méthode Olsen	Forte exigence	Trenforcé	50	50	60	50
		Timpasse	80	80	100	80
	Moyenne exigence	Trenforcé	50	50	60	50
		Timpasse	80	80	90	80
	Faible exigence	Trenforcé	20	20	30	20
		Timpasse	70	70	80	70
Seuils P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , en mg/kg - Méthode Dyer	Forte exigence	Trenforcé	160	190		130
		Timpasse	220	250		300
	Moyenne exigence	Trenforcé	140	170		130
		Timpasse	220	250		310
	Faible exigence	Trenforcé	110	140		60
		Timpasse	210	240		230

# Doses conseillées

Haut de France

## Nord-Picardie

	Exigence de la culture	Seuil	Limons battants	Limons argileux	Argiles	Cranettes
<b>Seuils P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en mg/kg - Méthode Joret-Hébert</b>	Forte exigence	Trenforcé	100	100	100	280
		Timpasse	160	160	160	400
	Moyenne exigence	Trenforcé	100	100	100	250
		Timpasse	160	160	160	300
	Faible exigence	Trenforcé	70	70	70	200
		Timpasse	150	150	150	260
<b>Seuils K<sub>2</sub>O échangeable, en mg/kg</b>	Forte exigence	Trenforcé	170	200	250	200
		Timpasse	300	400	450	400
	Moyenne exigence	Trenforcé	120	150	200	80
		Timpasse	180	220	270	250
	Faible exigence	Trenforcé	80	100	150	50
		Timpasse	150	150	200	100
<b>Seuils P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en mg/kg - Méthode Olsen</b>	Forte exigence	Trenforcé	50	50	50	90
		Timpasse	80	80	80	130
	Moyenne exigence	Trenforcé	50	50	50	80
		Timpasse	80	80	80	100
	Faible exigence	Trenforcé	20	20	20	50
		Timpasse	70	70	70	80
<b>Seuils P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en mg/kg - Méthode Dyer</b>	Forte exigence	Trenforcé	160	160	160	
		Timpasse	220	220	220	
	Moyenne exigence	Trenforcé	140	140	140	
		Timpasse	220	220	220	
	Faible exigence	Trenforcé	110	110	110	
		Timpasse	210	210	210	

# Apports recommandés

---

$$\begin{aligned} & \text{Dose } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ conseillée (en kg/ha)} = \text{Coefficient multiplicatif des exportations} \times \text{Rendement prévu (unité de rendement aux normes)} \times \text{Teneur en } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ dans les exportations (kg } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ par unité de rendement aux normes)} \\ & \text{avec un supplément éventuel dû aux exportations de résidus du précédent} \end{aligned}$$

*Le groupe PKMg du COMIFER, 2009*

→ Intégration valeurs restitution couvert

# Apports recommandés

## Grille de calcul des doses de phosphore ( $P_2O_5$ ) à apporter

Grille de coefficients multiplicatifs des exportations, appliquée à la récolte principale (grains le plus souvent)

**$P_2O_5$**

**Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation**

**Teneur du sol**  
Positionner la teneur par rapport aux seuils

Teneur faible → Teneur élevée

Cultures	Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	Teneur du sol						
		Trenf.	Timp. -10%	Timp.	Timp. +10%	2x Timp.	3x Timp.	
<b>Cultures très exigeantes</b> Betterave sucrière Colza - Luzerne Pomme de terre	0	2.2	1.5	1.2	1.0	0.8	0	0
	1 an	3.3	2.0	1.5	1.2	1.0	0	0
	2 ans ou +	3.7	2.7	2.0	1.5	1.2	0.8	0
<b>Moyennement exigeantes</b> Blé/Blé - Blé dur Maïs fourrage - Pois Orge - R.G. - Sorgho	0	1.6	1.0	1.0	0	0	0	0
	1 an	1.8	1.2	1.0	1.0	0.8	0	0
	2 ans ou +	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.6	0
<b>Cultures peu exigeantes</b> Avoine - Blé tendre Maïs grain - Seigle Soja - Tournesol	0	1.3	1.0	0.8	0	0	0	0
	1 an	1.6	1.0	1.0	0	0	0	0
	2 ans ou +	1.6	1.2	1.0	1.0	0.8	0	0

► Cette grille P s'applique à toutes les cultures y compris fourragères, à leur récolte principale, mais ne s'applique pas aux résidus à enlèvement facultatif (pailles).

► Si les résidus de la culture précédente sont récoltés (paille, fanes...), un supplément de dose est proposé selon la règle suivante :

- pas de supplément en cas de sol à teneur élevée (teneur > Timp) qu'il y ait un conseil de dose nulle ou non d'après la grille ;
- le supplément correspond à l'exportation de  $P_2O_5$  des pailles sur la culture qui suit dans les autres cas (teneur < Timp).

Supplément de kg  $P_2O_5$ /ha sur la culture qui suit = Masse de résidus récoltés (t/ha) × teneur en kg  $P_2O_5$ /t

# Apports recommandés

## Grille de calcul des doses de potassium ( $K_2O$ ) à apporter (grandes cultures) Grille de coefficients multiplicatifs des exportations, appliquée à la récolte principale (grains le plus souvent)

**$K_2O$**

Pour toute destination des résidus du précédent

Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation

Teneur faible

Teneur du sol  
Positionner la teneur par rapport aux seuils

Teneur élevée

	Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	Teneur du sol							
		Trenf.	Timp. -10%	Timp.	Timp. +10%	2x Timp.	3x Timp.		
<b>Cultures très exigeantes</b> Betterave sucrière Pomme de terre	0	1.7	1.2	1.0	0.8	0.6	0	0	
	1 an	2.0	1.4	1.2	1.0	0.8	0	0	
	2 ans ou +	2.3	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0	
<b>Moyennement exigeantes</b> Colza - Mais grain Pois - Tournesol Luzerne	0	1.6	1.2	1.0	0	0	0	0	
	1 an	2.2	1.4	1.2	1.0	0.5	0	0	
	2 ans ou +	2.2	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0	
<b>Cultures peu exigeantes</b> Blé tendre - Blé dur Orge - Avoine - Seigle	0	1.2	1.0	1.0	0	0	0	0	
	1 an	1.2	1.1	1.0	0	0	0	0	
	2 ans ou +	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	0	0	

► Cette grille K s'applique à toutes les grandes cultures, à leur récolte principale mais ne s'applique pas aux résidus à enlèvement facultatif (pailles).

► Pour ces cultures, la dose sera plafonnée à 400 kg  $K_2O$ /ha/an.

► Si les résidus de la culture précédente sont récoltés (paille, fanes...), un supplément de dose est proposé selon la règle suivante :

- pas de supplément en cas de sol à teneur élevée (teneur > Timp) qu'il y ait un conseil de dose nulle ou non d'après la grille ;
- le supplément correspond à l'exportation de  $K_2O$  des pailles sur la culture qui suit dans les autres cas (teneur < Timp).

Supplément de kg  $K_2O$ /ha sur la culture qui suit = Masse de résidus récoltés (t/ha) × teneur en kg  $K_2O$ /t.

