



Diagnostic et évolution de la fertilité du sol

H. VEDIE - L. ROMET (GRAB)

1- BUT ET CONTEXTE :

Depuis 2001, le Groupe de Recherche en Agriculture Biologique étudie différentes méthodes de diagnostic de la fertilité des sols afin de mieux connaître les informations apportées par chacune d'elle et d'étudier la cohérence des résultats obtenus. A cette occasion le GRAB fait intervenir des experts de ces différentes techniques sur le terrain au cours d'une journée ouverte à un large public (producteurs, techniciens, étudiants...).

L'action est conduite sur des parcelles de maraîchage de plein champ exploitées en agriculture biologique depuis des durées variables. Quatre sites ont fait l'objet de caractérisations initiales entre 2001 et 2004, puis l'approche est suivie de façon dynamique avec des analyses réalisées tous les 4 ans. Le présent compte-rendu concerne les diagnostics réalisés sur l'exploitation du GRAB, qui avait fait l'objet d'une caractérisation en 2001 (voir fiche L01PACA01 du rapport final du GRAB 2001).

2- PARCELLES ETUDIÉES EN 2005 :

Il s'agit de deux parcelles exploitées en agriculture biologique depuis 2001, à Avignon (84).

- une parcelle en maraîchage. La succession culturale type fait alterner une culture de printemps (pomme de terre, haricots, betterave rouge) et un engrais vert d'automne-hiver (5 mois).

La fertilisation est pratiquée avec des engrais organiques, sur la base de 150/75/220 en N/P/K. 5t/ha de végéhumus ont été apportées au printemps 2003.

Le travail du sol est réalisé principalement avec la herse rotative, des disques et des griffons.

Une décompaction profonde (sous-solage) a été réalisée en mars 2005, avant le diagnostic, à cause d'une trop forte compaction du terrain (compaction déjà diagnostiquée en 2001 et non résolue par la pratique des engrais verts).

- une parcelle en arboriculture. Il s'agit d'un verger extensif de pommiers, poiriers et pêchers planté en janvier 2002. L'inter-rang est semé en mélilot + sarrasin + phacélie.

Aucune fertilisation n'a été pratiquée depuis la plantation.

Un labour profond et un défoncement avaient été réalisés avant la plantation. Depuis, les opérations consistent en l'entretien du rang (décavaillonnage) et le broyage de l'inter-rang.

3- METHODES UTILISEES :

Les différentes études réalisées sur la parcelle offrent une bonne vision de la diversité des moyens de diagnostic qui peuvent être employés. La caractérisation pédologique, réalisée en 2001, n'est rappelée que succinctement.

Les méthodes de terrain

- Etude du profil cultural,
- Activité des vers de terre

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	14/03	Profil cultural
X. Salducci	Alma-Terra	21/03	Analyses de laboratoire
D. Massenet	Amisol	14/03	Méthode Hérody. Diagnostic de terrain et analyses labo

Interventions réalisées en 2005 au Grab, Avignon (84)

4 - DIAGNOSTICS REALISES :

4.1 Observations de terrain

Le sol est profond, développé sur des alluvions récentes de la Durance. La texture est limono-argileuse à environ 21 % d'argile. Les principales caractéristiques de ce sol sont la sensibilité à la battance et aux compactations et la teneur très élevée en calcaire (pH de 8,5).

Dominique Massenot (Amisol)

Ce sol est de couleur brun-grise et présente des traces d'ancienne hydromorphie. La couleur grisâtre, qui est aussi marquée à l'intérieur des mottes, traduit l'état d'asphyxie. Ce sol est très sensible aux tassements et la porosité est relativement colmatée : il faut créer une « pseudo-structure » en stimulant l'activité biologique, et notamment microbienne, car les possibilités de restructuration naturelle sont faibles. Les solutions « biologiques » (engrais verts) sont préférables aux opérations importantes de décompactation qui risquent de provoquer des descentes de terre fine et d'augmenter les risques de colmatage des fissures en cas de pluie.

