

1- BUT ET CONTEXTE :

L'étude de la fertilité des sols a débuté au GRAB en 2001 avec 2 volets principaux :

- l'utilisation et la comparaison de différentes méthodes de diagnostic sur le terrain et en laboratoire. La démarche est renouvelée pour la 3^{ème} année.
- l'étude de la faisabilité des engrais verts sous tunnels en été et en interculture hivernale de plein champ : comparaison de différentes espèces, effets sur le salissement, la dynamique des nitrates et incidences sur les performances de la culture suivante.

Le présent compte-rendu concerne les résultats du premier volet d'étude, qui a été mis en œuvre en 2003 sur 1 parcelle exploitée en agriculture biologique. L'approche sera suivie de façon dynamique puisque les analyses seront réalisées tous les 4 ans.

2- PARCELLE ETUDIEE EN 2003 :

Il s'agit d'une parcelle plein champ exploitée par M. Didier MUFFAT, exploitant en agriculture biologique à Saint Siffret, près d'Uzès (30).

La parcelle est exploitée en maraîchage biologique depuis 15-20 ans. Elle est située en zone de vallée, où une nappe circule à faible profondeur (présence de puits). La succession culturale type fait alterner 3 ans de légumes et une céréale, avec plusieurs intercultures d'engrais verts.

2003 : engrais vert vesce+orge, semé en octobre. A venir : courgette

2002 : - engrais vert de sorgho, semé en juillet, broyé et enfoui en septembre
 - orge, semis octobre 2001, moissonnée en juin. Pailles exportées.

2001 : - tomates ou melons
 - engrais vert vesce + orge semé en octobre

La fertilisation repose avant tout sur la culture d'engrais verts. Des apports complémentaires sont réalisés avant la culture légumière de printemps avec un amendement du commerce (de 1 à 3 t/ha) et environ 1,5 tonne d'engrais organique de type 2/3/3 ou 2/3/7. Des pulvérisations de purins de plantes sont effectuées en complément.

Le travail du sol fait intervenir des passages de disques à 10 cm et des labours à 25/30 cm (enfouissement des engrais verts et des résidus de culture), et une préparation avec vibroculteur.

3- LES METHODES UTILISEES :

Sans être exhaustives de toutes les méthodes de diagnostics pratiquées actuellement, les différentes études réalisées sur la parcelle offrent une bonne vision de la diversité des moyens de diagnostic qui peuvent être employés (le principe détaillé de chaque méthode est présenté dans le rapport 2001) :

Les méthodes de terrain

- Profil pédologique : description des horizons, texture, couleur, charge en cailloux...
- Etude du profil cultural,
- Etude de la flore spontanée et des indications qu'elle donne sur l'état du sol (plantes bio indicatrices).

Les méthodes de laboratoire

- Caractérisations physique, chimique par les méthodes d'analyse classiques,
- Caractérisation de la matière organique, du compartiment microbien et de son activité,
- Caractérisation selon une méthode développée par le BRDA Hérody, basée à la fois sur des approches pédologique et agronomique, sur le terrain et au laboratoire.

Intervenant	Organisme	Date	Intervention
Yvan Gautronneau	ISARA Lyon	1/04	Profil cultural
X.Salducci	Alma-Terra	1/04	Analyses de laboratoire
J-P PENEL	Chambre d'agriculture 84	1/04	Profil pédologique
D.Massenot	Amisol	1/04	Méthode Hérody. Diagnostic de terrain et analyses labo
G.Ducerf	Promonature	24/04	Plantes bio-indicatrices

