

Qualité du sol et rentabilité des systèmes agricoles biodynamique et conventionnel : Un bilan

John P. Reganold 1994

Résumé

L'agriculture biodynamique et l'agriculture biologique sont semblables en ce sens qu'elles sont toutes les deux orientées vers l'écologie et qu'elles n'emploient pas d'engrais et de pesticides chimiques. La principale différence est que les agriculteurs biodynamiques ajoutent huit amendements spécifiques, appelés préparations, à leurs sols, cultures et composts. Récemment, il y a eu un intérêt croissant pour des pratiques agricoles et des systèmes biodynamiques parce qu'ils montrent leur potentiel pour atténuer certains effets néfastes de l'agriculture conventionnelle dépendante des produits chimiques. Seulement quelques études examinant des méthodes biodynamiques ou comparant l'agriculture biodynamique à d'autres systèmes agricoles ont été publiées dans la littérature scientifique de référence, surtout en anglais. Cet article récapitule des données des études précédentes, tant publiées que non publiées (des thèses), qui ont comparé les systèmes agricoles biodynamique et conventionnel en ce qui concerne la qualité ou la rentabilité du sol. Ces études ont prouvé que les systèmes agricoles biodynamiques ont en général une meilleure qualité de sol, des rendements inférieurs et des retours nets par hectare égaux ou plus élevés que leurs contreparties conventionnelles. Deux études qui comprenaient des traitements de conduite biologique avec et sans préparations ont prouvé que les préparations ont amélioré les propriétés biologiques du sol et ont augmenté la croissance racinaire des cultures. Cependant, davantage de recherche est nécessaire pour déterminer si les préparations influent sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et la croissance des cultures et, si oui, leur mode d'action.

Mots clés: agriculture biodynamique, préparations biodynamiques, qualité du sol, rentabilité de la ferme, systèmes agricoles, recherche à la ferme, agriculture durable.

Introduction

Les soucis croissants concernant les effets environnementaux, économiques et sociaux imputables à l'agriculture conventionnelle dépendante de la chimie ont amené de nombreux agriculteurs et consommateurs à chercher des systèmes et des pratiques alternatifs qui rendront l'agriculture plus durable. Les systèmes agricoles alternatifs signifient "organique", "biologique", "biodynamique", "écologique" et "à faible intrant". Cependant, le fait qu'une ferme soit "organique" (NdT. : terme anglais plus juste que le français "biologique") ou "biodynamique", par exemple, ne signifie pas qu'elle soit durable. Pour être durable, il faut qu'elle produise de la nourriture de grande qualité, qu'elle soit sûre sur le plan environnemental, qu'elle protège le sol et qu'elle soit rentable et socialement juste (Reganold *et al.* 1990).

Récemment, il y a eu un intérêt croissant pour l'agriculture et le jardinage biodynamiques. Par exemple, entre 1989 et 1992 le nombre de fermes biodynamiques en France est passé de 142 à 202 (Bio-Dynamic Farming and Gardening Association in New-Zéland 1993). Bien que l'agriculture biodynamique soit pratiquée dans des climats froids et chauds sur tous les continents, les proportions les plus élevées de fermes biodynamiques se trouvent en Europe de l'Ouest, Australie, Nouvelle-Zélande, et Amérique du Nord (Lampkin, 1990). Une enquête du

milieu des années 80 en Europe a recensé 1.090 fermes et maraîchages biodynamiques sur 17.616 ha; 42% étaient en Allemagne et 15% en Hollande (Koepf, 1989). L'enquête a également mis en lumière que le mouvement biodynamique européen comprenait 28 conseillers à temps plein, 124 préparateurs sous contrat; 47 grossistes, environ 3.000 détaillants, 30 groupes de consommateurs, et en plus de nombreux agriculteurs et jardiniers biodynamistes à temps partiel. Une évaluation grossière est qu'il y a aujourd'hui au moins 2.000 agriculteurs et jardiniers qui pratiquent la biodynamie (complètement ou à temps partiel) aux États-Unis (Charles L. Beedy, directeur exécutif, Bio-Dynamic Farming and Gardening Assoc. Inc., Kimberton, Pennsylvanie, communication personnelle, août 1994).

La biodynamie est considérée par certaines personnes comme étant le mouvement alternatif d'agriculture organisé le plus ancien dans le monde. Elle est née en 1924 suite à une série de conférences de Rudolf Steiner, le fondateur de l'anthroposophie, à la demande d'agriculteurs allemands (Koepf, 1989). Depuis quelques années, l'intérêt a été partagé par plusieurs pays européens. Ehrenfried Pfeiffer a importé d'Europe la biodynamie aux États-Unis avant la 2^{ème} Guerre mondiale. Aujourd'hui, des agriculteurs, des jardiniers, des conseillers et des scientifiques sont organisés dans des associations biodynamiques, dont certaines ont leurs propres structures de recherche. Un programme de certification a été présenté en 1928 pour la commercialisation des produits alimentaires de base, qui sont maintenant proposés sur le marché sous les marques déposées Demeter et Biodyn. La plupart, si ce n'est la totalité, des produits biodynamiques certifiés (par exemple, ceux avec le label Demeter) répondraient aux critères du biologique certifié, mais le bio certifié ne réponds pas aux normes de Demeter, avant tout parce que les préparations biodynamiques ne sont pas employées en agriculture biologique.

Comme l'agriculture biologique, l'agriculture biodynamique n'emploie aucun engrais, ni pesticide chimique de synthèse et privilégie plutôt la construction du sol grâce à des apports de compost, des fumiers animaux et des engrais verts, au contrôle naturel des ravageurs, la rotation des cultures, des cultures et un bétail diversifiés. Une différence majeure est que les agriculteurs biodynamistes ajoutent huit préparations spécifiques à leurs sols, cultures et composts pour augmenter la qualité du sol et des cultures et pour stimuler le processus du compostage (Koepf et autres, 1976).

Les huit préparations, désignées par leurs ingrédients ou par les numéros 500 à 507, sont faites à partir de la bouse de vache, de la silice, des fleurs d'achillée millefeuille, de camomille, de pissenlit, de valériane, d'écorce de chêne, et de l'ensemble de la plante de l'ortie piquante (tableau 1). Certains agriculteurs biodynamistes font les préparations eux-mêmes, tandis que d'autres les achètent auprès des associations de biodynamiques certifiées ou de praticiens expérimentés.

Les idées qui sous-tendent les préparations sont non conventionnelles et basées sur une approche holistique de la nature. Quand ils sont appliqués, les extraits des préparations sont si dilués dans l'eau que les effets physiques ou biologiques semblent peu probables. Pourtant des augmentations significatives de rendement ont été rapportées dans la littérature biodynamique (Goldstein, 1990). Des praticiens biodynamistes soutiennent que les préparations ne sont pas de la « sorcellerie », des « huiles de serpent », des « panacées-miracle » ni des parties d'une combine promettant monts et merveilles. Goldstein (1990) croit que les gens qui doutent que les préparations sont bénéfiques pour l'agriculture le font pour les raisons suivantes:

* Les personnes pour la plupart n'ont probablement pas entendu parler de biodynamie, ni de préparations biodynamiques.