# Le Soufre

## Dans la Plante

### Absorbé sous forme $\text{SO}_4^{2-}$

Lessivable

Absorption racinaire et foliaire

Transport des  $\text{NO}_3^-$  et fixation du  $\text{N}_2$

Rôle indispensable dans:

- L'assimilation des nutriments (Réaction Red-ox)
- la synthèse AA, Protéines, Vitamines

Cultures très exigeantes	Colza, Choux, Moutarde, Ail, Oignon, Luzerne, Trèfle, Graminées fourragères
Cultures moyennement exigeantes	Céréales à pailles, Maïs, Pomme de terre, Betteraves sucrière et fourragère
Cultures peu exigeantes	Toutes les autres

# Le Soufre

## Dans le Sol

- La teneur en S des sols ~ 0.02-0.2%
- **60 à 95%** du S sous **forme organique**
  - Humus, résidus de cultures, biomasse microbienne
- Risque de carence dans les sols à textures grossières ou de faible profondeur: Argilo-calcaire, Sables, Limons peu profonds
- Attention aux hivers pluvieux

- **Forme plus ou moins oxydée en fonction du potentiel redox:**

- ❖ Sulfure ( $\text{H}_2\text{S}$  ou  $\text{S}^{2-}$ , -II)
- ❖ Soufre élémentaire (S, 0)
- ❖ Thiosulfate ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , +II)
- ❖ Sulfite ( $\text{H}_2\text{SO}_3$  ou  $\text{SO}_3^{2-}$ , +IV)
- ❖ Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ , +VI)



# Le Soufre

Dans les Engrais

$$SO_3 = S \times 2,5$$

Ex : Combien d'unités de  $SO_3$  apportent 10 kg de soufre micronisé à 80 % de S.

$$10 \times 80 \% \times 2,5 = 20 \text{ unités de } SO_3.$$

## Engrais pomme de terre : une gamme diversifiée

Nom	Firme	Statut réglementaire	Forme	Composition en éléments minéraux (% massique si pas d'autres précisions)								Additif	
				N-Total	N-Urée	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Ammonitrate 33.5	Générique	NFU-42 001	Solide	33.5		16.75	16.75						
Ammonitrate 27	Générique	NFU-42 001	Solide	27		13.5	13.5						
Urée granulée	Générique	NFU-42 001	Solide	46	46								
Solution azotée	Générique	NFU-42 001	Liquide	30	15	7.5	7.5						
Nexen <sup>TM</sup>	KOCH Fertiliser Products SAS	Engrais CE	Solide	46	46								NBPT
Kieserite	Générique	NFU-42 001	Solide					50	25				
Chlorure de potassium	Générique	NFU-42 001	Solide							60			
Superphosphate 45	Générique	NFU-42 001	Solide								45		
Sulfate de potassium	Générique	NFU-42 001	Solide					45	50				
DI-Ammonium phosphate (DAP ou 18-46)	Générique	NFU-42 001	Solide	18		18						46	

# Rappel Souffre

Cultures très exigeantes	Colza, Choux, Moutarde, Ail, Oignon, Luzerne, Trèfle, Graminées fourragères
Cultures moyennement exigeantes	Céréales à pailles, Maïs, Pomme de terre, Betteraves sucrière et fourragère
Cultures peu exigeantes	Toutes les autres

## Absorbé sous forme $\text{SO}_4^{2-}$

Lessivable

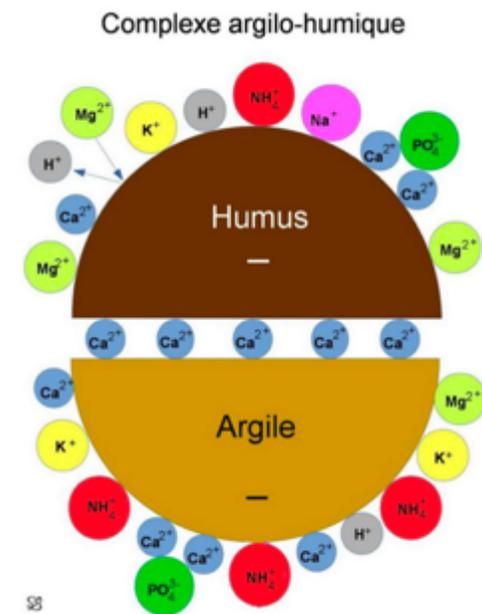
Absorption racinaire et foliaire

Transport des  $\text{NO}_3^-$  et fixation du  $\text{N}_2$

Rôle indispensable dans:

- L'assimilation des nutriments (Réaction Red-ox)
- la **synthèse AA, Protéines, Vitamines**

- Augmentation MO = Séquestration C = Immobilisation C, N et S Rapport MO : 100C/10N/1S (2,5  $\text{SO}_4$ )  
Conversion S  $\rightarrow$  2,5 x  $\text{SO}_4^{2-}$
- Augmentation 0,05 % de MO / an = 100 u. N + 10 de S = 25  $\text{SO}_4^{2-}$
- Apport de Souffre  $\rightarrow$  Réaction avec Cao  $\rightarrow$  Libération espace de CEC
- Si CEC saturée en Cao  $\rightarrow$  Augmenter les apports de Souffre



# Rappel Souffre

---

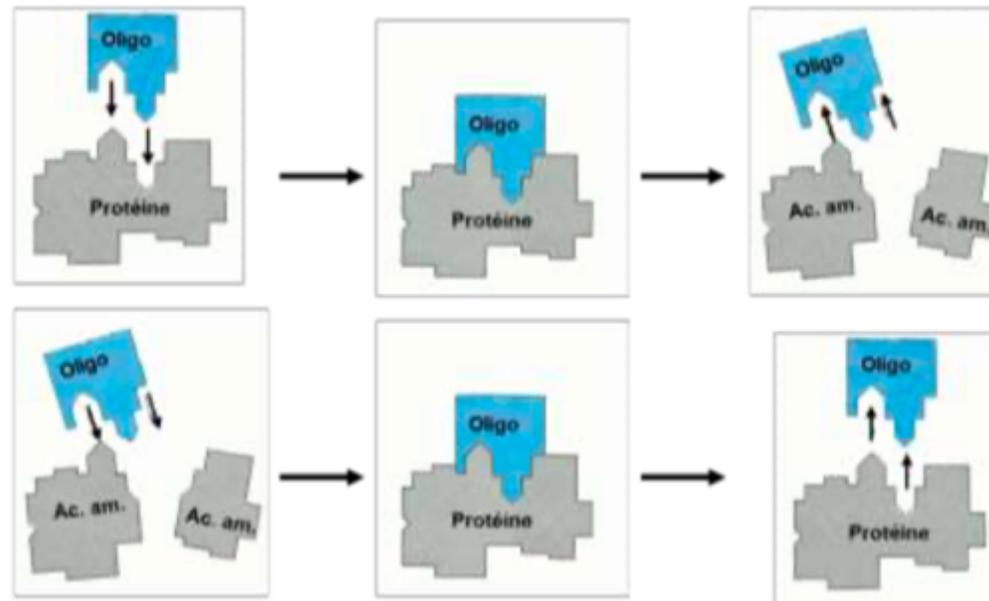
Exigence	Cultures	Besoins en kg SO <sub>3</sub> / ha
Forte	Colza, choux, moutarde, ail, oignon, luzerne, trèfle, graminées fourragères	200 à 100
Moyenne	Céréales à paille, maïs, pomme de terre, betterave sucrière et fourragères	100 à 50
Faible	Toutes les autres	50 à 20

# Rôles des nutriments dans la plante

	N	P	K	Mg	Ca	B	Zn	Fe	Mo	Cu	Mn
<b>Métabolisme général</b>											
Nutrition azotée								Yellow	Red		Red
Croissance	Red		Yellow			Red	Red				
Respiration					Yellow			Red			
Photosynthèse	Yellow			Red			Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow
Synthèse de sucres		Yellow	Red	Red							
Transport et accumulation des sucres					Yellow	Red					
Autres synthèses (ADN-lipides)						Yellow			Red		
Résistance contre les maladies			Yellow	Yellow	Red					Yellow	
<b>Floraison- nouaison</b>											
Induction florale		Yellow									
Floraison		Red				Red					
Fécondation	Yellow	Red				Red					
Nouaison						Red				Yellow	
<b>Production</b>											
Grossissement		Yellow	Red	Yellow							
Tubérisation			Red								
Précocité - Maturité	Yellow	Yellow			Yellow						
<b>Qualité</b>											
Fermeté du produit		Yellow		Red	Red		Yellow				
Qualité gustative			Red			Red					
Conservation				Yellow	Red	Yellow					

# Les Oligo-éléments

- Très **faibles quantités** (g/ha)
- Rôle essentiel dans les **mécanismes de croissance**
- Six principaux oligo-éléments : **le fer, le manganèse, le zinc, le bore, le cuivre, le molybdène**
- Cobalt, Selenium, Nickel
- **Catalyseur**