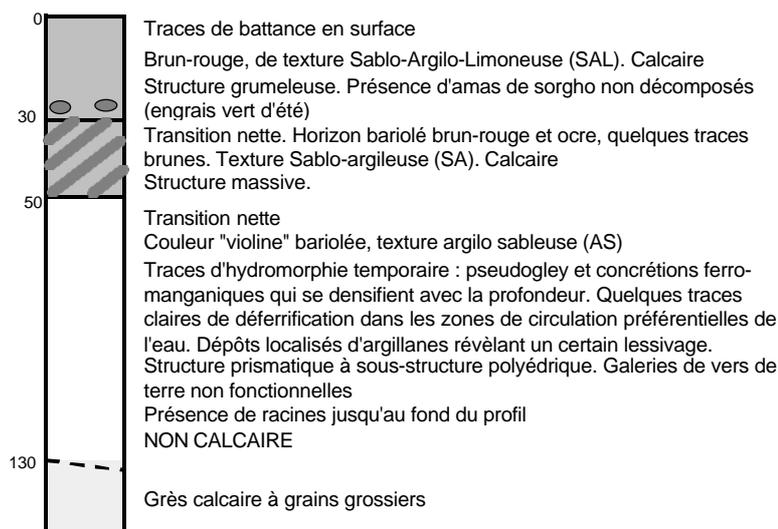
Interventions réalisées en 2003 chez M.MUFFAT. St Siffret (30)

4 - LES DIAGNOSTICS REALISES :

4.1 CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

- Roche sous-jacente : grès calcaire à grains grossiers, de couleur blanche. Présente à 1,3 m de profondeur.
- Sol : l'hypothèse la plus probable est un sol d'origine alluviale (fluviosol) reposant sur un grès calcaire, avec plusieurs horizons distincts superposés. Il est globalement calcaire, sauf l'horizon profond.

Profil pédologique observé : (synthèse des observations de JP Penel, D. Massenot, Y. Gautronneau)



Profil

Sol alluvial brun-rouge calcaire, profond, reposant sur un substrat de grès calcaire. La texture est grossière, sablo-argileuse dans les horizons supérieurs et argilo-sableuse en profondeur. La circulation d'une nappe à faible profondeur, et la montée de son niveau en période de pluies, entraînent des phénomènes d'hydromorphie temporaire dont on observe les symptômes à partir de 50 cm, et qui se densifient en profondeur.

L'absence de calcaire dans l'horizon plus profond pourrait s'expliquer par un dépôt alluvial non calcaire, ou plutôt par des circulations latérales d'eau en période d'engorgement qui auraient lessivé le calcaire.

Même si on n'a pu formuler que des hypothèses sur la pédogénèse de ce sol (sol alluvial ? sol combinant alluvionnement, colluvionnement et développement sur altérite de grès ?), l'observation du profil permet de conclure sur un sol profond au potentiel élevé.

L'hydromorphie temporaire est une contrainte, surtout parce qu'elle limite les périodes d'interventions culturales, mais les traces d'activité biologique (et notamment la présence de racines) sur tout le profil montrent que cette hydromorphie n'entrave pas le bon fonctionnement du sol.

La contrainte majeure de ce sol est la compaction des horizons supérieurs (voir profil cultural) et notamment du deuxième, là où la texture favorise le plus le tassement.

Il convient de privilégier, pour entretenir le taux d'humus dans ce type de sol si besoin est, les apports de matière organique ligneuse. En effet, le manque d'oxygène en période humide va favoriser la dégradation des produits celluloseux en sucres solubles et non en humus. Au printemps il peut y avoir un manque d'azote lié à la dénitrification hivernale en sol engorgé ; en l'absence de reliquat, il faut envisager alors un apport d'azote organique minéralisant rapidement en début de saison.

Le test à l'eau oxygénée révèle la présence de Matières Organiques Fugitives (MOF) dans l'horizon inférieur : il y a donc lessivage de matière organique.

Le test à l'acide sulfurique + thiocyanate de potassium indique la présence de Fer dans les 2 horizons supérieurs.