* La biodynamie est basée sur des principes spirituels-physiques. Les aspects spirituels sont difficiles, sinon impossibles à mesurer.

* L'élaboration des préparations semble étrange ou antihygiénique à bien des gens.

* Des volumes de préparations si petits sont appliqués aux cultures, aux sols, ou au compost qu'une réponse semble peu probable.

* Aucune réponse chimique/physique correcte à la question du pourquoi les préparations peuvent fonctionner, n'a été proposée. Certaines personnes ont proposé que les préparations agissaient comme des inoculations microbiennes; d'autres, pensent qu'elles peuvent avoir des effets hormonaux ou peut-être même des effets par rayonnement.

A côté des préparations, il y a d'autres différences entre l'agriculture biologique et biodynamique. L'agriculture biologique moderne a été initiée par Sir Albert Howard en Angleterre dans les années 1930, mettant l'accent sur l'utilisation du compost au lieu des engrais chimiques (Oelhaf, 1978). En 1924, le concept de Rudolf Steiner d'une agriculture saine prenait en compte non seulement les rotations de cultures, le chargement adapté (NdT : les densités d'occupation), et la fumure organique, mais également des facteurs cosmiques, à savoir l'influence de la Lune et des planètes. Par exemple, ses observations l'ont amené à penser qu'il y avait un rapport entre la position de la Lune et celle du Soleil (rythme synodique), les dates de semis, et la croissance des cultures (Spiess, 1990).

Bien qu'il y ait eu de nombreux articles, allant de l'approximatif au détaillé, décrivant des études de pratiques biodynamiques, la majeure partie de cette information n'a pas été passée en revue selon des principes scientifiques rigoureux par les scientifiques traditionnels du sol, les agronomes, ou les économistes agricoles (Koepf, 1993). Peu d'études examinant les méthodes de l'agriculture biodynamique ou comparant le système biodynamique avec d'autres systèmes agricoles ont été publiées dans la littérature scientifique de référence, particulièrement en anglais. La plupart des études de cette sorte ont été entreprises et publiées en Allemagne et en Suède et ne sont pas disponibles en anglais (Koepf, 1989, 1993).

Cet article récapitule les données de plusieurs investigations antérieures comparant des fermes biodynamiques et conventionnelles ou des parcelles expérimentales de recherche en Europe, Australie, Nouvelle-Zélande, États-Unis et aux îles Canaries. Puisque cette recension inclut la plupart du temps les publications anglaises, elle ne couvre qu'une petite partie de la littérature consacrée à la biodynamie. L'objectif de chaque étude rapportée ici était de déterminer les effets des agricultures biodynamique et conventionnelle sur la qualité du sol ou la performance économique, deux parmi plusieurs indicateurs de durabilité agricole.

Tableau 1. Les huit préparations biodynamiques, qui se composent de matières fermentées que nous utilisons en pulvérisations au champ ou dans des tas de fumier ou de compost (Proctor, 1989).

Préparation	Substance à partir de laquelle elle est produite	Application de la préparation
500	Bouse de vache fermentée dans une corne de vache	Une pulvérisation sur des sols avant la plantation
501	Silice fermentée dans une corne de vache	Une pulvérisation sur chaque culture en croissance
502	Sommités de fleurs d'Achillée mille-feuille (<i>millefolium d'Achillea</i>) fermentées dans la vessie d'un cerf	Les préparations 502 à 507 sont appliquées aux tas de fumier ou de compost
503	Sommités de fleurs de Matricaire camomille (<i>Matricaria recutita</i>) fermentées dans un intestin de vache	
504	Ortie piquante (<i>Urtica dioica</i>) fermentée dans le sol	
505	Écorce de chêne (<i>quercus robur, en Am. du nord quercus alba</i>) fermentée dans le crâne d'un animal domestique	
506	Sommités de fleurs de pissenlit (<i>Taraxacum officinal</i>) fermentées dans le mésentère d'une vache.	
507	Jus pressé de fleurs de valériane (<i>Valeriana officinalis</i>)	

Études de qualité du sol

Les sols de haute qualité favorisent non seulement la croissance des plantes, mais empêchent également la pollution de l'eau et de l'air en résistant à l'érosion et en dégradant et en immobilisant les produits chimiques agricoles, des déchets organiques et d'autres polluants potentiels. La qualité d'un sol est déterminée par une combinaison des propriétés physiques, chimiques, et biologiques telles que la texture du sol, la profondeur, la porosité, la capacité de stocker l'eau et des nutriments, la teneur en matière organique, et l'activité biologique (National Research Council, 1993). Dans cette section, je rapporte les études qui examinent différentes combinaisons des propriétés physiques, chimiques et biologiques des fermes ou des parcelles de recherche conduites en biodynamie et en conventionnel. Quelques études incluent également une modalité biologique.

Suède - En 1958, the Scandinavian Research Circle a commencé une expérience sur une parcelle de terrain à Järna pour étudier les effets des conduites biodynamique, biologique, et conventionnelle sur la qualité du sol et des cultures (Pettersson et von Wistinghausen, 1979). Huit traitements de fumures différentes sans répétitions ont été appliqués aux parcelles de terrain. Chaque modalité a eu la même rotation de cultures sur quatre ans: blé d'été / mélange trèfle-graminées / pomme de terre / betterave (tableau 2). Des analyses du sol de routine ont été effectuées depuis 1958 entre 3 et 5 ans d'intervalle ; des analyses détaillées ont été faites du sol de surface (0-10cm) et du sous-sol (25-35 centimètre) en 1976, 1985 et 1989, et de la deuxième couche du sous-sol (50-60 cm) en 1985 et 1989 (Pettersson *et al.* 1992).

Tableau 2. Les huit traitements dans la parcelle expérimentale à Järna, Suède (Pettersson et von Wistinghausen, 1979).	
Traitement	Application de fumure
K1	Compost de fumier avec les préparations biodynamiques 502 à 507 et, à partir de 1962, de farine de viande et de farine d'os à hauteur de 1% (farine d'os seule après 1974); sol et plantes traités avec les préparations biodynamiques 500 et 501, respectivement.
K2	Même chose que K1, mais à l'exclusion des pulvérisations de 500 et de 501.
K3	Fumier brut avec apport de 1% de farine de corne et d'os comme celui de 1974.
K4	Moitié de l'apport de fumier brut de K3 + moitié de l'apport d'engrais NPK reçu par K6.
K5	Témoin (non fertilisé).
K6	NPK organique: de 1958 à 1973, composé de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , superphosphate, et K_2SO_4 ; à partir de 1974 mélange préparé (11-5-18) avec quantité infinitésimale de minéraux.
K7	NPK inorganique par 2 fois à la même dose que sur K6.
K8	NPK inorganique à 4 fois la dose de N et à 2 fois la dose de P et de K que sur K6.

