



GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS

1. LUTTER CONTRE L'EROSION
 - Couverture du sol
 - Stabilité structurale
 - Dispositifs anti-érosifs
2. REGULARISER L'HUMIDITE DU SOL
 - Assainissement - Irrigation
3. OBTENIR UNE BONNE STRUCTURE
 - Travail du sol
4. STABILISER LA STRUCTURE – FAVORISER L'ACTIVITE BIO
 - Amendements humiques (et calcaires)
 - Engrais verts
5. ENRICHIR LE SOL EN ELEMENTS ORGANIQUES ET MINERAUX
 - Fertilisation - Rotations

LES PRINCIPES DE LA FERTILISATION EN AB

« Nourrir le sol pour nourrir la plante »
Rotations – Matière organique – engrais verts...

LES PRODUITS DISPONIBLES

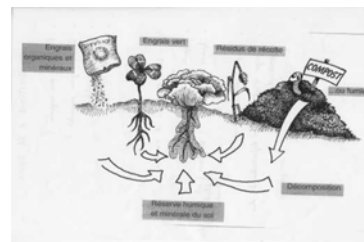
Les amendements, générateurs d'humus
Les engrais organiques
Les engrais P_2O_5 , K_2O , MgO

LES STRATEGIES D'APPORTS

FERTILITE ET GESTION DE LA Matière Organique

LE REGLEMENT CEE 2008...

Maintenir ou améliorer la fertilité et l'activité biologique des sols par...



Des apports complémentaires d'engrais organiques et minéraux naturels peu solubles sont autorisés : ANNEXE I

ENTREtenir "LA" MO DU SOL

C'est entretenir différentes propriétés des sols liées à la présence de différents types de Matières Organiques

La MO nourrit les êtres vivants du sol

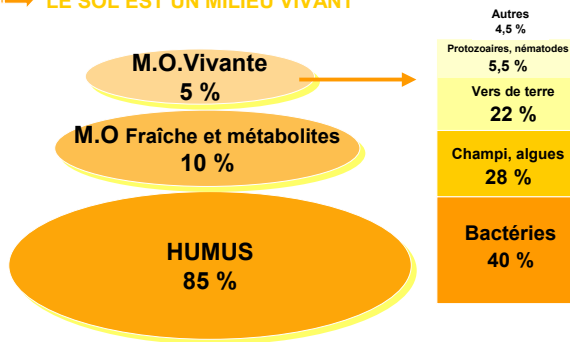
La MO joue sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol

Les Amendements organiques entretiennent la MOS

Les Engrais organiques améliorent la nutrition des cultures

LES BASES DE LA FERTILISATION EN AB

LE SOL EST UN MILIEU VIVANT



INTERACTIONS RACINES - ORGANISMES



La rhizodéposition

- excrétion racinaire de substances carbonées (sucres, acides aminés...) : prolifération bactérienne (X 1000)
- augmentation des consommateurs de bactéries : protozoaires, nématodes...



FERTILITE BIOLOGIQUE

Le sol est un milieu vivant
La plupart des réactions sont **BIO**chimiques

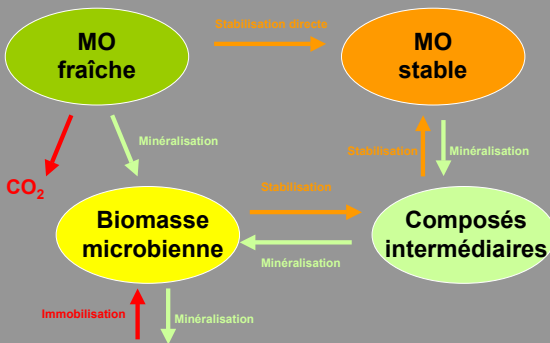
L'activité biologique permet :

- la création de **porosité** et d'agrégats
- la dissolution de **minéraux** issus de la roche mère et la fabrication de nouveaux
- la **minéralisation** des **MO** et l'humification
- la fixation d'**N atmosphérique**
- l'amélioration de l'alimentation en eau, phosphore et oligo-éléments : **mycorhizes**

➡ De nombreuses conséquences sur le fonctionnement du sol

➡ DIFFICILE A QUANTIFIER !

LA MO EST LA BASE DES APPORTS



ELEMENTS MINERAUX N, P, S...