4.2 PROFIL CULTURAL (Y. Gautronneau)

Horizon	Caractéristiques structurales
0-30 cm	Terre battue en surface (fortes précipitations à l'automne après semis de l'engrais vert). Présence d'un léger lissage à 5 cm (origine ?) L'horizon est globalement compacté sur quasiment 95 % de sa surface : structure Ä. (niveau de compaction rarement atteint !) Cette compaction résulte du passage du vibroculteur sur un labour frais lors de l'implantation de l'engrais vert à l'automne (roues du tracteur gonflées à 2,5 kg de pression !). On trouve à 30 cm la trace du fond de labour.
30-50 cm	Horizon anthropique fortement compacté (structure M Ä) résultant fort probablement d'un ancien labour de défoncement. Un tel niveau de compaction ne pourra pas être corrigé par les seules solutions biologiques.
50-130	Horizon pédologique bien structuré. Structure prismatique à sous-structure polyédrique. L'eau circule dans les plans de fissure, où se développent aussi préférentiellement les racines.

Observation de l'activité des vers de terre :

On dénombre les orifices des galeries sur un plan horizontal de 1 m de large sur 20 cm, à une profondeur de 55 cm environ. On considère qu'il y a des problèmes de fonctionnement des vers de terre lorsque le nombre total de trous est inférieur à 80. Dans le cas présent, on n'a observé qu'une galerie !

Dans l'horizon pédologique, on note la présence de galeries non fonctionnelles.

La structure est donc très défavorable à l'activité des vers de terre.

Conclusion : L'état structural du profil observé est très défavorable, et ce dès la surface. Cet état résulte à la fois d'un ancien labour de défoncement qui a affecté l'horizon 30-50 cm et de passages sur un sol fraîchement labouré (et sans doute encore trop humide) à l'automne.

Pour améliorer l'état structural de cette parcelle, il faudrait envisager :

- Le décompactage de la zone 30-50cm avec un vrai décompactage réalisé à ou moins 50 cm de profondeur sur un sol bien ressuyé (si trop humide : lissages, si trop sec : cohésion trop forte). Ce travail permettra de décompacter aussi l'horizon supérieur.
- De pratiquer le labour à une profondeur inférieure : 15/20 cm
- Ne pas faire de terre trop fine en surface pour limiter les risques de battance.

4.3 PLANTES BIO-INDICATRICES : RELATION ENTRE FLORE SPONTANEE ET ETAT DU SOL

(G. Ducerf)

Les plantes majoritairement rencontrées et leurs caractéristiques de milieu sont regroupées dans le tableau page suivante.

Sur la parcelle : L'étude des principales espèces indicatrices présentes permet de dégager les caractéristiques de sol suivantes :

- sol basique,
- structure compactée,
- milieu riche en matière organique et en azote

La diversité des espèces rencontrées (15 espèces) indique un bon équilibre du milieu.

L'observation d'une fliche à proximité donne des indications sur le biotope primaire : présence de légumineuses (pas d'azote ou azote bloqué), plantain (bonne action microbienne), euphorbe (blocage du phosphore).

Espèces présentes sur la parcelle

ESPECE	ABONDANCE (1 à 5)	INDICATION DE MILIEU
Plantes bio-indicatrices		
Véronique à feuilles de lierre	5	Trop de Carbone (origine : EV et/ou sorgho précédent ?)
Véronique de Perse	5	Milieu riche en bases, en azote et MO
Coquelicot	4	Augmentation de pH (souvent liée à une sécheresse de surface)
Mourron blanc	3	MO en cours de minéralisation en milieu aérobie
Ravenelle polymorphe	3	Milieu riche en bases -
Capselle Bouse à Pasteur	1	Sol compacté (manque d'oxygène)
Autres espèces présentes		
Véronique des champs	5	
Fumeterre	1	Milieu riche en matière organique (début d'engorgement)
Herbe sainte	1	Erosion et compactage d'hiver (manque de couverture du sol l'hiver)
Camomille	1	
Miroir de Vénus	1	Milieu riche en bases (pH > 5,8)
Sabline à feuilles de Serpolet	1	Sol riche en bases actives
Renoncule Sarde	1	Anaérobiose : engorgement en eau ou pluies violentes après un semis dans le sec
Trigonelle cornue	1	
Séneçon commun	1	Sol riche en N