Fer : On peut sur le terrain évaluer la présence de fer de liaison, qui assure le lien entre les particules argileuses et humiques, avec un test à l'acide sulfurique et au thiocyanate de potassium (réaction colorimétrique rouge). Dans le cas présent, on trouve beaucoup de fer de liaison en surface, mais aussi en profondeur : il y a peut-être du lessivage.

Le fer amorphe, qui permet d'établir les liaisons limono-humiques, est peu présent car les limons sont de couleur blanchâtre (ils seraient rougeâtres sinon).

La présence importante de calcaire (forte effervescence à l'acide chlorhydrique) est aussi préjudiciable au fer car il y a insolubilisation.

Pour limiter les effets négatifs de l'excès de calcaire (enrobage des MO, immobilisation du phosphore, insolubilisation du fer, manganèse et oligo-éléments), il faut développer des pratiques culturales acidifiantes : utilisation d'acide minéral (patentkali) ou organique : compost jeune ou engrais vert dont la quantité d'acidité dépend du stade de broyage (avant fleurs) et de la famille botanique (crucifères, légumineuses).

4.2 Profil cultural (Y. Gautronneau)

• Profil parcelle Maraîchage

La décompactation réalisée l'a été à 55-60 cm de profondeur, avec un écartement de 50 cm entre les passages de dents (passages décalés et croisés d'un outil à 3 dents espacées de 1 m).

Horizon	Caractéristiques structurales
H 1 0-10 cm	Horizon d'incorporation de la MO (engrais vert).
H 5 10/12-30 cm	Ancien fond de labour. Peu marqué.
H 8 30 - 55/60	Horizon lié au passage du décompacteur. <u>Zones décompactées</u> : Mottes > terre fine, avec descente de terre fine dans les fissures. Etat interne des mottes : ΔO (compactage modéré-plans de rupture rugueux) <u>Entre les passages de dents</u> : grosses mottes Δ . Nombreuses racines et galeries de vers de terre autour des mottes. A l'intérieur des mottes, on note quelques enracinements de fissure de l'engrais vert (seigle + pois fourrager).
P 1 55/60 - fond de fosse (1,2m)	Horizon pédologique. Présence de plans de fissure verticaux. Structure prismatique (I) à sous-structure polyédrique (II). Les faces de fragmentation des prismes sont brun foncé, signe d'entraînement de MO en profondeur. Les polyèdres sont assez compacts, avec peu de traces d'activité biologique. Cet horizon présente des galeries verticales de vers anéciques qui sont partiellement obstruées par les excréments. Les galeries subhorizontales plus fines, liées à l'activité des vers endogés, sont fonctionnelles.

Observation de l'activité des vers de terre :

Dénombrement des orifices de galeries sur un plan horizontal de 0,5 m de large sur 20 cm (0,1 m²), à une profondeur de 60 cm environ (base de la zone décompactée, non perturbée par l'outil) :

- 25 galeries de diamètre inférieur à 3 mm
- 7 galeries de diamètre supérieur à 3 mm.

Soit 32 galeries/0,1 m² = **320 trous/m²**.

On avait dénombré 415 trous/m² en 2001. les résultats sont donc similaires et satisfaisants (bonne activité à partir de 400 trous/m² ?).

Conclusion :

Le profil structural est plutôt satisfaisant : la décompactation a été bien réalisée, et il n'y a plus de semelle de labour. Au sommet de l'horizon « pédologique » P1, on trouve d'assez nombreuses galeries de vers de terre et racines, signe que cet horizon fonctionne plutôt bien. L'état structural dégradé dans lequel se trouvaient les horizons supérieurs (nombreuses mottes Δ) s'est amélioré notamment grâce à la pratique des engrais verts et d'une rotation extensive : la diminution des interventions mécaniques diminue les sources de tassements.