EFFETS DES MO SUR LES PROPRIETES DES SOLS

Propriétés physiques	- couleur foncée (comportement thermique) - agrégation : augmentation de la stabilité structurale, de la porosité, de la perméabilité et de l'aération - rétention de l'eau
Propriétés chimiques	- pouvoir tampon - augmentation de la CEC - limitation des blocages et rétrogradations - adsorption des micropolluants organiques et minéraux
Propriétés biologiques	- amélioration générale de l'activité biologique - nutrition des plantes - protection vis à vis des pathogènes

d'après Mustin, 1987

LES AMENDEMENTS ORGANIQUES

Objectif principal : entretenir ou améliorer le taux de MO (stable)

Ils apportent aussi :

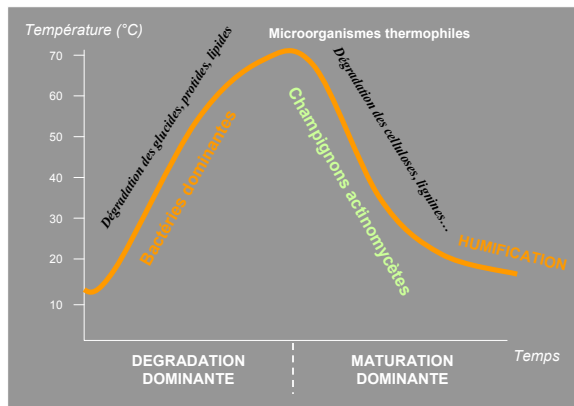
- de l'azote (avec une minéralisation assez faible)
- du phosphore, de la potasse (avec une bonne disponibilité) et de la magnésium
- des oligo-éléments

LES AMENDEMENTS ORGANIQUES, éléments de caractérisation

Critère	Définition	Utilisation	Remarques
% MO	Taux de matière organique sur brut	Permet de connaître la quantité utile de produit épandu	Doses usuelles d'utilisation d'un compost du commerce : 3 à 10 t/ha
C/N	Rapport carbone total sur azote total	Donne des indications de l'évolution du produit dans le sol	Souvent compris entre 12 et 20 pour les produits du commerce. Sa valeur ne signifie pas grand chose en cas de mélange sans compostage direct (enrichissement et azote par ajout de guano, plumes...)
SB ou CBM	Mesures de laboratoire « Indice de Stabilité Biologique » ou « Caractérisation Biochimique de la Matière organique »	Donne la part de produit stable qui sera lentement dégradée (humus)	Bonne corrélation avec le coefficient isohumique K1. ISB en général compris entre 0,2 et 0,5 pour les amendements du commerce. Problèmes d'ajustement de l'ISB pour les produits très ligneux (plus de 50% de la MO)
Indicateur de minéralisation	Mesure en conditions contrôlées de la minéralisation de l'azote ou du carbone	Donne des indications sur la restitution de l'azote organique aux cultures	D'après des tests du GRAB (Leclerc, 1986), les composts de fumier minéralisent en 8 mois 30 à 50 % de leur azote, contre 0 à 14 % pour les autres produits.
Nutriments	N	Azote total	En général libéré lentement
	P2O5	Phosphore	Libéré progressivement
	K2O	Potasse	En général disponible à 100%. Libération rapide
Formulation	Poudre, granulé ou compacté (bouchons)	A priori, plus l'amendement est broyé fin, plus il sera dégradé rapidement	

D'après Bressoud et Arrufat (2002)

LE COMPOSTAGE



CRITERES D'UTILISATION DU COMPOST

D'après Ceratamir, 1989	MATIERES FRAICHES	COMPOST JEUNE	COMPOST AGE
Nature	MO n'ayant pas subi de fermentation en tas. Très fermentescible	MO ayant subi une évolution aérobie partielle	MO compostée jusqu'à maturité complète (6 mois).
C/N	> 20	15 à 20	8 à 15
Fourniture d'humus	lente	moyenne	rapide
Libération de l'azote	rapide	moyenne	lente
Devenir dans le sol	Risque d'effet dépressif. Apport N massif ou faim d'azote	Poursuit sa décomposition dans le sol	Aucune fermentation
Impact sur les cultures	Risque de phytotoxicité sur les cultures sensibles	Risque phyto faible	Aucun risque
Recommandation	Au moins 2 mois avant semis ou automne	1 à 2 mois avant semis ou fin d'hiver	Pas de contrainte

POURQUOI APPORTER DES MO EN MARAÎCHAGE...