Les plantes bio-indicatrices sont celles qui sont représentées de façon significative (abondance > 3) et dont la présence indique des caractéristiques de milieu particulières

4.4 ANALYSES DE LABORATOIRE (Alma-Terra et Amisol)

4.4.1. Caractérisation physique

Profondeur (cm)	% A	% L	% S	% M.O	CEC (Cmol ⁺ /kg)	pH _{eau}	% Ca total	C/N	Texture
0-35	11,4	27,8	60,8	1,6	7,9	7,9	1,3	8,9	Sal
35-50	10,7	23,6	65,7	1,1	6,9	7,9	1,1	9,5	S
50-70	23	24,9	52,1	0,7	-	7,7	-	8,7	AS

Tableau 1 : Caractérisation physique - Alma-Terra

Profondeur (cm)	Coefficient de Fixation (CF)		%Fines	Bases (Alcalino-Terreux : AT)			Acidité
	Valeur	Echelle		Valeur	Besoin AT/CF	% Mg	
0-30	1,2	0 à 7	15 %	1,1	0,5	12 %	Sol calcaire
40	1,1		15 %	1,0		12 %	
70	2,0		21 %	0,5		8 %	
110	2,3		21 %	0,6		8 %	

Tableau 2 : Caractérisation physique - Amisol

☞ La texture est sablo-argilo-limoneuse à argilo-sableuse, la teneur en argile étant légèrement supérieure en profondeur. Le pourcentage d'argiles minéralogiques est faible (CF faible).

☞ La teneur en Matière organique totale est un peu faible. C'est souvent le cas en sol sableux où la minéralisation est importante.

☞ La CEC, de l'ordre de 7 Cmol⁺/kg, est petite. Le CF (coefficient de fixation) est faible.

- ☞ Le sol est calcaire. L'excès de calcaire provoque les problèmes suivants :
 - immobilisation de la M.O par effet d'enrobage,
 - perturbation des cycles de l'azote et du soufre, notamment démarrage retardé au printemps
 - insolubilisation du fer, manganèse et des principaux oligo-éléments
 - immobilisation du phosphore sous forme de phosphates tricalciques

4.4.2. Caractérisation chimique

Prof (cm)	%o P ₂ O ₅ (JH)		%o K ₂ O		%o MgO		%o CaO	%o NaO
0-35	0,63	TR	0,20	R	0,18	R	5,11	0,07
35-50	0,25	BP	0,14	BP	0,18	R	5	0,01

Tableau 3 : Caractérisation chimique - Alma-Terra - P : pauvre - BP : bien pourvu - R : riche - TR : très riche

Prof (cm)	P	K	Mg	Echelle
0-30	5	3	2	0 à 5
40	4	3	2	
70	2	1	2	
110	3	1	1	

Tableau 4 : Caractérisation chimique - Amisol

- ☞ La parcelle est très riche en phosphore, potassium et magnésium dans l'horizon cultivé. L'horizon sous-jacent assure aussi une réserve importante en ces 3 éléments.
- ☞ Les deux types d'analyses sont cohérents, sauf pour la magnésie, jugée en quantité abondante en analyse classique mais en quantité un peu faible en analyse du BRDA-Hérody (Amisol).

4.4.3. Le Fer

Dans l'approche développée par le BRDA-Hérody, c'est le Fer (2 formes) qui assure la liaison de la fraction organique humifiée sur des particules fines de type argile ou limon. Cette liaison est stabilisée par le calcium ou le magnésium.

Prof (cm)	Fer de Liaison		Fer Amorphe	
	Valeur	Optimum	Valeur	Optimum
0-30	5	75	45	50
40	4		40	
70	20		30	
110	20		30	

Tableau 5 : Dosage du fer - Amisol

- ☞ Les teneurs en fer de liaison sont faibles, ce qui limite la construction du complexe organo-minéral (COM). Les valeurs élevées en profondeur traduisent le lessivage du Fer ou une origine différente des horizons profonds (ancien sol recouvert par des alluvions : caractère polycyclique de ce sol, dont l'hypothèse a été formulée lors des observations de terrain).