Chacune des trois années envisagées, le sol de surface des parcelles traitées de manière biodynamique et fertilisées organiquement (K1 - K4) était généralement mieux pourvu en matière organique, avec une activité microbienne, une activité enzymatique (déshydrogénase et uréase) plus intenses avec plus de canaux de ver de terre, avec un N total et un pH plus élevés que le sol de surface du témoin (K5) ou que des parcelles fertilisées chimiquement (K6-K8) (Pettersson et autres, 1992). Parmi les traitements de fertilisation organique (K1-K4), le traitement K4, le seul à avoir reçu des engrais organiques et inorganiques, a eu les plus basses activités microbiennes, activités de déshydrogénase et moins de canaux de ver de terre pendant chacune des trois années. Les niveaux extractibles de P étaient les plus élevés dans les traitements chimiquement fertilisés (K7 et K8) en chacune des trois années.

Dans l'étude de Pettersson et autres (1992), les rendements moyens pour chacune des quatre cultures au cours de la période de 32 ans (1958-1989) étaient comparables pour tous les traitements, sauf ceux de la parcelle témoin (K5) et ceux du traitement NPK moindre (K6) qui étaient légèrement inférieurs. La variation du rendement parmi les sept traitements autres que la parcelle témoin était presque de 20% entre le traitement K8 (dose NPK maximale) qui avait le rendement moyen le plus élevé et le traitement K6 (dose NPK minimale) le rendement le plus bas.

Granstedt (1991) a mesuré dans les plantes les entrées et les sorties des nutriments de fermes conventionnelles et biodynamiques en Suède. Il a montré que l'économie des nutriments sur les fermes biodynamiques était plus efficace et potentiellement plus sûre sur le plan environnemental que dans les fermes conventionnelles.

Allemagne - Une expérimentation sur des parcelles pendant quatre ans comparant les propriétés biologiques du sol en conduites de légumes biodynamique, organique, et conventionnelle a été menée en Allemagne (Abele, 1987, telle que traduite par Koepf, 1993). Chaque système de conduite a reçu des applications annuelles de N à trois doses différentes (50, 100 et 150 kg/ha) appliquées comme engrais chimiques dans les parcelles de terrain conventionnelles, sous forme de fumier composté dans les parcelles biologiques et sous forme de fumier composté ayant reçu les préparations biodynamiques dans les parcelles de terrain biodynamiques. À chacune des trois doses de N, la matière organique et l'azote total étaient significativement plus élevés dans les parcelles biodynamiques que dans les parcelles biologiques correspondantes, et dans les parcelles biodynamiques et biologiques que dans les parcelles conventionnelles. Les parcelles biodynamiques étaient également significativement supérieures aux parcelles biologiques, et les parcelles biologiques à leur tour significativement supérieures aux parcelles conventionnelles, pour ce qui est de l'activité de déshydrogénase, de la biomasse microbienne et de l'activité de déshydrogénase par unité de biomasse microbienne.

Dans une autre étude de parcelle à la station expérimentale en Allemagne, Reinken (1986) a trouvé de plus hauts niveaux de matière organique et de populations de vers de terre dans des parcelles de terrain de pommiers et de légumes traitées en biodynamie que dans des parcelles de terrain de pommiers et de légumes traitées en conventionnel.

Autriche - Forssner (1987) étudie la faune du sol, l'activité microbienne, les enzymes du sol et d'autres propriétés du sol sur deux paires de fermes menées en biodynamie et en conventionnel près de Vienne. Les sols cultivés en biodynamie ont eu de plus grands nombres de protozoaires (testate amibes et ciliés) et de nématodes, une activité microbienne et une teneur en humus plus élevées et une densité apparente inférieure que le sol cultivé en conventionnel. Cependant, quelques différences ont pu être affirmées avec une grande confiance statistique en raison de la faible dimension de l'échantillon.

Australie - Dans la comparaison d'une ferme biodynamique et d'une ferme adjacente en conventionnel en Australie, Forman (1981) a examiné les propriétés du sol, les rendements et les teneurs en nutriments des plantes. Les deux fermes étaient situées dans la région des plaines Breeza dans les Nouvelles Galles du Sud. La ferme en biodynamie depuis sept ans pratiquait une rotation de cultures blé /seigle/jachère/blé/jachère/blé/blé. La prairie biodynamique était plantée d'arbres épars pour le bois d'œuvre avant d'être cultivée. La ferme conventionnelle vieille de 11 ans pratiquait une rotation blé/blé/jachère. Avant que le pré conventionnel ne soit mis en culture arable, il avait d'abord été cultivé pendant 10 ans, puis mis en pâturage pendant environ 35 ans. La matière organique, le phosphore extractible, et le pH étaient tous significativement plus élevés sur la ferme biodynamique que sur la ferme conventionnelle adjacente (tableau 3). Les taux de potassium étaient semblables; seuls le Mg et le Na étaient inférieurs sur la ferme biodynamique.

Forman a également effectué des essais en pots en serre chaude sur du blé en utilisant des échantillons de sol provenant de prairie biodynamique et de prairie conventionnelle. Les deux sols ont reçu différentes combinaisons des deux préparations biodynamiques (500 et 507) et de deux nutriments fertilisants inorganiques (N et P). Un total de 16 traitements (contrôle y compris), chacun répété 3 fois, a été appliqué aux pots remplis des sols soit biodynamiques, soit

conventionnels. Après tous les traitements, Forman a constaté que le sol biodynamique avait un nombre plus élevé de plantules de blé émergées 7-8 jours après le semis et un taux beaucoup plus élevé de formation de talles 13 jours après le semis que le sol conventionnel. (Tableau 3). Il avait également des rendements nettement plus importants de matière sèche du blé (48 jours après le semis), et des rendements plus importants par unité d'eau ajoutée (efficacité d'utilisation de l'eau) que le sol conventionnel. Les plantes cultivées dans le sol biodynamique avaient une teneur et une absorption en N nettement plus élevées, d'absorption de P et de teneur de C également, que les plantes poussées dans le sol conventionnel, mais la teneur en P était nettement plus élevée dans le sol conventionnel.

Tableau 3. Valeurs moyennes des données de sols des prés adjacents et des données de plantes des parcelles d'essais. Nouvelles-Galles du Sud, Australie (Forman, 1981).