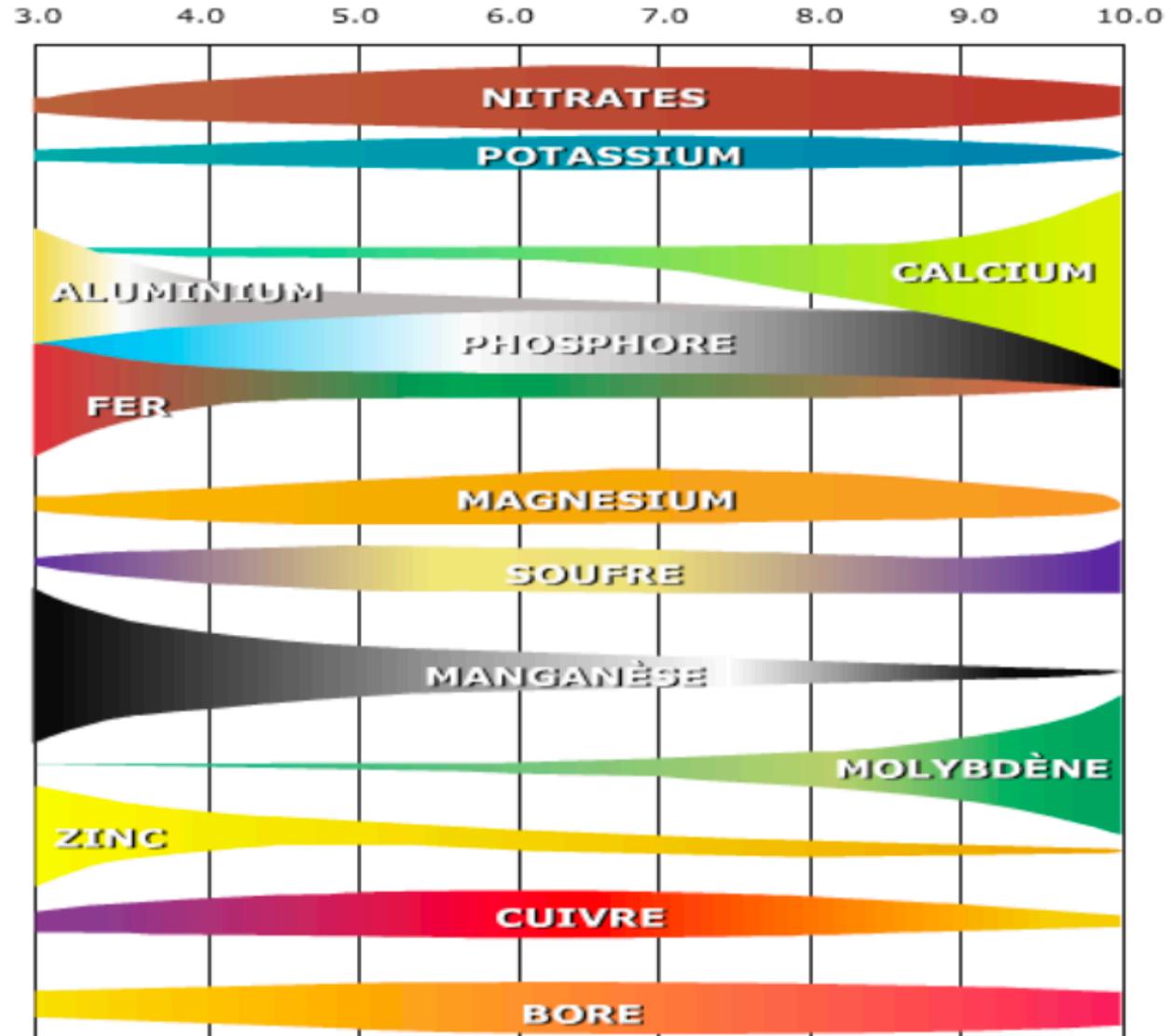
# Les Oligo-éléments

## Exportations des plantes

Culture et Rendement	Bore (B)	Cuivre (Cu)	Fer (Fe)	Manganèse (Mn)	Molybdène (Mo)	Zinc (Zn)
Céréales à paille (100 qx/ha)	40-210	100-400	2000	750-2100	8-10	900-1000
Maïs grain (100 qx/ha)	40-50	25-90	5000	285-690	4	300-600
Betterave (80 t/ha)	620	184	-	520	8	560
Pomme de terre (40 t/ha)	80-150	60	-	50	-	80-160
Tournesol (26 qx/ha)	350	40	-	300	4	110
Colza (30 qx/ha)	320	15-30	580-600	1650	12	210
Pois (50 qx/ha)	-	25-40	-	25-60	-	100-275
Lin fibre (7 t/ha)	-	-	-	-	-	50-300
Luzerne fourrage (7 t foin/ha)	140-350	70	-	300	5-20	100

(Source INRA/CETIOM)

# Conditions et disponibilité



# Conditions et disponibilité

## Influence des conditions de milieu sur le risque de carence

Conditions du milieu		Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Bore (B)	Molybdène (Mo)	Fer (Fe)
Sol	PH élevé > 6-7	+	+++	++	+++	---	+
	Taux de MO élevé	+++	+	+			
	Sol soufflé		++				
	Sol tassé				+		+
	Teneur élevée en phosphore assimilable	+	+	+			
	Calcaire	++			++		+++
Fertilisation	Teneur élevée en soufre sulfate					+	
	Apport excessif de phosphore			+			
	Chaulage	++	+++	++	+++		
Climat	Sècheresse		++		++		--
	Température douce		-	++			

(source INRA)

En faveur d'un risque de carence :

+ : Influence faible    ++ : Influence moyenne    +++ : influence forte

En faveur d'une amélioration de la disponibilité de l'oligo-élément :

- : influence faible    -- : influence moyenne    --- : influence forte

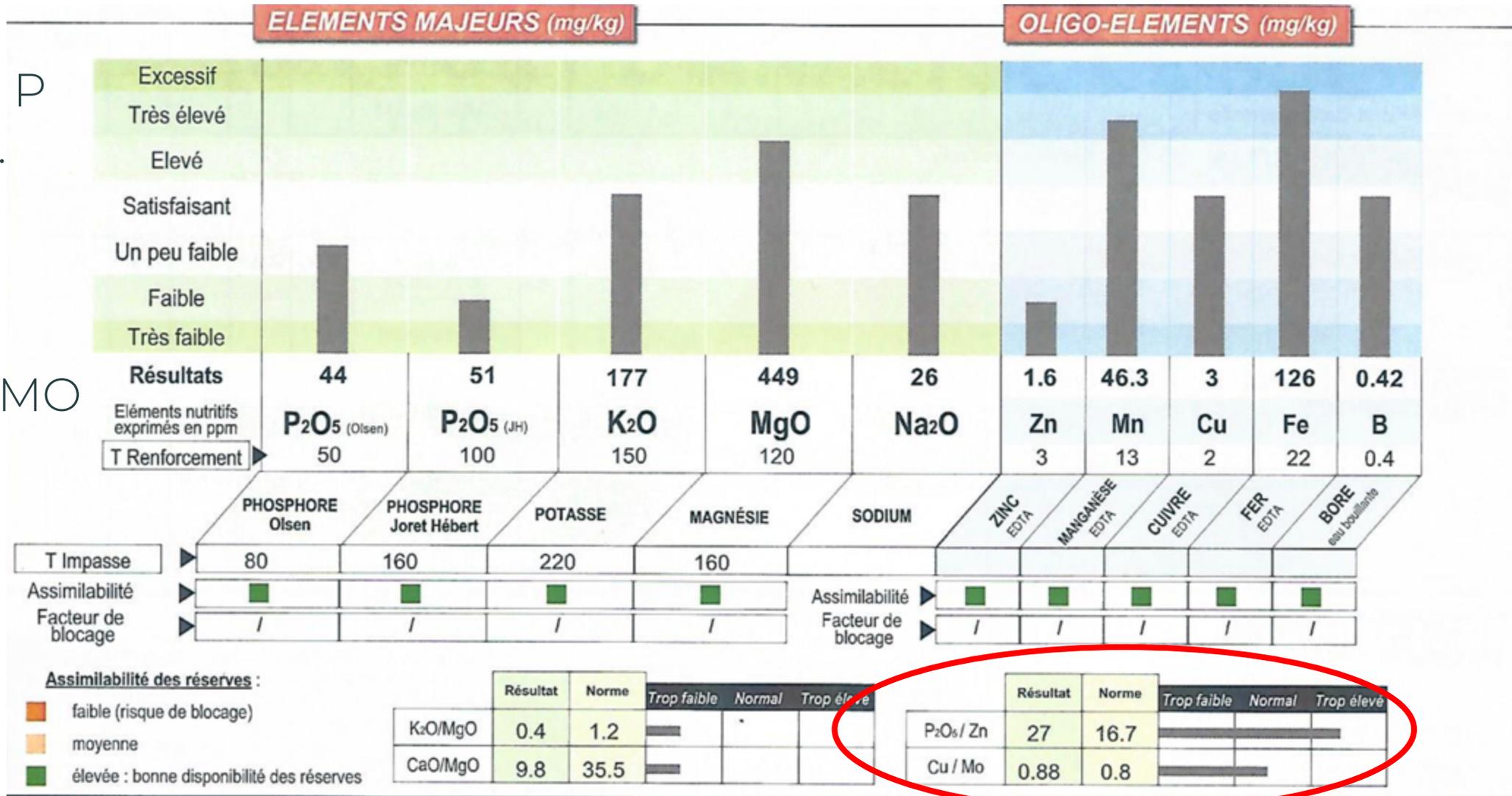
# Ratios

Les Excès de P  
bloque le Zn.