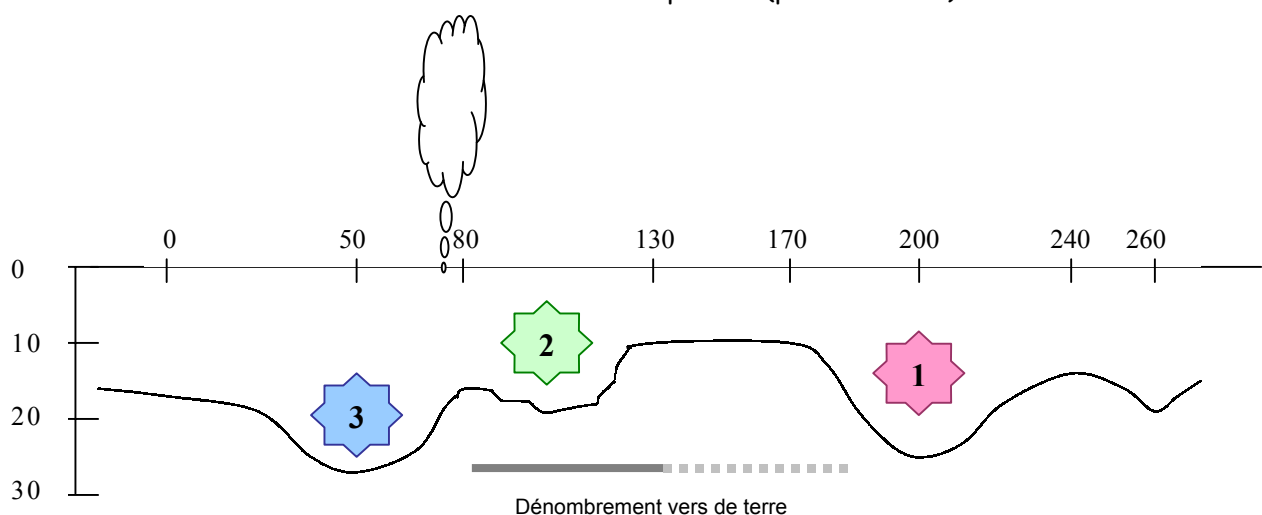
La décompactation était nécessaire pour accélérer la restructuration des horizons supérieurs : les fissures ainsi formées devraient être bien colonisées par les racines et les vers de terre qui prendront le relais pour assurer la restructuration biologique de ce sol. On devrait ainsi assister à une nette augmentation de l'activité des vers de terre d'ici 3-4 ans (doublement du nombre de galeries/m² ?).

• Profil parcelle Arboriculture

La fosse, profonde de 1 m environ, a été creusée dans la zone des pommiers entre le rang et le milieu de l'inter-rang.

Horizon	Caractéristiques structurales
H 5 0/50 cm	Ancien fond de décompactation. Limite floue Hétérogénéité latérale importante sur les 30 premiers cm (voir ci-dessous)
P 1 50/- fond de fosse (1m)	Horizon pédologique. Structure prismatique (I) à sous-structure polyédrique (II) bien affirmée (pas compacte comme en maraîchage). Présence de nombreuses galeries fonctionnelles de vers présumés anéciques, de traces d'activité (turricules) et de cocons. On a une belle structure d'origine biologique, traduisant une activité biologique intense. Les racines de pommiers sont encore peu nombreuses : la plus profonde à 80 cm, et la plus éloignée latéralement à 115 cm de l'arbre et 55 cm de profondeur.

Variations latérales de la structure superficielle :
localisation des zones de compaction (pénétrromètre)



1

Zone de tassement liée au cumul de passages des roues des tracteurs.

Structure continue C(R) en masse avec présence d'un seul vers de terre fonctionnel.

Structure interne $\Delta 0$: compactage modéré, réversible. (Porosité qui subsiste et qui laisse encore passer des racines et des vers de terre : état non préjudiciable pour l'arbre).

2 possibilités : - décompacter

OU - laisser tel quel pour s'en servir de passage portant privilégié

Essayer de ne plus tasser (pneus basse pression).

2

Structure C2R. Structure interne des mottes : entre $\Delta 0$ et Γ (bonne porosité).

Meilleur état structural que (1), beaucoup plus de porosité biologique.