- **cycles courts, plusieurs rotations par an**
 - l'utilisation de MO fraîches comporte des risques : effets dépressifs lors de la décomposition, phytotoxicité, pourritures, apports N trop massifs ou risques de faim
- **passages répétés d'engins lourds, quelles que soient les conditions de sol**
 - dégradation de la structure
- **travail du sol intensif, pratique de la solarisation, climat**
 - minéralisation MOS accrue
- **besoins importants en nutriments**
 - Apports conséquents par les MO, sous une forme très biodisponible : P, K, Oligo-éléments...



...En AB

- **Nécessité d'une gestion intégrée de la fertilité des sols sur le long terme**
 - gestion des rotations (légumineuses), apports de MO, travail du sol, pratique des engrais
- **Les apports de MO sont une source essentielle de nutriments pour les êtres vivants du sol et les cultures**
 - peu de restitutions par les résidus de culture en maraîchage
- **L'entretien des stocks de C et N du sol assure une libération continue de nutriments**
 - mécanisme efficace pour la nutrition de cultures longues par exemple



.. En REGION MEDITERRANEENNE

- **Des sols à dominante calcaire**
 - la matière organique y est « protégée »
 - le phosphore y est moins disponible
- **Une spécialisation régionale...avec peu d'élevages**
 - des ressources en MO brutes limitées
- **Des producteurs globalement peu équipés pour l'épandage**
 - utilisation préférentielle de produits du commerce

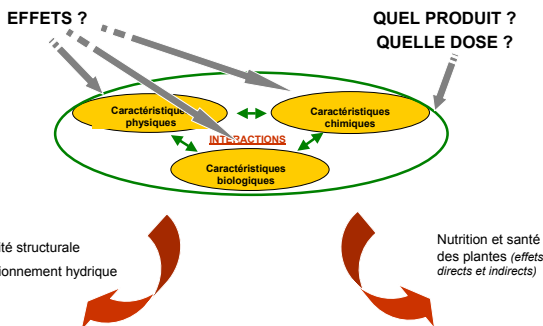


LES AVANTAGES DU COMPOST EN MARAICHAGE

- **Un produit homogène, concentré, sans odeur**
 - meilleure qualité de l'épandage
- **Un produit stabilisé, des MO humifiées**
 - pas de risque dépressif sur les cultures
 - libération progressive d'éléments fertilisants (N)
 - pas de contrainte sur la période d'épandage et le délai avant culture
- **Un produit assaini**
 - destruction des semences d'adventices et des germes pathogènes



APPORTS D'AMENDEMENTS ORGANIQUES



EFFETS DES MO SUR LES PROPRIETES DES SOLS quelques exemples

Effet de différents composts apportés à la dose de 4tC/ha/2ans (Essai « Qualigro », S.Houot, INRA) :

- **Caractéristiques physiques :**
 - ↑ Stabilité de la structure. A CT, les MO – stables sont les plus efficaces
 - Propriétés mécaniques : ↑ R compaction / tassement
 - ↑ R.U
- **Caractéristiques chimiques :**
 - ↑ C.E.C
 - Minéralisation N : <10% année de l'apport mais arrière-effets
- **Caractéristiques biologiques :**
 - ↑ biomasse microbienne

EFFETS DES MO SUR LES PROPRIETES DES SOLS quelques exemples

Effet comparé de différents composts an maraîchage sous abri (F. Bressoud, INRA Alenya) :

8 années d'apports composts de déchets verts (24) - Végéthumus (4; 13)
Maraîchage sous abri – 2 rotations/an – sol sablo-limoneux 1,3 % MO:

- **témoin sans apport** : maintien apparent du taux de MO (mottes) MAIS :
 - Formes moins dégradables (minéralisation N ↓)
 - Dégradation de la structure : prise en masse ↑, structure compacte
- **parcelles avec apports** de composts, la modalité « DV, 24t/ha » montre un intérêt après 5-6 ans d'apports : activité biologique, minéralisation, structure, et effets sanitaires (Sclerotinia, Botrytis). Le pH augmente d'1 point (passage de 7 à 8)...