Propriétés du sol ⁽¹⁾ et des plantes	Ferme biodynamique	Ferme conventionnelle
Propriétés du sol dans l'étude au champ		
C (%)	1.43*	0.94
Azote total (%) ^(2 et 3)	0.23	0.13
P Extractible (mg/kg)	44.9*	27.8
Mg Extractible (cmol/kg)	1.65	1.86*
K Extractible (cmol/kg)	1.33	1.39
Na Extractible (cmol/kg)	2.17	4.63*
pH	6.12*	5.57

Étude en pots

Comptage de l'émergence des jeunes plants (7 jours après le semis) ⁽³⁾	111
Comptage de l'émergence des jeunes plants (8 jours après le semis) ⁽³⁾	210
Plantes montrant un développement de talles (13 jours après le semis)	3 86
Masse de la matière sèche (g) produite par le blé par pot (48 jours après le semis)	2,57 *
Masse de matière sèche produite par le blé par quantité d'eau ajoutée (mg/ml)	1,32 * 0,98
Teneur de la plante en N (%)	2,09 *
Absorption de N par la plante (magnésium)	55,2 *
Teneur de la plante en P (%)	0,36
Absorption de P (mg) par la plante	9,4*
Teneur de la plante en CA (%)	0,33 *
Teneur de la plante en K (%)	3,31
Teneur de la plante en Mg (%)	0,13

* Indique une valeur nettement plus élevée ($p < 0,01$, en utilisant un essai-t recto-verso pour l'étude au champ et une ANOVA bidirectionnelle dans une conception de bloc complète et randomisée pour l'étude de pots).

(1). Basé sur une profondeur de prélèvement de 0-10 cm.

(2). Les moyennes d'azote total sont basées chacune sur seulement deux échantillons réunis par pré; toutes autres propriétés de sol sont des moyennes portant sur 25 échantillons séparés par pré.

(3). Non analysé statistiquement.

Volume 10, Numéro 1, 1995

Penfield (1993, 1994) a établi un projet de recherche à long terme en 1989 au Campus Roseworthy de l'université d'Adelaïde en Australie pour étudier des caractéristiques de sol, des rendements de cultures, et l'économie de quatre systèmes agricoles : biodynamique, conventionnel, intégré (peu d'intrants), et biologique. Les systèmes sont comparés sur une ferme du campus de 16ha dont les champs étaient auparavant des pâturages, avec des parcelles répétées de 2 ha par traitement. Pour tous les traitements une culture de blé est mise en place tous les 4 ans. Au bout de 4 ans, les 4 traitements ont montré peu de différences statistiquement significatives en C organique, en VA mycorrhizae (NdT. : endomycorhize à vésicules arbuscules ou vesicular arbuscular mycorrhizae), en biomasse et activité microbienne, vers de terre, infiltration de l'eau, érosion du sol, ou P extractible (Penfold, 1994).

Nouvelle-Zélande - Pour examiner les effets des systèmes agricoles biodynamique et conventionnel sur la qualité du sol, Reganold et autres (1993) ont étudié 7 fermes biodynamiques sur l'île du nord de la Nouvelle-Zélande, dont chacune a été couplée avec une ou deux fermes conventionnelles adjacentes sur la base des caractéristiques du sol, les cultures et les élevages de bétail entreprises (total de 16 fermes). Les fermes comprenaient une gamme des entreprises représentatives en Nouvelle-Zélande: maraîchage (légumes), verger de fruits à pépins (pommes et poires), verger d'agrumes, céréales, moutons/bœufs et élevage laitier. Les champs cultivés de chaque paire ou triplète de fermes avaient les mêmes cultures, bétails et types de sol. Les fermes biodynamiques avaient été conduites en biodynamie pendant au moins 8 ans; la plus ancienne pendant 18 ans. Les sols superficiels conduits en biodynamie (0-10 cm), avaient une teneur en matière organique et une activité microbienne nettement plus élevées, une densité apparente moindre, une pénétrabilité plus facile et un sol superficiel plus épais que leurs voisines conventionnelles (tableau 4). Des différences dans les propriétés chimiques étaient mélangées: la capacité d'échange cationique et le N total étaient plus élevées sur les fermes biodynamiques, alors que les P disponible, S disponible et le pH du sol étaient plus élevés sur les fermes conventionnelles. Les niveaux de CA, de Mg et de K étaient semblables dans les deux systèmes.

L'état physique des sols de chacune des 16 fermes a été évalué depuis (Reganold et Palmer, données non publiées) en utilisant un index de structure du sol développé par Peerlkamp (1967), puis modifié par McLaren et Cameron (1990). L'index de structure s'étend de 1 (la condition la plus faible) à 10 (la plus favorable). L'index pour les sols cultivés en biodynamie donnait une moyenne de 7,4, tandis que celui des sols cultivés en conventionnel était nettement inférieurs à 5,7 (tableau 4).

Reganold et autres (1993) n'ont analysé pour la paire de maraîchages que les vers de terre et ont trouvé que le sol cultivé en biodynamie contenait 8 fois plus de vers de terre (plus de 25 fois en masse) que le sol cultivé en conventionnel. Dans les comptages postérieurs sur deux des autres paires de fermes de l'étude de Reganold et autres (1993), Levick (1992) a trouvé 12 fois plus de vers de terre au verger biodynamique d'agrumes et 84 fois plus de vers de terre au

verger biodynamique de fruits à pépins que dans leurs équivalents conventionnels. Levick a également trouvé que les sols cultivés en biodynamie avaient des scores nettement plus élevées pour : la vitesse d'infiltration de l'eau, la porosité, le C organique et la respiration du sol, et plus bas pour la densité apparente en lien avec la résistance à la pénétration, que les sols cultivés de manière conventionnelle.

Tableau 4. Valeurs moyennes des données sur des sols (Reganold et al. 1993).

Propriétés du sol ⁽¹⁾	Toutes les fermes bd	Toutes les fermes conv.
Densité apparente (Mg/ m ³)	1,07	1.15*
Résistance à la pénétration (20-40 cm) (MPa)	2.84	3.18*
Résistance à la pénétration (20-40 cm) (MPa)	3.55	3.52
Index ² de la structure du sol ⁽²⁾	7.4*	5.7
Épaisseur du sol superficiel (cm)(inclut les horizons de surface et de subsurface (A)	22.8*	20.6
C (%)	4.84*	4.27
Respiration (µL O ₂ h ⁻¹ g ⁻¹)	73.7*	55.4
N minéralisable (mg/kg)	140.0*	105.9
Ratio de N minéralisable à C (mg min N/g C)	2.99*	2.59
Capacité d'échange cationique (cmol/kg)	21.5*	19.6
N total (mg/kg)	4840*	4260
P total (mg/kg)	1560	1640
P extractible (mg/kg)	45.7	66.2*
S extractible (mg/kg)	10.5	21.5*
Ca extractible (cmol/kg)	12.8	13.5
Mg extractible (cmol/kg)	1.71	1.68
K extractible (cmol/kg)	0.97	1.00
pH	6.10*	6.29*

* Indique une valeur nettement plus élevée (p <0,01, en utilisant une analyse de la variance bidirectionnelle).