3

Structure C2R avec 50% de mottes $\Delta 0$ et 50% de mottes.



Meilleur état structural que (1), beaucoup plus de porosité biologique.

(2) et (3) lié à des passages (peux nombreux) de tracteurs aux ras des arbres lors de girobroyages. La compaction en (3) est plus profonde qu'en (2) probablement à cause de passages de tracteur sur sol trop humide.

La structure sous l'enherbement est :

- feuilletée, avec agrégats anguleux, dans l'inter-rang dans les zones compactées à cause des accumulations de passages,
- grumeleuse dans les zones préservées (côtes 85 à 170)

Observation de l'activité des vers de terre à 25 cm de profondeur :

- **Sur le rang** : 50 cm entre côte 80 et 130 () sur le schéma
 - 75 galeries de diamètre inférieur à 3 mm
 - 11 galeries de diamètre supérieur à 3 mm.
 - Soit 86 galeries/0,1 m² = **860 trous/m²**.
- **Sur l'inter-rang** : 50 cm entre côte 130 et 180 () sur le schéma
 - 71 galeries de diamètre inférieur à 3 mm
 - 16 galeries de diamètre supérieur à 3 mm.
 - Soit 87 galeries/0,1 m² = **870 trous/m²**.

On avait dénombré 360 trous/m² en 2001. L'activité a donc doublé !

Conclusion :

Le profil structural de la parcelle en arboriculture est très satisfaisant. L'activité biologique y est intense et crée une porosité intéressante.

On observe néanmoins quelques zones de tassements, en particulier dans l'inter-rang, dues aux passages d'outils dans des conditions de ressuyage limites. La situation est cependant réversible.

On peut envisager d'ameublir, par exemple par un passage de décompacteur (à 25-30 cm de profondeur), tous les 3-4 ans de façon à améliorer l'oxygénation et l'activité biologique dans l'inter-rang. A l'avenir, il faut éviter ces compactations en intervenant sur **sol bien ressuyé**, et en **baissant la pression des pneus**.

4.3 Analyses de laboratoire

4.3.1. Caractérisation physique

		%A	%L	%S	% M.O	CEC (Cmol ⁺ /kg)	pH _{eau}	% Ca total	C/N
Profil Maraîchage	5-25	23	62	15	2,1	7	8,3	39,4	8
	25-50	22	62	16	1,7	6,8	8,3	39,4	6,7
Profil Arbo	Rang 0-20	19	63	18	1,7	6	8,5	40,3	6,5
	Rang 20-50	20	65	15	1,3	5,6	8,4	41,9	6,3
	IR 0-20	20	63	17	2,1	6,6	8,5	39,4	7

Tableau 1 : Caractérisation physique - Alma-Terra

		CF		%Fines	Bases (alcalino-terreux)			Acidité	
		Valeur	Echelle		Valeur	Besoin AT/CF	% Mg	Valeur	Besoin /CF
Profil Maraîchage	10-15	1,1	0 à 7	17	8,4	0,5	15	> 100 %	100
	60-65	1,0	Id	15	8,65	NS	Id	> 100 %	NS
Profil Arbo	10-15	1,2		17	8,1	0,5	15	> 100 %	100
	60-65	1,3		17	8,5		10	> 100 %	

Tableau 2 : Caractérisation physique - Amisol

- ☞ La texture est limono-argileuse. Le pourcentage d'argiles minéralogiques est faible (CF faible).
- ☞ La teneur en Matière organique totale, de l'ordre de 2 % est correcte. On a cependant une baisse de ce taux sur la parcelle maraîchage par rapport à 2001 où on avait 2,1 % de MO.
- ☞ La CEC, de l'ordre de 6 à 7 Cmol⁺/kg, est faible ainsi que le CF (coefficient de fixation). Les valeurs de ces 2 paramètres sont inférieures à celles obtenues en 2001 (respectivement 9 à 11 et 1,5), ce qui mériterait d'être approfondi mais pourrait s'expliquer par un entraînement des particules les plus fines par lessivage ou érosion.
- ☞ Le sol est très 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