EFFETS DES MO SUR LES PROPRIETES DES SOLS quelques exemples

Effet suppressif de l'apport de composts (C.Steinberg, INRA) : différents types de modes d'action

- **FUSARIOSE/melon :**
 - L'apports d'amendements augmente l'activité et la diversité métabolique des bactéries
 - Compétition trophique ↑ : Fusariose ↓
- **Rhizoctonia solani :**
 - Les composts provoquent la stimulation OU permettent l'introduction d'une population antagoniste
 - Modification de l'environnement : fonte des semis ↓

Effet **variable selon le type de sol**
Effet nature du compost – effet dose ?

EFFETS DES MO SUR LES PROPRIETES DES SOLS

L'effet « stock » des apports de MO, qui va modifier les propriétés des sols liées à leur %MO

- rétention en eau en sols sableux
- stabilité de la structure en sol limoneux battant
- augmentation de la C.E.C

Une action directe des substances humiques...à LT

L'effet « dynamique » des MO, lié au flux de C minéralisable apporté

- stabilité de la structure (action indirecte liée à la stimulation de l'activité biologique... à CT)
- disponibilité de N

Des effets liés à la nature, la dose, la fréquence des MO apportées, au type de sol, au type de fonctionnement biologique, au système de culture...

DES APPORTS A MODULER...

- Selon le type de sol :

Effet recherché	Type de sol		
	Sableux	Limoneux	Argileux
Augmentation taux de MO	+++	++	+
Propriétés physiques			
✓ Stabilité structurale		+++	++
✓ Réserve en eau	+++	++	
✓ Porosité		++	+++
Activité Biologique	+	++	+++

- Son taux de MO et l'effet recherché

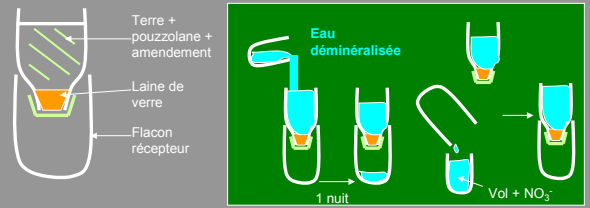
d'après Serail, 2001

Produit	Riche en MO		Pauvre en MO	
	Peu actif	Actif	Peu actif	Actif
Compost jeune, riche en N	+	+	+++	
Compost mûr				+++

L'AZOTE DANS LES AMENDEMENTS

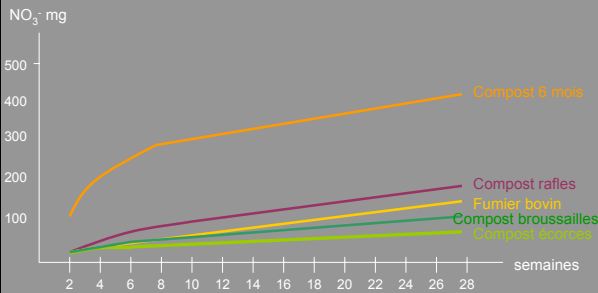
INCUBATIONS DE DIFFERENTS AMENDEMENTS

D'après B. Leclerc, 1986



	N total	N organique	N minéral
Fumier frais	0,51	92,3	7,7
Fumier composté 6 mois	0,77	70,3	29,7
Compost rafles	2,69	91,5	8,5
Compost écorces peuplier	0,71	98,1	1,9
Compost broussailles	1,29	97,3	2,7

INCUBATIONS DE DIFFERENTS AMENDEMENTS



Pourcentages NO₃⁻ libéré après 8 mois d'incubation

Compost fumier 6 mois	50 %
Autres amendements	0 à 14 %

LES AUTRES ELEMENTS FERTILISANTS DANS LES AMENDEMENTS

COMPOSITION DE QUELQUES AMENDEMENTS

FUMIERS – en kg/t	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Vaches laitières (stabil. libre)	5,5	3,5	8	5	1,9
Vaches laitières (étable entravée)	4,7	3,1	4,4		
Bovins viande	3,9	3,7	4	2,5	1,5
Porcs	6	6	4	6	2,5
Ovins	6,7	4,2	11,2	11,2	1,4
Caprins	6,1	5,2	5,7		
Poulets de chair	25,5	21,5	20,5	21,5	4,2
AUTRES					
Paille	6	2	12	5	
Marc de raisin (brut)	6	2	9		

➡ 30 t/ha de fumier VL apportent
165 N / 105 P / 240 K !