(1). Basé sur une profondeur de prélèvement de 0-10 cm, à moins d'une autre indication.

(2). Données non publiées (Reganold et Palmer, 1994) basées sur l'index de structure du sol développé par Peerlkamp (1967), puis modifié par McLaren et Cameron (1990).

États-Unis - Goldstein (1986) a comparé les effets des conduites biodynamique, biologique, et conventionnelle sur les propriétés du sol et les caractéristiques de croissance des cultures dans une étude de trois ans sur des parcelles de terrain dans un secteur de production de céréales en zone sèche de l'état de Washington. Les parcelles de terrain biodynamiques (compost de fumier et préparations) et les parcelles de terrain biologiques (compost de fumier seulement)

étaient nettement mieux pourvues en matière organique et respiration microbienne et en biomasse que ne l'étaient les parcelles de terrain conventionnelles (engrais N et P). Les parcelles biodynamiques révélaient beaucoup plus de biomasse microbienne et légèrement plus de matière organique et de respiration microbienne que les parcelles biologiques. Les parcelles biodynamiques montraient également plus de croissance des racines de blé d'hiver que les parcelles biologiques ou conventionnelles.

Îles Canaries - Garcia et autres (1989) ont étudié la fertilité du sol et la composition foliaire dans une plantation biodynamique d'avocats de 6 ha et de 5 ans d'âge, à Tenerife (la plus grande des îles Canaries). Ils ont comparé les résultats aux données semblables de sols (recueillies 5 ans plus tôt) de 31 plantations conventionnelles d'avocats et les données foliaires semblables de 15 plantations. Ils ont constaté que les sols superficiels (0-25 cm) de la plantation biodynamique étaient nettement supérieurs en termes de pH, matière organique et en P, Ca, Mg et K disponibles que ceux des plantations conventionnelles. Les niveaux foliaires de N, P, K, Mg, et Cu étaient semblables dans les deux types de plantations; le Ca et le Mg étaient nettement inférieurs dans les avocats biodynamiques, bien que ces valeurs soient considérées comme des valeurs normales, et le Zn foliaire était nettement plus élevé dans les avocats biodynamiques.

Études économiques :

Les chercheurs des études rapportées ici ont employé la marge brute d'entreprise comme mesure de performance économique, excepté Vereijken (1986; 1990). La marge brute est la différence entre le revenu brut et les dépenses variables de fonctionnement de l'exploitation. Les coûts variables incluent les engrais, pesticides, carburants, travail et préparations biodynamiques, entre autres. Des coûts fixes tels que le service de la dette ont été exclus.

Allemagne - Schlüter (1985), à l'université de Stuttgart-Hohenheim, Allemagne, a analysé la conduite de ferme, le travail, les rendements, et la rentabilité de 16 fermes biodynamiques de 7 régions de production dans le sud-ouest de l'état allemand du Bade-Wurtemberg. (Je base cette recension sur une traduction anglaise condensée de sa dissertation par Koepf [1986].) L'équipe de Schlüter a recueilli des données de fermes et d'entretiens avec des agriculteurs tous les trois mois pendant deux ans (1980-1981). Les fermes avaient été en conduite biodynamique pendant une moyenne de 14,5 ans (6 à 51 ans) et avaient en moyenne une surface de 28 ha (15 à 49 ha). Ces fermes biodynamiques produisaient des cultures de céréales, des cultures en rang (pommes de terre, betteraves à sucre et légumes de plein champ), du maïs pour l'ensilage, d'autres fourrages arables (trèfle/graminées, mélanges de légumineuses avec des céréales), et du bétail (gros bétail, porcs, volaille, laiterie). Des résultats des fermes biodynamiques ont été comparés aux statistiques officielles annuelles du ministère du Bade-Wurtemberg de l'Alimentation, de l'Agriculture et de l'Environnement portant sur les fermes conventionnelles dans chaque région de production.

Les rendements de toutes les cultures de céréales des fermes biodynamiques de 1979/1980 et de 1980/1981 étaient inférieures de 13%; la moyenne étant presque égale aux rendements des fermes conventionnelles pourvues de bons sols et considérablement plus bas sur les sols plus pauvres. Koepf (1986) précise qu'une partie de cette différence peut avoir été due à la préférence des agriculteurs biodynamistes et de leurs clients pour certains cultivars de rendement inférieur avec des qualités boulangères désirées, et à la production d'épeautre (*triticum spelta* ou blé allemand), d'avoine à grains nus et d'orge à grains nus pour la consommation humaine. Les rendements de pomme de terre étaient semblables dans les deux systèmes agricoles. Les rendements de lait par vache des fermes biodynamiques étaient

inférieurs de presque 15% comparés à ceux des fermes conventionnelles. A nouveau Koepf (1986) note que cette différence peut avoir résulté du fait que les agriculteurs biodynamistes qui souhaitaient obtenir la certification Demeter (biodynamie) étaient autorisés à acheter des aliments du commerce seulement jusqu'à concurrence de 10% de la teneur en matière sèche de la ration.

Les coûts et les retours concernant les fermes biodynamiques et conventionnelles dans l'étude de Schlüter sont montrés dans le tableau 5. Les fermes biodynamiques et conventionnelles avaient des revenus bruts semblables. Les revenus bruts en Marks allemands (DM) par ha de toutes les cultures étaient supérieurs dans les fermes biodynamiques, tandis que les revenus bruts de la production animale (bœuf, porc, lait et œufs) étaient de 25 à 54% inférieurs dans les fermes biodynamiques (Koepf, 1986). Cependant, du fait que les agriculteurs biodynamistes avaient des coûts inférieurs à ceux des agriculteurs conventionnels, leurs bénéfices étaient plus élevés (tableau 5). Pour les deux années étudiées, les produits biodynamiques ont reçu un prix moyen de 59% (fourchette entre 15 et 108%) supérieur au prix des produits conventionnels semblables (Koepf, 1986).

Sur des parcelles de recherche d'une station d'expérimentation en Allemagne, les rendements de toutes les cultures de légumes pendant une période de six ans étaient en moyenne inférieurs de 16% sur les parcelles biodynamiques par rapport aux parcelles conventionnelles (Reinken, 1986). Cependant, les prix reçus étaient plus élevés pour les légumes biodynamiques que pour les légumes conventionnels ; les bénéfices étaient significativement plus grands pour la plupart des légumes biodynamiques, y compris les épinards, le céleri, la betterave rouge, le chou blanc, et la carotte.

Tableau 5. Revenu brut, dépenses et bénéfices des fermes biodynamiques et conventionnelles en Allemagne en 1980 et 1981 (Koepf, 1986).