☞ la teneur en Fer amorphe est correcte.

D'une manière générale, pour mobiliser davantage la forme Fer de liaison, il faut prendre soin du travail du sol pour assurer une bonne aération et activer la mobilisation du fer géologique par les micro-organismes. La pratique des engrais verts et l'emploi de composts réducteurs permet aussi d'accroître la disponibilité du fer.

4.4.4. Caractérisations organo-biologiques

- matières organiques (MO)

		Profondeur (cm)	0-35	35-50	50-70
MO libre	Granulométrie (%)		60,8	65,7	52,1
	% C total		26,4	17,9	12,6
	% M.O		0,41	0,19	0,09
	% N total		18,5	11,7	6,7
	C/N		12,7	14,5	16,3
MO liée	Granulométrie (%)		39,2	34,3	47,9
	% C total		73,6	82,1	87,4
	% M.O		1,16	0,89	0,59
	% N total		81,5	88,3	93,3
	C/N		8,1	8,8	8,1

Tableau 6 : Caractérisation des matières organiques – Alma-Terra

☞ **En surface**, la structure de la M.O est déséquilibrée avec une teneur trop faible en MO libres (facilement minéralisables) qui représentent 26% du carbone total, pour un taux souhaitable de 34%. La « qualité » de la MO libre est bonne avec un C/N de 12,7 qui caractérise des MO très évoluées, peu riches en carbone.

La teneur en MO liée est un peu faible et son C/N, de 8,1 est satisfaisant.

☞ **Dans les horizons 35-50 et 50-70**, la structure de la MO est aussi déséquilibrée avec une teneur insuffisante en MO libre. La proportion de MO libre est plus faible dans ces horizons de sous-sol, car la matière organique est plus stabilisée.

Profondeur (cm)	Humus Stable (HS)		Matière Organique Facilement minéralisable (MOF)		3° F (0,3 à 0,6)	MO insolubilisée (100 à 200)	MTO
	Valeur	Optimum	Valeur	Optimum			
0-30	2,1	1,7	21%	20%	0,4	90	2,6
40	1,6		22%		0,2	60	2
70	1,1		30%		0,05	50	1,5
110	1,2		28%		0,05	30	1,6

Tableau 7 : Caractérisation des matières organiques – Amisol

☞ Le profil organique est jugé satisfaisant selon les analyses du BRDA-Hérody : la fraction MOF varie de 20 à 30%, l'optimum dans l'horizon cultivé étant de 20 %. La teneur en MO libre dans les horizons plus profonds traduit cependant des phénomènes de lessivage.

☞ La proportion d'humus stable est bonne, légèrement excédentaire dans l'horizon de surface.

☞ Les niveaux de 3^{ème} fraction et de MO sous forme insolubilisée sont réduits, signe que la matière organique évolue bien.

- Biomasse microbienne

Dans l'horizon 0-35, la taille du compartiment biomasse microbienne est un peu faible en valeur absolue mais bonne en valeur relative par rapport au stock de MO du sol. Les activités biologiques sont satisfaisantes, avec des potentiels de minéralisation qui laissent présager une bonne fourniture en nutriments (83 u N/ha/an).

Il faudrait envisager des apports de MO afin d'augmenter la teneur du sol. C'est la quantité et non la biodégradabilité des MO qui peut limiter ici le potentiel de nutrition du sol.