DISPONIBILITE DES ELEMENTS DU FUMIER

	APPORTS REGULIERS	APPORTS OCCASIONNELS	
	(tous les ans)	Année de l'apport	Année suivante
Azote	50 à 80 %	24 à 43 %	12 à 20 %
Phosphore	100 %	50 à 80 %	20 à 30 %
Potasse	100 %		

Sources: instituts techniques, 1991

... extrêmement variable selon les conditions pédo-climatiques !

AMENDEMENTS ORGANIQUES EN PACA

Produit	Société	(1) Matières premières	Composition (en % de produit brut)					Autre
			MO	N total	P2O5	K2O	C/N	
ORGAVEG (AOC 650)	ANGIBAUD	Fumier volailles Fumier cheval Tourteaux végétaux	65	2,4 (1,9 N orga)	2	1,8	17	K1=0,84 (2) ISB=0,79 (2)
ANGISOL	ANGIBAUD	Compost de marc de raisin et déchets verts	40	1,3	0,35	1	15	
BIOSOL	ANGIBAUD	Compost de tourteaux et déchets verts	45	1,5	0,5	1,3	15	K1=0,5
VALORGA 55	ANGIBAUD	Compost de fumier de volailles et tourteaux végétaux	55	1,5 (1,1 N orga)	0,6	0,6	25	
ORVEGA	GERMIFLOR	Palpes d'olives et de raisins, sous-produits de plantes médicinales et aromatisées	65	1,2	0,3	0,3	20	K1=0,8
BIOMAZOR	GERMIFLOR	Compost de fumiers de bovins et ovins, tourteaux végétaux, 10% de déchets d'industrie laitière	55	1,6	0,5	1	15	K1=0,8
VEGETHUM US	PHALIPPOU FRAYSSINE T	Compost de fumier d'ovins, tourteau de café et bourres de laine	60	2	0,5	1	13	K1=0,62 (1) ISB=0,74 (1) CBM=0,66
100 %	PHALIPPOU FRAYSSINE T	Compost de fumier d'ovins, tourteau de café et cacao	55	1,7	0,8	1,7	14	K1=0,6 ISB=0,65 CBM=0,47
FUMETERRE	T.P.A FUMETERRE	Compost de fumier de bovins déshydraté	62	2,1	2,4	2,6	15 à 20	K1=0,27 (1) ISB=0,23 (1) CBM=0,22
ORGABIO 2-3.3	UFAB	Compost de fumier de volailles	62	2,5	2,8	2,7		1,7 % MgO
NUTRIMAS	PROCEP PE	Compost fumier d'ovins et pulpes	45	1,6	0,4	0,8	16	

STRATEGIES D'APPORTS DES AMENDEMENTS

Exigences des légumes en MO

	ELEVEE (tête de rotation)	MOYENNE (2 ^{ème} ou 3 ^{ème} place)	FAIBLE (2 ^{ème} ou 3 ^{ème} place)
MO peu évaluée	Aubergines, tomates, céleris, pommes de terre, courgettes, artichaut	Melons, poivrons, navets	Radis
MO évaluée	Poireaux, fenouil, choux, épinards, betterave	Salades, carottes	Oignon, échalote, ail, légumineuses, haricots

STRATEGIES D'APPORTS DES AMENDEMENTS

Adapter en fonction du type de sol et de son statut organique

- ➔ **Pourcentage d'argile :**
 - préférer les composts mûrs en sols sableux
 - stimulation de l'activité biologique en sols lourds
- ➔ **Statut organique du sol :**
 - orientation vers des MO plus ou moins stables

Tenir compte des éléments fertilisants

- ➔ Compléments engrais minimes pour les éléments majeurs
- Apports oligo-éléments superflus

LES ENGRAIS ORGANIQUES

L'objectif principal est d'apporter des éléments fertilisants rapidement disponibles pour la culture

- Ils contiennent 5 à 10 % d'N, essentiellement organique
- Ils sont surtout d'origine animale (sauf tourteaux de ricin)