4.3.2. Caractérisation chimique

		%P ₂ O ₅ (JH)		%K ₂ O		%MgO		%CaO	%NaO
Profil Maraîchage	5-25	0,22	BP	0,46	TR	0,31	R	9,7	0,02
	25-50	0,14	P	0,24	TR	0,25	R	9,8	0,02
Profil Arbo	Rang 0-20	0,11	P	0,23	TR	0,25	R	9,9	0,03
	Rang 20-50	0,08	P	0,15	R	0,25	R	10,1	0,03
	IR 0-20	0,14	BP	0,29	TR	0,27	TR	9,84	0,02

Tableau 3 : Caractérisation chimique - Alma-Terra

P : pauvre - B.P : bien pourvu - R : riche - TR : très riche

		P	K	Mg	Echelle
Profil Maraîchage	10-15	2	5	5	0 à 5
	60-65	2	4	5	0 à 5
Profil Arbo	10-15	1	4	5	0 à 5
	60-65	1	3	4	0 à 5

Tableau 4 : Caractérisation chimique - Amisol

- ☞ Les teneurs en éléments fertilisants sont sensiblement les mêmes que celles obtenues en 2001 : le sol est très riche en potasse et magnésie, alors que la teneur en phosphore est correcte sur la partie maraîchage et un peu faible sur la partie arboriculture. Le phosphore, très peu mobile, est logiquement limité aux horizons supérieurs alors que la potasse, soluble et mobile, se retrouve en profondeur, ce qui augmente de façon non négligeable la quantité de potasse disponible pour les plantes.
- ☞ Attention à la teneur en phosphore dans la parcelle arboriculture, pour laquelle les analyses « Hérody » montrent une tendance à la baisse de la disponibilité par rapport à 2001.

4.3.3 Le fer

		Fer de Liaison		Fer Amorphe	
		Valeur	Optimum	Valeur	Optimum
Profil Maraîchage	10-15	30	75	15	50
	60-65	25	NS	11	NS
Profil Arbo	10-15	35	70	15	75
	60-65	40	NS	12	NS

Tableau 5 : Dosage du fer - Amisol

☞ Les teneurs en fer amorphe et en fer de liaison sont insuffisantes par rapport aux besoins de construction du Complexe Organo-minéral (COM).

☞ La teneur en fer de liaison a diminué dans les 2 parcelles par rapport aux résultats obtenus en 2001. Cette diminution est probablement liée à des lessivages, le fer L étant associé aux matières organiques fugitives (MOF).

4.3.4. Caractérisation des matières organiques

		Profil Maraîchage		Profil Arbo		
		5-25	25-50	Rang 0-20	Rang 20-50	IR 0-20
MO libre	Granulo (%)	15	16,4	17,7	15,2	17,3
	% C total	24,2	16,3	16,1	8,8	17,8
	% M.O	0,51	0,27	0,27	0,11	0,37
	% N total	15,9	8,1	13,9	7,9	12,5
	C/N	12,2	13,5	7,6	7	9,9
MO liée	Granulo (%)	85	83,6	82,3	84,8	82,7
	% C total	75,8	83,7	83,9	91,2	82,2
	% M.O	1,6	1,41	1,4	1,17	1,71
	% N total	84,1	91,9	86,1	92,1	87,5
		C/N	7,2	6,1	6,4	6,2

Tableau 6 : Caractérisation des matières organiques - Alma-Terra

Dans la parcelle maraîchage, la structure de la MO est un peu déséquilibrée par une insuffisance de MO libre (teneur souhaitable de 0,66 % de MO). Cette teneur a baissé par rapport à 2001 (0,74 % de MO), traduisant peut-être une (trop ?) forte dégradation de la MO.

Cette constatation est valable pour la parcelle arboriculture, où la MO libre est aussi particulièrement évoluée (C/N faible), son potentiel humigène est faible.