Ratio P/Zn

Les Excès de MO  
bloque le Cu.

Ratio Cu/Mo

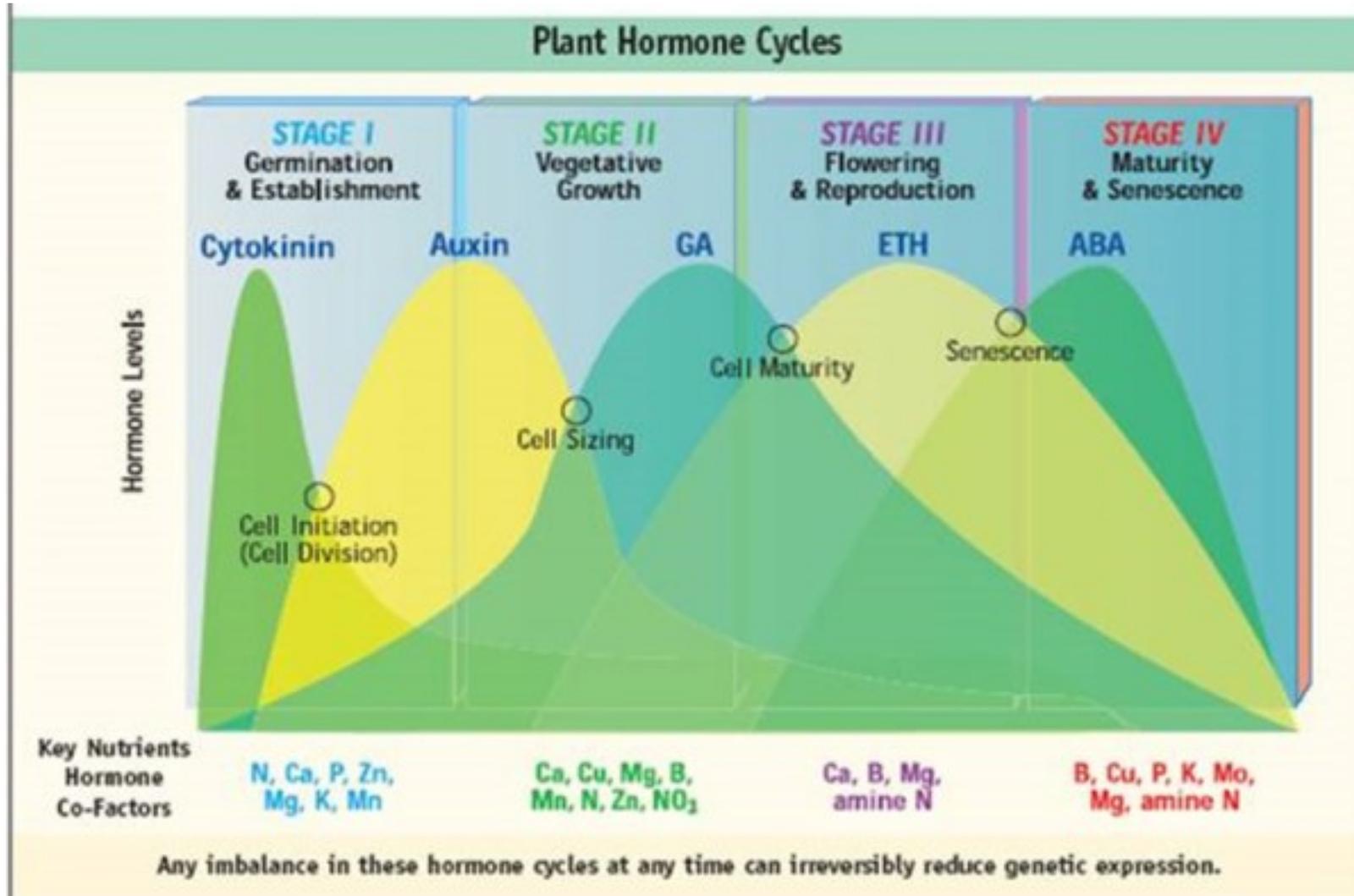


# Nutrition

## Sensibilités carences

Cultures	Mg	N total	S	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Céréales									
Blé			Orange	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Yellow
orge				Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Yellow
Avoine				Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Yellow
seigle				Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
riz									
Colza	Orange	Orange	Orange		Yellow		Yellow		Orange
Maïs	Orange		Yellow	Yellow	Yellow	Orange		Yellow	
Betterave	Yellow		Yellow	Yellow	Orange		Orange		
tournesol							Orange		
Pois	Yellow			Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Féveroles	Yellow			Yellow		Orange	Yellow		Yellow
Pomme de terre	Orange			Yellow	Yellow	Yellow	Orange		
lin						Orange			
haricots	Yellow			Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
luzerne	Yellow			Yellow	Yellow		Orange	Yellow	Orange
trefle				Yellow	Orange		Yellow	Orange	Yellow

# Couplage Hormones / oligos



# Apport enrobage

## Carbonate

**Agro**nutrition

**ACTIFLOW**  
Technologies for Foliar nutrition

MADE IN FRANCE

Diagram of nutrient elements: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, N, P, Mg, Ca, S.



Highly **CONCENTRATED** Nutrients

Liquid suspension with micronized particles average <10 um

Contents in g/L for liquid products

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
ACTIFLOW <b>BCa</b>	63					220	110					
ACTIFLOW <b>Ca560</b>						560				8		26
<b>NEW</b> ACTIFLOW <b>Ca440</b>						440						
ACTIFLOW <b>CaB</b>	55					220	55			8		
ACTIFLOW <b>CaMg</b>				200		310				8		24
ACTIFLOW <b>CaZn</b>	50	240				280						120
ACTIFLOW <b>CMZ</b>								100		250		250
ACTIFLOW <b>Combo</b>	58			15	204	94	44			80	4	
ACTIFLOW <b>MCZ</b>								110		330		84
ACTIFLOW <b>MgO 500</b>				500								
ACTIFLOW <b>MgS</b>				350	600							
ACTIFLOW <b>Mn 560</b>	92									560		
ACTIFLOW <b>Multi-Crop</b>	55			260				50		130		80
ACTIFLOW <b>Multi-Fruit</b>	75	240		100		320	20					30
ACTIFLOW <b>Zn 680</b>												680

# Apport enrobage

Carbonate

NUTRITION DES PLANTES

## ACTIFLOW Cu

FABRIQUE EN FRANCE

Agro nutrition

Precision technologies



Produit utilisable en agriculture biologique en application du RUE en vigueur

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO
B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	275		37		37

Données en g/L pour produits liquides

SC  
suspension concentrée

### Caractéristiques

Présence de SiO<sub>2</sub> : 15g/L

#### CONDITIONNEMENT

5L (Cartons de 2x5L)

#### CONSERVATION

24 mois

#### FORME

Liquide

#### STOCKAGE

A conserver dans un endroit frais et sec. A protéger contre le gel et autres températures extrêmes (températures supérieures à 40°C).