L'AZOTE DANS LES ENGRAIS

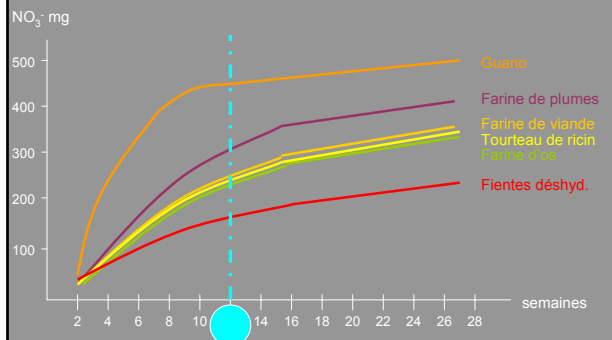
D'après B. Leclerc, 1986

	N total	N organique	N minéral
Guano	16	82,7	
Farine de plume	10,1	98,1	1,9
Farine de viande	8,1	99,0	1,0
Farine d'os	7,3	99,3	0,7
Tourteau de ricin	5,7	99,2	0,8
Fientes de volailles déshy.	3,7	88,3	

Pourcentages NO₃⁻ libéré après 8 mois d'incubation

Guano	93 %
Farine de plumes (et sang, poils)	82 - 85 %
Farines de viande, d'os, tourteau de ricin	66 - 72 %
Fientes de volailles déshydratées	32 %

INCUBATIONS DE DIFFERENTS ENGRAIS



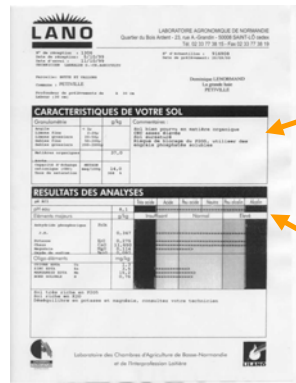
COMPOSITION DES PRINCIPAUX ENGRAIS

ORIGINE ANIMALE – en %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Obs
Guano d'oiseau	10-16	1	1-2	refumure
Farine de plume	8-12			Mat. 1ères pour les engrais composés
Poudre de sang	12-14			
Poils, laine, ...	5-10			
Déchets de poisson	3		3,5	Guano de poisson
Fientes de volailles	3-6		3	
Corne	13-14			! granulo
ORIGINE VEGETALE				
Tourteau de ricin	5-6	3	2	
Tourteaux divers	4-7			

Bcp de P₂O₅
« oiseaux »

Peu de K₂O
végétal

EVALUATION DE LA FERTILITE : L'ANALYSE CLASSIQUE



Caractéristiques physiques

Caractéristiques chimiques

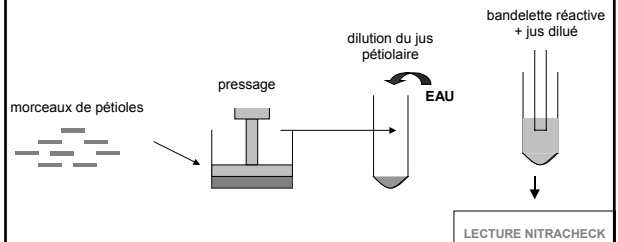
LES METHODES D'EVALUATION DE LA FERTILITE

Les Analyses Physico-chimiques

- ➔ Analyse classique : tous les 4/5 ans
- ➔ Extrait à l'eau
Indicateur instantané – Cultures sous abris
- ➔ Test nitrate
Indicateur instantané –
A réaliser sur la profondeur d'enracinement
- ➔ Le diagnostic de nutrition
Analyse de végétal
Confirmation d'un diagnostic de carence
Opérationnelle sur melon, fraise, pomme de terre, carotte et chou-fleur, aubergine, poireau et en cours de validation pour la tomate

Application

Réalisation pratique du test PILazo® (d'après Ctifl)