Taille des fermes:	10-20 ha		20-30 ha		30-40 ha	
	Bd	Conv.	Bd	Conv.	Bd	Conv.
Nombre de fermes	4	928	4	4		
Taille moyenne des fermes (ha)	17.7	16.2	22.1	38.4		
Revenu brut (MS ha⁻¹ an⁻¹)	6369	6625	6874	3507		
Dépenses (MS ha⁻¹ an⁻¹)	3934	5093	3713	2415		
Bénéfice (MS ha⁻¹ an⁻¹)	2435	1532	3161	1092		

Volume 10, Numéro 1, 1995

Reinken (1986) a trouvé que les rendements moyens de trois variétés de pommes au cours de la période de six ans étaient 30 à 38% inférieurs sur les parcelles biodynamiques à ceux des parcelles conventionnelles. La rentabilité des pommes n'a pas été rapportée. Les besoins de main-d'œuvre pour la culture des pommes étaient en moyenne de 27% plus importants sur les parcelles biodynamiques, mais les pommes biodynamiques étaient payées 27% de plus que les conventionnelles.

Une première étude commandée par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de l'Environnement du Baden-Württemberg en Allemagne (MELU, 1977), traduit et rapporté par Koepf (1989) et Lampkin (1990), a indiqué des résultats semblables à ceux des études de Schlüter et de Reinken quant aux résultats aux champs et économiques. L'étude MELU a étudié des paires de fermes biodynamiques et conventionnelles de 1971 à 1974. Elle a trouvé que bien

que les rendements en céréales des fermes biodynamiques aient été de 10 à 25% inférieurs, leurs coûts variables étaient inférieurs et leurs retours nets étaient à peu près identiques à 40% supérieurs à ceux de leurs homologues conventionnels. Si les meilleurs prix payés aux agriculteurs biodynamiques étaient remplacés par les prix reçus par les conventionnels, leurs retours nets auraient été d'environ 0 à 20% inférieurs à ceux de leurs voisins conventionnels (Lampkin, 1990).

Pays-Bas - La recherche sur les systèmes agricoles alternatifs et conventionnels a commencé en 1979 sur une ferme expérimentale de 72 ha à Nagele (Vereijken, 1990). Trois systèmes agricoles étaient pratiqués sur des fermes diversifiées: une ferme biodynamique de 22 ha, une ferme conventionnelle de 17 ha, et une ferme intégrée de 17 ha (intrants minimaux d'engrais et de pesticides). Les données économiques de 1982 à 1985 (Vereijken, 1986) et de 1985 à 1987 (Vereijken, 1990) montraient que le revenu brut était le plus haut pour la ferme biodynamique en raison des prix élevés payés pour les produits biodynamiques. Cependant, les coûts totaux de production étaient également plus élevés pour la ferme biodynamique que pour les fermes conventionnelle ou intégrée, ce qui avait comme conséquence que la ferme biodynamique avait le revenu net le plus faible.

Ces résultats diffèrent fortement des autres résultats discutés dans cet article. Comme l'a souligné Lampkin (1990), un défaut majeur de l'étude de Nagele est que l'unité biodynamique était établie comme un système mixte de cultures (rotation des cultures sur 11 ans) et d'élevage laitier gourmand en main-d'œuvre dans un secteur qui est presque exclusivement en cultures. Les unités conventionnelle et intégrée étaient installées comme des fermes de culture avec la même rotation de cultures sur quatre ans. Les coûts de la main-d'œuvre pour la ferme biodynamique étaient presque trois fois plus importants que pour la ferme conventionnelle ou que pour la ferme intégrée, entraînant la majeure partie de la différence des retours nets.

Lampkin (1990) conclut qu'un système biologique demandant moins de travail intensif aurait pu être développé et qu'il aurait été plus compétitif au vu des conditions de la région.

Australie - Dans l'étude de Penfold discutée plus haut (1993) les rendements conventionnels étaient les plus élevés (3,5 t/ha) et les rendements biodynamiques étaient les plus faibles (2,3 t/ha) en 1992, quand les quatre traitements concernaient le blé (tableau 6). Cependant, le traitement biodynamique avait la marge brute totale la plus élevée par ha pendant les quatre premières années (1989-1992), suivi des traitements conventionnel, biologique et intégré (tableau 6). Celui-ci incluait une prime de 20% pour le blé biologique et biodynamique de la récolte de 1992. Les modalités biodynamique et conventionnelle avaient les marges brutes les plus élevées, surtout parce qu'ils avaient eu trois cultures commerciales, tandis que les modalités biologique et intégrée n'en avaient eu que deux.

Nouvelle-Zélande - Reganold et autres (1993) ont comparé la performance économique des fermes biodynamiques et conventionnelles dans la même étude qui analysait la qualité du sol. Ils ont examiné les comptes annuels des agriculteurs de 1987 à 1991, pour 11 des 16 fermes. Ces résultats ont également été comparés aux données conventionnelles de fermes représentatives provenant des rapports annuels du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAF) concernant tous les systèmes agricoles majeurs de Nouvelle-Zélande.

Tableau 6. Rotations (1989-1992), rendements de blé (1992), et revenu brut, coûts variables, et marge brute (1989-1992) des parcelles biodynamique, conventionnelle, intégrée et biologique en Australie (Penfold, 1993; 1994).

	Biodynamique	Conventionnel	Intégré	Biologique
Rotation : 1989	Avoine/luzerne pour le foin	Blé	Avoine/luzerne pour le foin	Avoine/luzerne pour le foin
Rotation : 1990	Pâturage basée sur légumineuses Avoine/vesce pour foin	Pois Pâturage basée sur légumineuses	Pâturage basée sur légumineuses	Blé (mulché) , culture d'engrais verts
Rotation : 1991			Pâturage basée sur légumineuses	
Rotation : 1992	Blé	Blé	Blé	Blé
Rendement du blé (1992)(t/ha)	2.3	3.5	2.7	2.9
Total rotation achevée 1989-1992 (\$ australien/ha)				
Revenu brut	1,399	1,196	823	992
Coûts variables	391	436	553	352
Marge brute	1,008	760	270	635

Par hectare, les fermes biodynamiques étaient aussi rentables que les fermes conventionnelles voisines et que les fermes conventionnelles représentatives (tableau 7). La plupart de leurs produits étaient vendus comme certifiés biologiques ou biodynamiques bénéficiant d'une valeur ajoutée s'élevant jusqu'à 25% au-dessus des prix du marché des produits conventionnels comparables. La plupart des fermes biodynamiques avaient moins de variabilité de leur revenu brut d'année en année que les fermes conventionnelles (Reganold et autres, 1993). La stabilité économique est une caractéristique significative des systèmes agricoles durables.