#### FORMULATION

Suspension concentrée

#### APPLICATION

Foliaire

# Oligos

---

## 🌿 Zinc:

- 🌿 Teneur en Zn dans le sol
- 🌿 **Ratio P/Zn (Pas plus de 20-25)**
- 🌿 Attention avec localisation de Phosphore
- Foliaire: Sulfate Zn (Ou Chlorure)
- En enrobage de semence : Chélate 5-10g/ctl ou Carbonate de Zn 50g/Qtl)

## 🌿 Cuivre:

- 🌿 Teneur en Cu dans le sol
- 🌿 **Ratio Cu/Mo (> 0,8)**
- 🌿 **Positionnement du cuivre sur céréales Avant Epi 1 cm**
- Sulfate du Cu ou Oxychlorure de CU
- En enrobage de semence : (Chélate 5-10g/ctl ou Carbonate Cu)

# Oligos

---

- Manganèse:
  - Facteur de blocage: pH – MO – Soufflage – Argilo-clacaire
  - Apport systématique: Paille/Paille, Escourgon, Colza, Protéagnieux
  - En foliaire: Sulfate de Mn + AA.
  - En Enrobage de Semence: En chélate (10-15 g/ctl) ou en Carbonate (Actiflow Mn 0,3-0,5L/Qtl sur argilo calacaire)
- Fer
  - Sous forme Chelate

# Oligos

---

## ➤ Magnésium:

- Sulfate de Magnésium ou Chlorure (Epsotop)
- Apport Mo, B \_ EF

## ➤ Bore

- Forme: Octoborate effet Insectifuge .
  - Autant racinaire que Foliaire
  - Effet Taupin et Pyrale
  - Sur Maïs: à 4 kg en Préventif sur sol humide
  - Attention pH Basique → utilisation plutôt solo PAS AVEC INSECTICIDE
- Forme Ethalonamine bien aussi (= Unibore / Pas d application avec les formulation flow (Kerb Flow, Mavrik Flow, Pentium Flow)

## ➤ Calcium

- Forme Chlorure de Calcium + effet alimentation azoté ?
- Amendement Calcique / Sol (Sulfate, Carbonate ou Cao)
- Apport de B et Mo

## ➤ Molybdène:

- Forme Molybdate de sodium : Attention ph Acide
- Couplage avec Azote

# Adjuvants

---

- Acide Aminée : Assimilation
- Thiosulfate : Comptabilisant
- Manganèse + produit acide

## Compatibilité

Acidification des bouillies

Bore + formulation Flow

Octobroate + Insecticide ou Glypho

Phosphate + Mn + Mg à bannir

Calcium + bore 1 kg max mais rien d'autre

Magnésium + Potassium Vigilance

Thiosulfate + produit acide (< 5 pH) attention

# Fiche Produits

## Mélasses

---

### 🌿 Caractéristiques:

Canne à sucre: + Riche en Oligo / Betterave: + riche en sucre

→ Mélasses de 2<sup>ème</sup> extraction + riche en Oligo et Macro

Attention aux additifs: Souffre

### 🌿 Utilisations:

Enrobage de semence: 0,1 / Qtl

TCO ou Multiplication EM = 2l/ha (5L max) en complément

En adjuvant: avec Phyto ou avec Azote Liquide

### 🌿 Vigilance:

Jamais en solo, avec apport de microbio si on ne veut pas risquer de multiplier les pathogènes

# Fiche Produits

## Acide Humique / Fulvique

### Caractéristiques:

AH= Pas d'absorption en foliaire

AF= Absorption par les feuilles

### Utilisations:

A. Fulvique : Chélatant en application avec TCO ou apport d'oligo en foliaire 1 à 2 L/ha

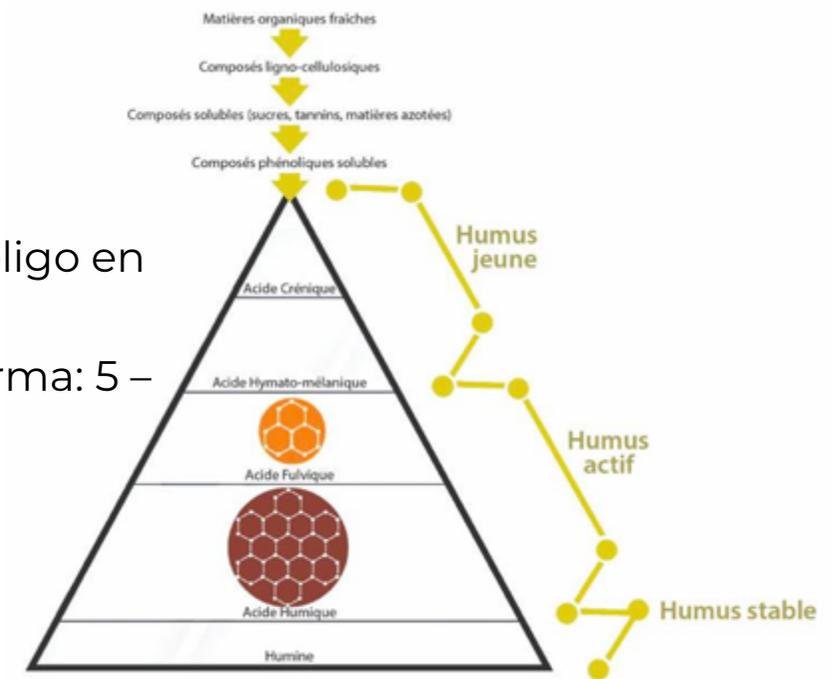
A. Humique : Au Sol – Détoxification → Couplage au trichoderma: 5 – 10 L/ha (20 L max) – Couplage avec EM

En enrobage de semence: AH/AF: 1L/Qtl

### Vigilance:

Attention qualité et reco. Fournisseur

**Attention pH**, compatibilité



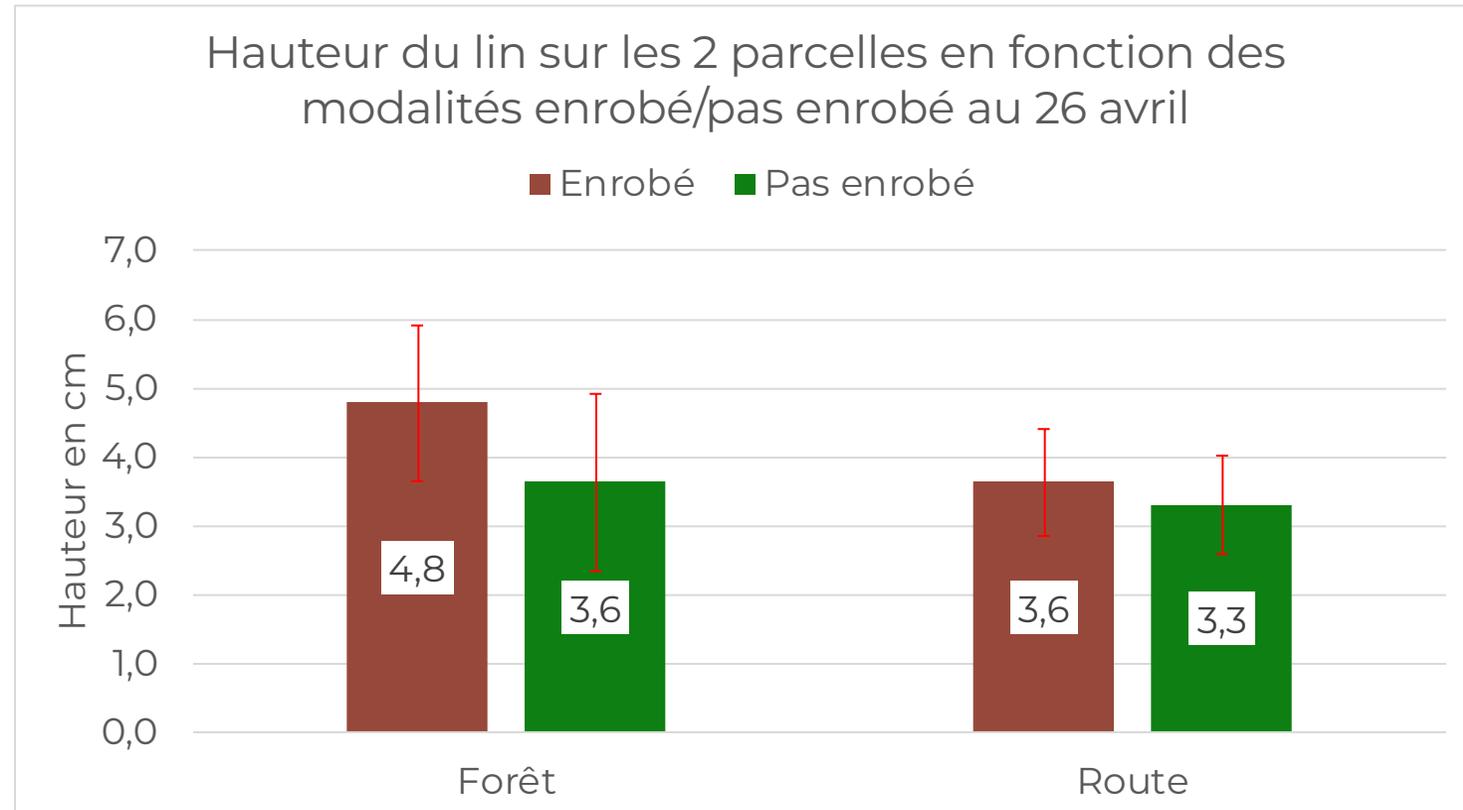
# Enrobage semence de lin (Y. Le Guesclou, 27)