GRILLE D'INTERPRETATION AUBERGINE

Grille de pilotage : 2003

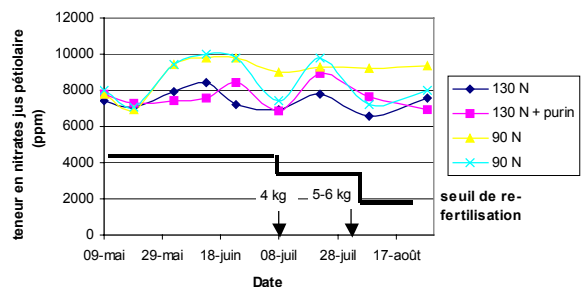
NO3 en mg/l	Grille de pilotage : 2003																	
< 6000	[Color-coded grid for nitrate interpretation]																	
5000 à 6000																		
4500 à 5000																		
4000 à 4500																		
3500 à 4000																		
3000 à 3500																		
2500 à 3000																		
2000 à 2500																		
1500 à 2000																		
< 1500																		
semaines après plantation	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Scoutages	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
Repiers			Récolte															

Aute en excédent	
Suffisant : ne pas fertiliser mais suivre de près	
10 à 20 kg / ha / semaine	
20 à 30 kg / ha / semaine	
5 à 10 kg / ha / semaine	

Attention arrêt fertilisation 2 à 3 semaines avant la fin de la culture.

Suivi sur aubergines – GRAB 2003

2 a : Evolution de la teneur en nitrates des pétioles



STRATEGIES D'APPORTS DES ENGRAIS

Quelles cultures ?

- ➔ **Privilégier les cultures exigeantes en azote :**
Tomates, aubergines, choux, concombres...

Quelles doses ?

Calculs possibles MAIS

- irrégularité de la composition des MO
- irrégularité de leur évolution (conditions pédoclimatiques)
- références de besoin de plantes très divergentes !

Tenir compte

- des fournitures par le sol (+ élevées en AB ?) : !!!
- des résultats d'analyses (labo + nitrates avant plantation)
- des apports par les amendements
- du type d'engrais et de sa vitesse de minéralisation

STRATEGIES D'APPORTS DES ENGRAIS

Quand ?

- ➔ **Au plus près des besoins...**
Difficulté pour les cultures longues !

Relativiser...

Au mieux, 50 % de l'azote (minéral) apporté alimentent directement les plantes. L'essentiel provient du sol !

Pour le phosphore, c'est environ 10 %...

LES ENGRAIS PHOSPHATES

ENGRAIS	P ₂ O ₅ (%)	UTILISATION
MINERAL		6-8
Phosphate naturel	28	Sol à pH ≤ 7. A éviter en sols calcaires où ils sont très peu assimilables. Attention à la teneur en Cd
Phosphate alumino-calcique (phospal)	34	6,5 ≤ pH ≤ 8. Peu disponible. Libère Al en sol acide
Scories de déphosphoration	8-16	Résidus sidérurgiques. pH ≤ 7,5. Peut être toxique à forte dose (Mg, Al)
ORGANIQUE		
Poudre d'os	16-30	Excellent mais cher !
Farine d'arêtes	25	

FERTILISATION PHOSPHATEE

- ➔ **Phosphore des engrais minéraux « bio » peu disponible, surtout en sol calcaire**
Apports réguliers – Quantités limitées
- ➔ **Phosphore des résidus végétaux + efficace**
Résidus de récolte – Engrais verts...
- ➔ **Rôle des mycorhizes**
Sans doute limité en maraîchage...

FERTILISATION POTASSIQUE

ENGRAIS	K ₂ O (%)	UTILISATION
MINERAL		
Patentkali	28	Sulfate de potasse et magnésie (12 % MgO)
Poudres de roche		Solubilisation très lente, peu utilisé
ORGANIQUE		
Vinasse de betteraves	23-43	
Cendres de bois	7-20	

- ➔ **Richesse d'origine minéralogique**
Argiles (illites et vermiculite) – Silicates (feldspaths et micas)
- ➔ **Les apports exogènes sont totalement disponibles**
Minéral (patentkali) et organique (vinasses, résidus...)

CONCLUSIONS DES ESSAIS FERTILISATION AZOTEE GRAB

- Les suivis réalisés sur différentes cultures montrent d'ores et déjà qu'il est possible de diminuer les doses d'engrais azotés, sans perte de rendement.
- Des essais de fertilisation en maraîchage biologique sont encore nécessaires afin de revoir les normes de fertilisation et permettre le calcul de doses moins excédentaires.
- Des essais « produits » permettraient d'affiner le conseil sur les engrais du commerce