**Tableau 7. Revenu brut annuel moyen, coûts variables et marge brute des fermes biodynamiques et conventionnelles en Nouvelle-Zélande, 1988 à 1991 (Reganold et autres, 1993).
Moyenne (NZ \$ ha⁻¹ an⁻¹)**

Entreprise agricole	Bd	Conv.	CRG1 (MAF)
Maraîchage			
revenu brut	14,094	18,845	- 2
coûts variables	4,977	8,088	- 2
marge brute	9,117	10,057	- 2
Verger d'agrumes			
revenu brut	13 434	- 3	13,481
coûts variables	6254	- 3	8,974
marge brute	7180	-3	4,507
Fermes mixtes			
revenu brut	703	1337	1027
coûts variables	311	537	436
marge brute	392	800	591

Fermes d'élevage			
revenu brut	463	393	328
coûts variables	46	83	84
marge brute	417	310	244
Fermes laitières set #1			
revenu brut	2283	- 4	1355
coûts variables	833	- 4	426
marge brute	1450	- 4	929
Fermes laitières set #2			
revenu brut	1696	2237	1817
coûts variables	918	503	513
marge brute	778	1734	1304

1. Ferme conventionnelle représentative du fichier central du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche de Nouvelle Zélande.
 2. Il n'y a pas de modèle de CRG (MAF) pour les maraîchages.
 3. Seules deux années de données financières étaient disponibles, de sorte que les moyennes ne sont pas rapportées ici.
 4. Les dossiers économiques n'étaient pas disponibles.
- Volume 10, Numéro 1, 1995

Résumé et discussion:

Les objectifs agricoles des praticiens biodynamistes incluent la protection et l'amélioration du sol pour produire des produits de haute qualité. Pour stimuler la vie dans le sol et dans les plantes, ils emploient huit amendements spécifiques, appelés préparations, sur leurs sols et cultures et dans leurs composts. Leur système inclut des pratiques telles que les engrais verts et le fumier animal, le compostage, les contrôles biologiques des ravageurs, le labourage réduit, des rotations de cultures complexes et la diversification des cultures et des élevages.

Cet article a résumé les quelques études disponibles en anglais qui ont comparé la qualité du sol ou la rentabilité des fermes dans les systèmes agricoles biodynamiques et conventionnels. Ces études ont montré que les systèmes agricoles biodynamiques avaient généralement une meilleure qualité de sol, des rendements de cultures plus faibles et des retours nets par hectare égaux ou supérieurs à leurs homologues conventionnels. Les études économiques ont montré que les systèmes agricoles biodynamiques peuvent marcher et fonctionner. Beaucoup d'agriculteurs biodynamistes restent dans la course à cause des prix majorés reçus pour leurs produits. Bien que les études rapportées ici aient inclus ces primes, elles n'ont pas pris en compte les coûts environnementaux et sanitaires des deux systèmes agricoles, lesquels sont externes aux comptes de la ferme. La rentabilité à long terme de nombreuses fermes conventionnelles semble incertaine quand ces externalités sont incluses. Les coûts indirects tels que les dommages externes provoqués par l'érosion du sol, la pollution des eaux souterraines, les risques concernant la santé humaine et animale et les dommages causés à la faune du fait des pratiques agricoles conventionnelles, sont actuellement supportés par la société. Quand ces coûts externes sont inclus dans les coûts de production, la rentabilité et les avantages pour la société se sont avérés les plus grands avec certains systèmes agricoles alternatifs. (Holmes, 1993).

Certaines des études portant sur la qualité du sol ont pris pour objet une seule ou plusieurs paires de fermes de rapport. La recherche menée sur des fermes couplées pour comparer les effets des systèmes agricoles sur le sol exige trois choses: 1) des fermes voisines qui sont alors conduites selon différents systèmes mais qui étaient précédemment gérées d'une manière

semblable; 2) des champs côte à côte où les facteurs de formation du sol sont identiques et 3) un temps suffisant des pratiques respectives de chaque système de conduite pour avoir influencé des propriétés du sol (Reganold, 1988; Reganold et autres, 1993). Une pseudo-réplique, où les répliques ne sont pas statistiquement indépendantes, au sens le plus strict, est inévitable quand comparer deux champs se réduit à une seule et même paire de fermes, comme dans l'étude de Forman (1981). Comme Hurlbert (1984, p.199) explique: la réplique est souvent impossible ou indésirable quand des systèmes à très grande échelle (lacs entiers, lignes de partage des eaux, fleuves, etc...) sont étudiés. Quand les effets bruts d'un traitement sont anticipés, ou quand c'est seulement une évaluation grossière des effets qui est demandée, ou quand le coût de la réplique est très élevé, les expériences impliquant des traitements non répliqués peuvent aussi être la seule ou la meilleure option. Les fermes de rapport dans les études discutées ici répondent aux critères ou aux systèmes à grande échelle. Toujours, si possible, il vaut mieux employer des paires multiples de fermes dans une conception globale pour avoir la réplique appropriée. Comment des difficultés statistiques dans les comparaisons de systèmes agricoles peuvent-elles être surmontées à l'aide d'analyses et de conceptions appropriées, est discuté par Wardle (1994) et Reganold (1994).

Des études de parcelles demandent également une réplique adéquate par souci de la conception statistique proprement dite. Par exemple, les études de parcelles par Penfold (1993) et par Pettersson et von Wistinghausen (1979) auraient été améliorées si elles avaient eu quatre répliques par traitement au lieu de deux et un, respectivement. Pourtant ces études sont toujours valables, parce qu'elles démontrent différents systèmes agricoles et fournissent des résultats à long terme.

Une question intéressante soulevée par les études de sol est : la qualité du sol est-elle affectée par les préparations biodynamiques en particulier, ou leurs effets viennent-ils des amendements organiques appliqués dans le système biodynamique ? Les recherches de Goldstein (1989) et Abele (1987), qui comportaient des traitements agricoles biologiques similaires avec et sans préparations, illustrent que les préparations biodynamiques influencent positivement les propriétés biologiques du sol et la croissance racinaire des cultures. Beaucoup de travail sur les préparations a été effectué par les chercheurs biodynamistes. Les résultats ont été variables, en particulier concernant l'effet des préparations sur la décomposition du fumier, la biologie du sol, les rendements des cultures, et la qualité de bonne conservation des différents produits (Goldstein, 1990). Cependant, il a été très peu publié dans la littérature scientifique de référence et toute la recherche n'a pas été d'une grande qualité scientifique. Plus de recherche est nécessaire qui examinerait spécifiquement si les préparations biodynamiques affectent les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, le rendement et la qualité des cultures, et si oui, leur mode d'action. Les résultats de telles études doivent être publiés dans les revues scientifiques de référence.