		HS		MOF		3°F		Accumulation
		Valeur	Optimum	Valeur	Optimum	Valeur	Optimum	
Profil Maraîchage	10-15	3,5	1,6	19%	20%	1,55	0,3 à 0,6	200
	60-65	1,8	NS	33%	NS	1,25		115
Profil Arbo	10-15	3,4	1,6	10%	20%	1,55		230
	60-65	2	NS	25%	NS	1,20		140

Tableau 7 : Caractérisation des matières organiques - Amisol

☞ Stock organique satisfaisant présentant une minéralisation élevée en maraîchage et faible en arboriculture, avec des phénomènes de lessivage (MOF en profondeur). Le stock de matière organique résistant à l'activité microbienne et s'accumulant (MO insolubilisée ou « Ni-Ni ») a fortement augmenté depuis 2001.

☞ Les matières organiques totales sont élevées et existent davantage sous forme insolubilisée que d'humus vrai. Les MOF, lorsqu'elles sont libérées de leur enrobage de calcaire par les micro-organismes, ont plutôt tendance à faire de la 3^{ème} fraction ou à être lessivées compte-tenu de l'insuffisance du fer amorphe : elles donnent naissance à des formes insolubilisées, en surface ou en profondeur selon qu'elles ont subi ou non les lessivages.

4.3.5. Caractérisation de la biomasse microbienne

	Profil Maraîchage				Profil Arbo					
	0-25		25-50		Rang 0-20		Rang 20-50		IR 0-20	
C total (‰ de TS)	12,2	C	9,8	f	9,7	f	7,5	f	12,1	C
% C microbien (BM)	2,7	F	1,8	C	2,7	F	2,0	F	2,6	F
I.A.M	0,15	C	0,04	tf	0,03	tf	0,05	tf	0,08	f
C minéralisé Cm (mg/kg/28 jours)	572	F	186	F	279	C	197	f	414	F
Indice de minéralisation C (%)	4,7	TF	1,9	F	2,9	C	2,6	C	3,4	F
Cm/BM	62	F	38	C	39	C	46	C	46	C
N minéralisé Nm	37,7	TF	16,8	C	23,5	F	13,5	C	25,3	F
Indice de minéralisation N (%)	2,5	F	1,1	C	1,6	C	1,1	C	1,5	C

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

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

☞ **Dans la parcelle maraîchage**, la biomasse microbienne est en quantité satisfaisante en valeur absolue et forte en valeur relative (en augmentation par rapport à 2001 : 1,7 % Cm). L'environnement sol et la qualité des restitutions organiques sont fortement favorables à la production de microbes.

La quantité de MO potentiellement minéralisable est forte et le coefficient de minéralisation très élevé : la MO est très active mais manque peut-être de protection.

La quantité d'azote potentiellement minéralisable est aussi très élevée : estimation à 198 unités N/ha/an.

☞ **Dans la partie arboriculture**

Les résultats, et surtout ceux de l'inter-rang, sont assez semblables à ceux obtenus dans la zone maraîchage : les activités biologiques sont très importantes et semblent révéler une MO peu protégée, très facilement dégradable, intéressante pour les cultures à court terme mais servant peu pour l'entretien de l'humus.

Les diagnostics « Alma-terra » et « Hérody » sont ici divergents pour la minéralisation des matières organiques, surtout pour la parcelle arboriculture.

5 - CONCLUSION

Le diagnostic réalisé cette année, montre donc déjà un certain nombre d'évolutions par rapport à l'état des lieux réalisé en 2001 (avant le passage à l'agriculture biologique) : améliorations de l'état structural du sol, avec une augmentation de la structuration biologique (vers de terre), et évolution de la part des différents compartiments de matière organique, avec une augmentation importante de l'activité de la biomasse microbienne. On a peu d'évolution en revanche de l'état de fertilité chimique.

Ces observations devront être renouvelées de façon à confirmer - ou non - ces évolutions, et étudier si elles s'accompagnent de changements de comportement agronomique des parcelles.

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 vedie.grab@tiscali.fr

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

Date de création de cette fiche : janvier 2006