## Protocole :

- Enrobage à base d'acide humique et fulvique (Humisol, pH = 5 à 6) 1L/qtl + mélasse 0,1 L/qtl
- Semis 25 mars

## Objectifs :

- Meilleure vigueur
- Meilleur développement racinaire
- Meilleure teneur en filasse



Pas de différences statistiques mais effet positif de l'enrobage sur la vitesse de levée

# Enrobage semence de lin (Y. Le Guesclou, 27)

Observation visuelle



# Localisation

## Essais Agriculteur

M. Fercoq



Témoign

TM semis (engrais minéral TMCE)

Acides humiques et fulviques 1L + mélasse 1L

TM semis + Acides humiques et fulviques 1L + mélasse 1L

	Témoign	TM semis	1l acides humiques et fulviques + 1l de mélasse	TM semis avec 1l de mélasse + 1l acides humiques et fulviques
Densité/m <sup>2</sup>	1054	1195	1249	1378

+13%

+18%

+30%

# Enrobage

Essais Agriculteur

Y. Leguesclou

AF/H 1L + Melasse 0,1



Sur maïs: Vol H2O limiter à 0,2 l/ctl

# Fiche Produits

## Algues

### Caractéristiques:

Créer un Stress pour Anti-stress à venir (Préventif)

AA, Oligos, Chélatant (Manitol), Phyto-hormones (Tolérance aux excès)

Vigueur de levée

Limite le feu bactérien → Bacteriose sur Prot

Pousse végétative / antistress : Ascophylum Nodosum

Floraison plus Laminaria Digitata

### Utilisations:

En amont de stress climatique (Gel tardif)

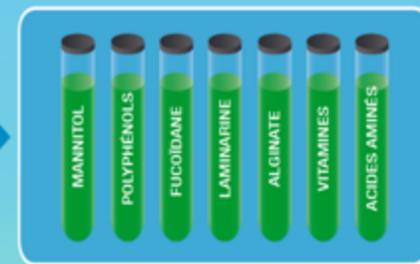
1L/ha Phylgreen ou Alguatrex (Extrait frais – microbio) / (Hydrolisat – pas de microbio)

Enrobage de semence en poudre séchée (Assimilation plus lente/longue)

### Vigilance:

Attention au sur-dosage

2. Adaptation à l'environnement: très riche en composants clés



# Fiche Produits

## Acides Aminés

### Caractéristiques:

Différent en fonction de l'amino-gramme et composition: Anti-stress / Booster Végétatif /  
Booster Reproducteur

Augmentation sécrétion racinaire

→ Regarder le % N orga (3-4 % mini)

→ Préco Fabricant

### Utilisations:

Delfan/adèle: Résistance au stress 1L/ha (Env. 9-12 e/l)

Aminotrex/ Booster Végétatif 5 L/ha (Env 2 e/l) / végénergie : 1L/ha)

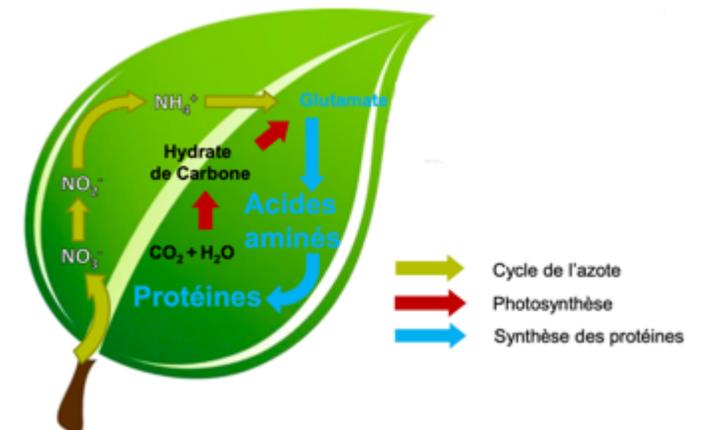
Eco-amino: 5l/ha (1,5 e/l) Avt Stress Hydrique ou détox

Enrobage de semence – (Lin, Céréales)

Assimilation Sulfate

### Vigilance:

Respect reco fournisseurs



# Fiche Produits

## Acides Aminées

### Acide glutamique :

Croissance végétative  
Assimilation de l'azote  
précurseur de nouveaux AA

### Alanine :

Vitesse de croissance  
Formation de chlorophylle  
Croissance racinaire  
Composant de la sève

### Glycine :

Synthèse de la chlorophylle  
Formation des tissus  
Développement des feuilles et des bourgeons  
Pollinisation et fructification  
Résistance aux stress

### Proline :

Gestion de l'eau  
Rôle osmoprotecteur  
Résistance aux stress  
Pollinisation  
Reprise de germination du pollen après le froid

### Lysine :

Stimulation de la photosynthèse  
Croissance végétative  
Retarde la sénescence  
Résistance et récupération aux stress