Remerciements: Une partie de cet article a été présentée à la 3e Wye International Conference on Sustainable Agriculture (Wye Conférence Internationale sur l'Agriculture durable) et est parue dans le compte-rendu de la conférence « Soil Management in Sustainable Agriculture » (H. Cook and H.C. Lee, eds., University of London, Wye College, Wye, England, 1994). "Gestion du sol en agriculture durable".

John P. Reganold est professeur au département des cultures et des sciences du sol, Université de l'état de Washington, Pullman, WA 99164-6420.

Traduction bénévole de l'anglais par Christian Briard, île de la Réunion, déc. 2013. Revisité par Pierre Masson en Août 2017.

Références :

1. Abele, U. 1987. Produktqualität und Düngung—mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch. (Product quality and fertilization: Minerl, organic, biodynamic.) Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A, Heft 345, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, Germany.
2. Bio-Dynamic Farming and Gardening Association in New Zealand. 1993. Bio-Dynamic Newsletter 46(3):50-51.
3. Foissner, W. 1987. The microedaphonin ecofarmed and conventionally farmed dryland cornfields near Vienna (Austria). *Biology and Fertility of Soils* 3:45-49.
4. Forman, T. 1981. An introductory study of the bio-dynamic method of agriculture. Diploma Thesis. Univ. of Sydney, New South Wales, Australia.
5. Garcia, C., C.E. Alvarez, A. Carracedo, and E. Iglesias. 1989. Soil fertility and mineral nutrition of a biodynamic avocado plantation in Tenerife. *Biological Agric. and Horticulture* 6:1-10.
6. Goldstein, W.A. 1986. Alternative crops, rotations and management systems for the Palouse Ph.D. dissertation. Dept. of Agronomy and Soils, Washington State Univ., Pullman.
7. Goldstein, W. 1990. Experimental proof for the effects of biodynamic preparations. Internal manuscript. Michael Fields Agric. Institute, East Troy, Wisconsin.
8. Granstedt, A. 1991. The potential for Swedish farms to eliminate the use of artificial fertilizers. *Amer. J. Alternative Agric.* 6:122-131.
9. Holmes, B. 1993. Can sustainable farming win the battle of the bottom line? *Science* 260:1893-1895.
10. Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54:187-211.
11. Koepf, H.H. 1986. Organisation, economic performance and labour requirements on bio-dynamic farms. *Star and Furrow* 66:25-37.
12. Koepf, H.H. 1989. *The Biodynamic Farm*. Anthroposophic Press, Hudson, New York.
13. Koepf, H.H. 1993. *Research in Biodynamic Agriculture: Methods and Results*. Bio-Dynamic Farming and Gardening Association, Inc., Kimberton, Pennsylvania.
14. Koepf, H.H., B.D. Pettersson, and W. Schaumann, 1976. *Bio-Dynamic Agriculture*. Anthroposophic Press, Hudson, New York.
15. Lampkin, N. 1990. *Organic Farming*. Farming Press Books, Ipswich, Great Britain.
16. Levick, M. 1992. A comparison of some aspects of two orchard plot management systems. B. Holt (Tech) thesis. Dept. of Soil Science, Massey Univ., Palmerston North, New Zealand.
17. McLaren, R.G. and K.C. Cameron 1990. *Soil Science: An Introduction to the Properties and Management of New Zealand Soils*. Oxford Univ. Press, Auckland, New Zealand pp.132-139.
18. MELU 1977. Auswertung der jährlichen Erhebungen in neu biologisch-dynamisch bewirtschafteten Betrieben. (Evaluation of a three year survey of nine biodynamically managed farms.) Baden-Württemberg Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt, Stuttgart, Germany.
19. National Research Council 1993. *Soil and Water Quality. An Agenda for Agriculture*. Board on Agriculture National Academy Press, Washington, D.C.
20. Oelhof, R.C. 1978. *Organic Agriculture*, Allheld, Osmun and Co., Montclair, New Jersey.
21. Peerlkamp, P.K., 1967. Visual estimation of soil structure. In *West European Methods for Soil Structure Determination*. International Soil Science Society, Ghent, Belgium, pp. 11-13.

22. Penfold, C. 1993. Biological farming systems comparative trial—5years on. Biological Farmers of Australia Quarterly Newsletter (Dec.):11-13.
23. Penfold, C. 1994. Broadacre organic farming. Internal report. Univ. of Adelaide, Roseworthy Campus, Roseworthy, South Australia.
24. Pettersson, B.D., and E. von Wistinghausen. 1979. Effects of organic and inorganic fertilizers on soils and crops. Misc. pub. No. 1. Woods End Agricultural Institute, Temple, Maine.
25. Pettersson, B.D., J.J. Reents, and E. von Wistinghausen. 1992. Düngung und Bodeneigenschaften: Ergebnisse eines 32-jährigen Feldversuches in Järna, Schweden. (Fertilization and soil properties: Results of a 32-year field experiment in Järna, Sweden.) Institut für Biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt, Germany.
26. Proctor, P. 1989. The biodynamic preparations. In New Zealand Biodynamic Association (ed). *Biodynamics; New Directions for Farming and Gardening in New Zealand*. Random House, Auckland, New Zealand. Pp.106-129.
27. Reganold, J.P. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. *Amer. J. Alternative Agric.* 3:144-155.
28. Reganold, J.P. 1994. Statistical analyses of soil quality—response. *Science* 264:282-283.
29. Reganold, J.P., R.I. Papandick, and J.F. Parr. 1990. Sustainable agriculture. *Scientific American* 262:112-120.
30. Reganold, J.P., A.S. Palmer, J.C. Lockhart, and A.N. Macgregor. 1993. Soil quality and financial performance on biodynamic and conventional farms in New Zealand. *Science* 260:344-349.
31. Reinken, G. 1986. Six years of biodynamic growing of vegetables and apples in comparison with the conventional farm management. In H. Vogtmann, E. Boehneke and I. Fricke (eds). *The Importance of Biological Agriculture in a World of Diminishing Resources*. Verlagsgruppe Witzenhausen, Witzenhausen, Germany. Pp.161-174.
32. Schlüter, C. 1985. *Arbeits und betriebswirtschaftliche Verhältnisse in Betrieben des alternative Landbaus (Labor and economic relations on alternative farms.)* Verlag E. Ulmer, Stuttgart, Germany.
33. Spiess, H. 1990. Chronobiological investigations of crops grown under biodynamic management. I. Experiments with seeding dates to ascertain the effects of lunar rhythms on the growth of winter rye (*Secale cereale*, cv. Nomaro). *Biological Agric. and Horticulture* 7:165-178.
34. Vereijken, P. 1986. From conventional to integrated agriculture. *Netherlands J. Agric. Sci.* 34:387-393.
35. Vereijken, P. 1990. Research on integrated arable farming and organic mixed farming in the Netherlands. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 29:249-256.
36. Wardle, D.A. 1994. Statistical analyses of soil quality. *Science* 264:281-282.