Profondeur (cm)	0-35		35-50		50-70	
C total (‰ de Terre Sèche)	9,1	f	6,3	f	4	Tf
% C microbien (BM Biomasse Microbienne)	1,9	C	1,5	C	0,8	f
Indice d'Activité Microbienne (I.A.M)	0,03	f	0,02	f	0,01	Tf
C minéralisé (Cm) (mg/kg/28 jours)	266	C	349	C	64	Tf
Indice de minéralisation du Carbone (%)	2,9	C	5,6	TF	1,6	f
Cm/BM (activité de la biomasse microbienne)	56	F	131	TF	73	F
N minéralisé (Nm)	15,9	C	4,3	Tf	0,8	Tf
Indice de minéralisation de l'azote N (%)	1,6	C	0,6	f	0,2	Tf

Tableau 8 : Caractérisation de la biomasse microbienne - Alma-Terra

Tf : très faible - f : faible - C : correct - F : fort - TF : très fort

Dans l'horizon 35-50, la biomasse microbienne est toujours correcte en valeur relative et le coefficient de minéralisation de la MO est très élevé : la MO est très active. L'origine de cette MO labile peut être des exsudats racinaires ou une accumulation de MO soluble, lessivée. La quantité d'azote potentiellement minéralisable est très faible (24 u N/ha/an), celui-ci étant sans doute immobilisé par une Biomasse microbienne active.

Au-delà, la biomasse microbienne et la dynamique biologique sont très faibles, ce qui n'est pas surprenant pour un horizon profond.

Les Indices d'Activité Microbienne (IAM) ne semblent pas adaptés pour caractériser le fonctionnement du sol car cet indice est toujours très faible quelle que soit la profondeur (très peu d'enzymes actives dans le sol), contrairement à ce qu'indiquent les résultats précédents.

☞ **les conclusions des 2 types d'approche organo-biologiques ne sont pas concordantes.** Les analyses pratiquées par Alma-terra indiquent des teneurs en MO un peu faibles, notamment en MO libres, mais une biomasse microbienne bien active (bonnes activités de minéralisation). Les analyses sur le même profil par Amisol concluent à des taux de MOF et HS plutôt élevés. Seul le fonctionnement global de la MO dans le sol est jugé positivement avec les 2 méthodes.

Les aspects quantitatifs sont donc divergents, mais les aspects qualitatifs sont plutôt concordants.

5- **CONCLUSIONS** - conséquences pratiques sur la conduite de la parcelle

☞ L'observation des profils pédologiques et culturaux permet de conclure sur un **sol profond doté d'un bon potentiel**. L'hydromorphie temporaire décelée ne semble pas entraver le bon fonctionnement biologique du sol, mais diminue les périodes d'intervention mécanique, avec des risques importants d'intervenir sur un sol mal ressuyé et de dégrader ainsi sa structure.

Le principal « défaut » constaté est l'état structural, avec des zones très compactées dès la surface et jusqu'à 50 cm de profondeur. Cet état ne pourra s'améliorer qu'avec un décompactage à 50 cm minimum, et des labours moins profond qu'actuellement (20-25 cm).

☞ Les teneurs en éléments nutritifs sont élevées. Des impasses sont possibles. Ensuite, les apports doivent être réalisés de façon régulière en petites quantités car la CEC et le CF sont faibles.

☞ Les diagnostics sur les teneurs en MO et la répartition entre les formes divergent mais le fonctionnement de la matière organique dans le sol est bon d'après les résultats des 2 approches analytiques. semblent plutôt satisfaisants. Les préconisations vont dans le sens de la technique du double apport : un apport de MO précurseur de MOF (type guano ou engrais vert) au printemps pour stimuler l'activité microbienne et un apport de MO précurseur d'humus stable à l'automne (compost ou produit dont l'Indice de Stabilité Biologique est élevé).

ANNEE DE MISE EN PLACE : 2001 - ANNEE DE FIN D'ACTION : non définie

ACTION : nouvelle ● en cours ● en projet ●

Renseignements complémentaires auprès de : H. Védie - GRAB - Agroparc BP 1222 84911 Avignon cedex 9 tel 04 90 84 01 70 fax 04 90 84 00 37 mail marachage.grab@freesbee.fr

Mots clés du thésaurus Ctifl : fertilité / diagnostic de parcelle / profil cultural / analyse de sol

Date de création de cette fiche : novembre 2003