# Fiche Produits

## Acides Aminés

### UNE VINGTAINÉ D'ACIDES AMINÉS UTILES POUR LA PLANTE

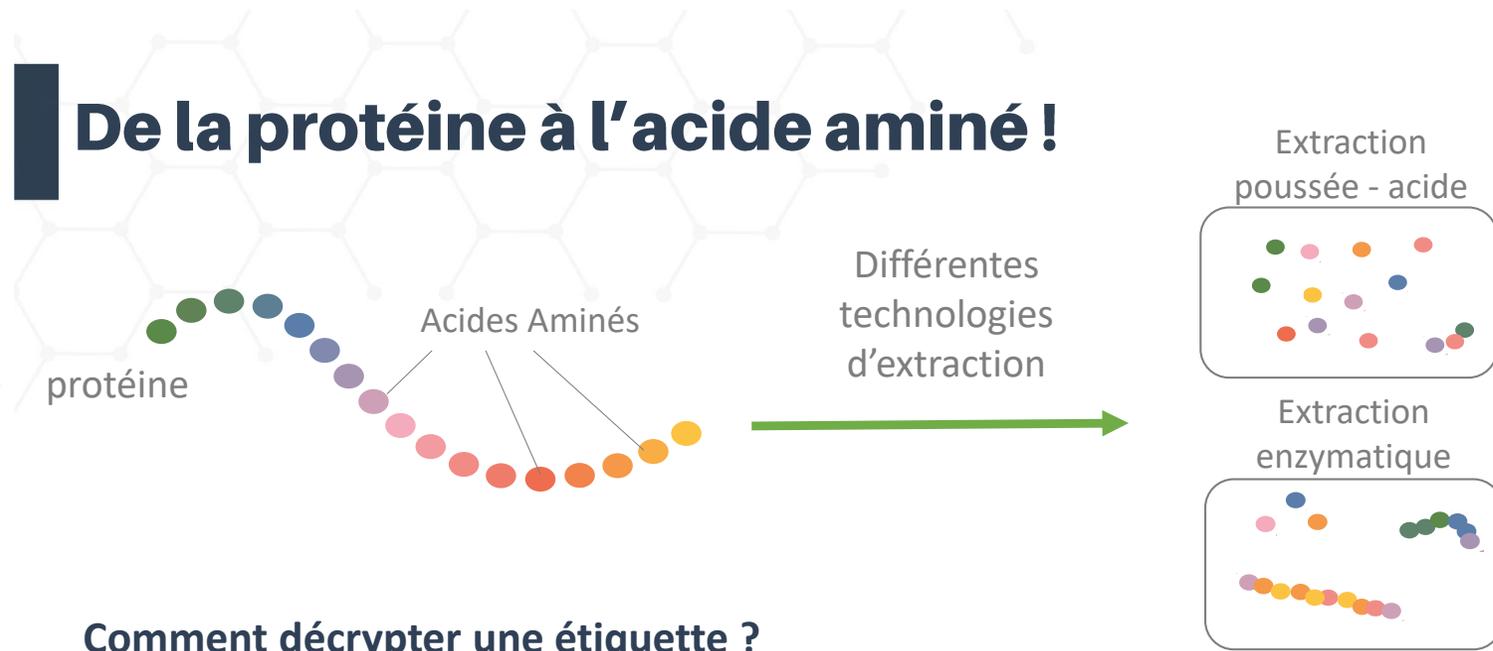
ACIDE AMINÉS	RÔLE DES ACIDES AMINÉS
ACIDE GLUTAMIQUE	Agent chélatant - Stimule la germination - Stimule la pollinisation. Précurseur de la synthèse de la chlorophylle.
ACIDE ASPARTIQUE	Stimule la germination - Participe à une meilleure assimilation de l'Azote - Augmente la résistance.
TYROSINE	Favorise la synthèse des molécules de défenses de la plante : acides phénoliques, flavonoïdes, alcaloïdes...
ALANINE	Augmente la vitesse de croissance - Stimule la photosynthèse Stimule le développement des racines.
GLYCINE	Agent chélatant - Précurseur de la synthèse de la chlorophylle
PROLINE	Osmoprotectant : protège des stress abiotiques (gelée, sécheresse, sol salin, etc.) - Favorise la fertilité du pollen.
LEUCINE	Action sur la croissance végétative.
THRÉONINE	Action sur la résistance.
SÉRINE	Précurseur d'acides aminés sulfurés. Stimulation de la photosynthèse.
LYSINE	Stimule la pollinisation.

### UNE VINGTAINÉ D'ACIDES AMINÉS UTILES POUR LA PLANTE

ACIDE AMINÉS	RÔLE DES ACIDES AMINÉS
ISOLEUCINE	Action sur la croissance végétative - Augmente les résistances.
PHÉNYLALANINE	Stimule la germination.
VALINE	Action sur la vitesse de formation des racines et croissance du végétal.
HISTIDINE	Action sur la croissance végétative.
ARGININE	Stimule la photosynthèse.
MÉTHIONINE	Acide aminé Soufré -Participe au métabolisme du Soufre. Action sur la maturité des baies et leur saveur.
CYSTÉINE	Acide aminé Soufré - Participe au métabolisme du Soufre. Action sur la maturité des baies et leur saveur.
TRYPTOPHANE	Précurseur principal de substance de croissance (auxines). Action sur la croissance végétative, racines, etc.
GLYCINE BÉTAÏNE	Osmoprotectant : protège des stress abiotiques (gelée, sécheresse, sol salin, etc...).

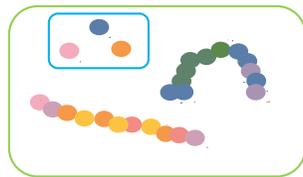
# Acides Aminés

## De la protéine à l'acide aminé !



### Comment décrypter une étiquette ?

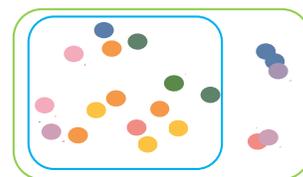
Acides aminés libres



Acides aminés totaux

85% AA totaux  
16% AA libres

Acides aminés libres



Acides aminés totaux

88% AA totaux  
82% AA libres

Différentes proportions d'acides aminés libres et peptides dans le produit fini

**Acides Aminés Libres**

En fonction de la technologie d'extraction

Forme L    Forme D

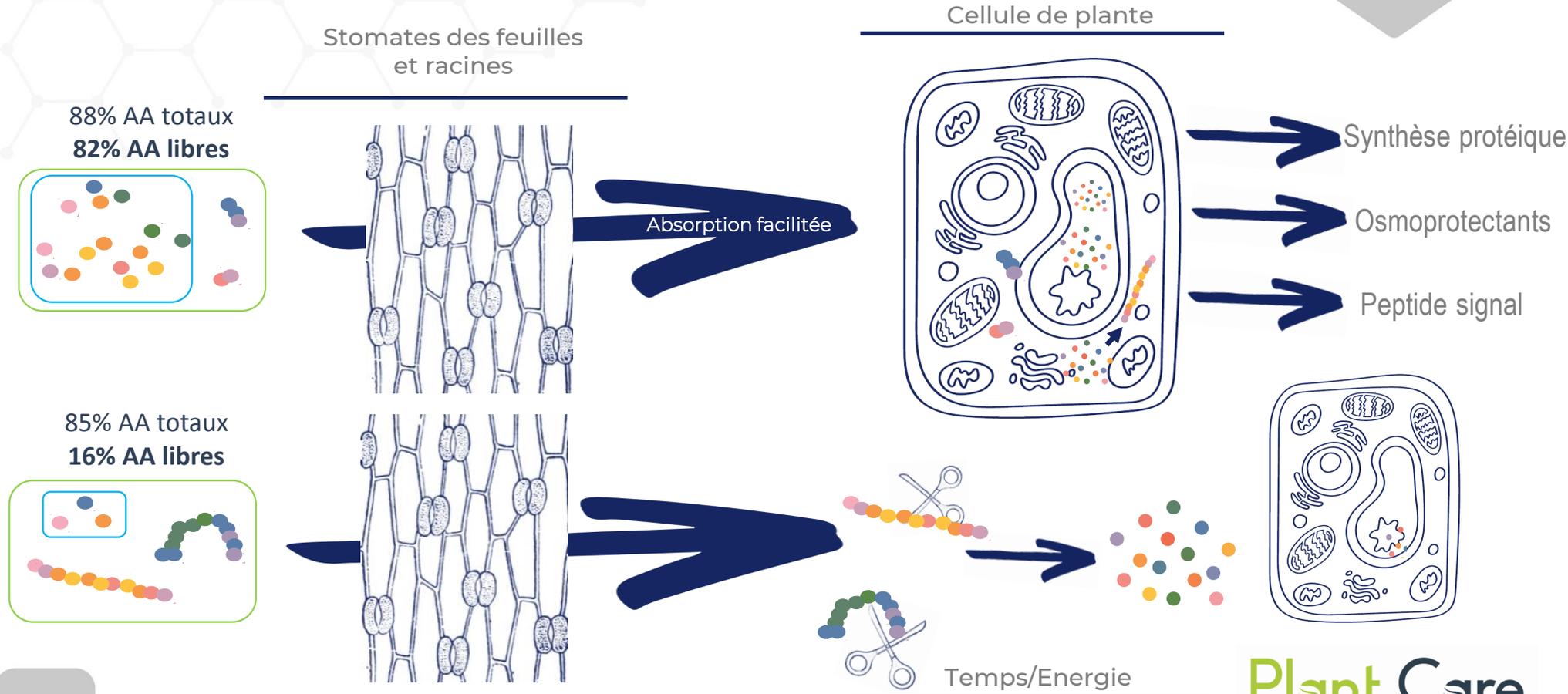
**2 produits qui semblent identiques mais qui sont très différents !**

**Plant Care**

by BCF Life Sciences

# Acides Aminés

## ACIDES AMINÉS LIBRES VS PEPTIDES



# Fiche Produits

## Acides Aminées

### HOGO : APPORT D'ACIDES AMINÉS DIRECTEMENT ET ENTIÈREMENT ASSIMILABLES

Composition :	%p/p
Acides aminés libres et lévogyres	80
Azote total (N)	11
Dont azote organique	10,5

- Origine 100% végétale => Formulation pure et active
- Produit le plus concentré en acides aminés libres
- Compatible avec la majorité des PPP et engrais

**Aminogramme standard :** L-Glycine (30%), L-Proline (15,1%), L-Alanine (9,8%), L-Acide glutamique (6,9%), Acide L-Aspartique (4,2%), L-Leucine (2,9%), L-Lysine (2,9%), L-Sérine (2,3%), L-Phénylalanine (1,7%), L-Isoleucine (1,3%), L-Thréonine (0,8 %), L-Arginine (0,8%), L-Méthionine (0,7%), L-Histidine (0,5%), L-Tryptophane (0,2%), L-Tyrosine (0,1%)

# Fiche Produits

Acides Aminés

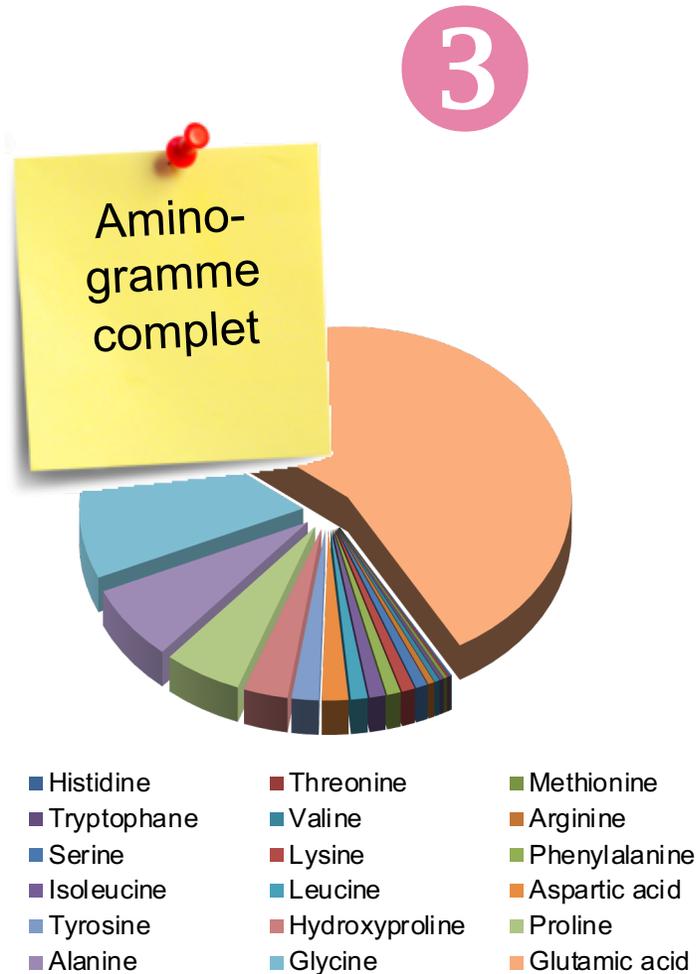
## AMINOTREX

powered by

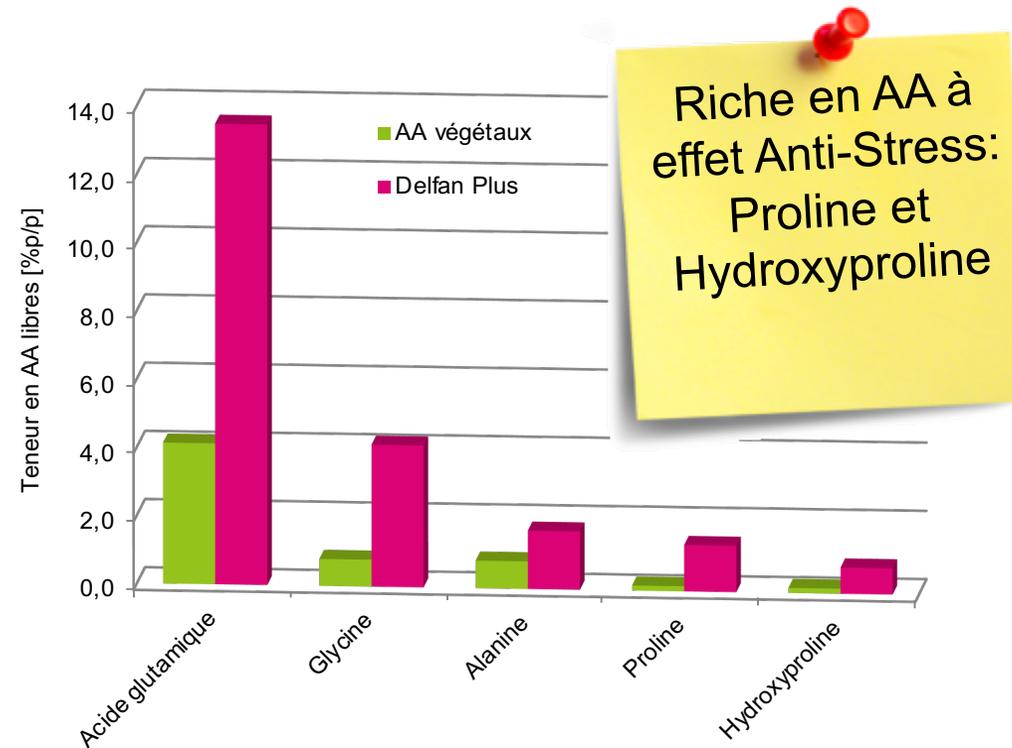


Paramètres (% p/p):		Composition:
Acide Aspartique 0.1%	Acide Glutamique 18.3%	Aminoacides libres: 24.5%
Serine 0.1%	Histidine 0.5%	(Méthologie aminoacides:
Glicine 0.2%	Arginine 0.1%	HPLC-fluorescence)
Alanine 0.1%	Valine 0.2%	Azote total: 4.3%
Fenilalanine 0.3%	Isoleucine 0.3%	Azote organique: 3.9%
Leucine 0.2%	Lisine 4.2%	Matière organique: 30%
		pH: 9
		Densité: 1.25g/cc

## 2 Origine animale



## Extraction par hydrolyse acide



# Fiche Produits

Leafamine

## DES ACIDES AMINÉS LIBRES NATURELS Un process unique en Europe

Haute concentration en 17 Acides Aminés libres

Forme L

Faible Poids Moléculaire (< 800 Da)

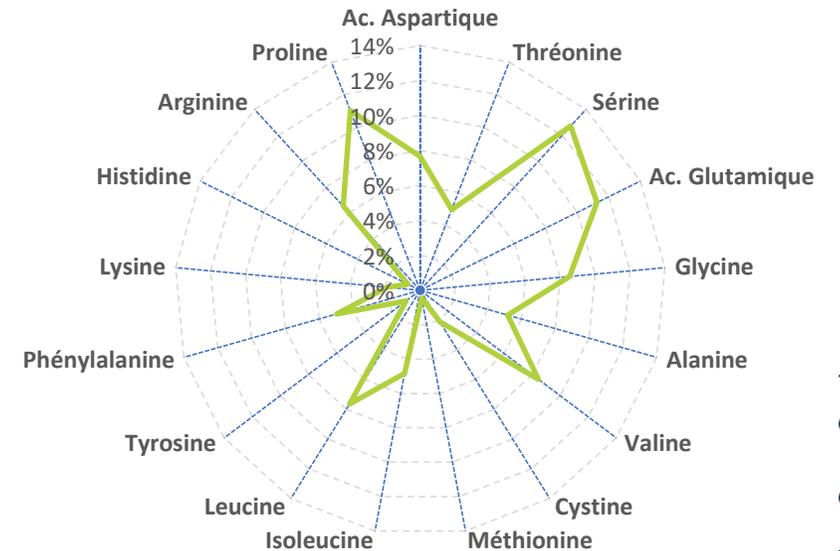
Profil en AA équilibré

Approved by  
**ECOCERT**  
INPUTS

Produit biologique

Qualité constante lot après lot

Leafamine®  
Technology



Profil des Acides Aminés totaux (en g/100 g AA)

Homologation MFSC AMM N°1220514



“ Il n'existe qu'une fine couche de sol entre l'homme et la famine. Une nation qui détruit ses sols se détruit elle-même. ”

Franklin D. Roosevelt



# MERCI

## Votre contact

**Paul ROBERT**

paul.robert@novalis-terra.fr

06 74 28 56 50

 @PaulRobertAgro