

Bilan et perspectives de la Recherche en Agriculture Bio-dynamique

M. Turinek, S. Grobelnik-Mlakar, M. Bavec and F. Bavec*

Faculty of Agriculture and Life Sciences, Institute for Organic Farming, University of Maribor, Pivola 10, 2311 Hoče, Slovenia.

*auteur correspondant : franci.bavec@uni-mb.si

Titre original : Biodynamic agriculture research progress and priorities.

Publié dans : Renewable Agriculture and Food Systems: 24(2); 146–154 (2009)

doi:10.1017/S174217050900252X

Traduction : M. Quantin, Mouvement de l'Agriculture Bio-dynamique, 5 pl de la Gare, 68000 Colmar

Résumé

L'Agriculture Biodynamique (BD) a été l'objet de nombreux efforts de recherches durant les dernières décennies, bien qu'une partie de la communauté scientifique regarde les méthodes biodynamiques avec scepticisme et les considère comme dogmatiques. Néanmoins, comme cela est montré dans cet article de synthèse, une part non négligeable des résultats présentés dans des revues scientifiques à comité de lecture et issus d'expérimentations contrôlées de plein champ, ou d'étude de cas, montrent des effets des préparations biodynamiques sur le rendement, la qualité du sol et la biodiversité. De plus, les préparations biodynamiques ont un impact environnemental positif en termes d'utilisation et d'efficacité énergétique. Cependant, le mode d'action mécanique des préparations biodynamique est toujours en cours d'investigation en sciences naturelles. Par ailleurs, les méthodes d'évaluations de la qualité basées sur des approches globales (holistiques) sont de plus en plus étudiées et reconnues. L'agriculture BD s'efforce également, comme cela est montré dans plusieurs publications, d'influencer positivement le paysage culturel. La synthèse des données montre le besoin de poursuivre les recherches dans le domaine de la qualité des aliments, de la sécurité alimentaire, des performances environnementales (par ex. l'empreinte écologique), et sur l'influences des pratiques BD sur les animaux d'élevage.

Introduction

L'agriculture biodynamique (BD), qui fait partie des systèmes d'agriculture biologiques (BIO), a été développée par Steiner¹. La méthode BD s'efforce de développer des fermes diversifiées, résilientes et en perpétuelle évolution, pouvant procurer à l'humanité une durabilité à long terme dans les domaines écologiques, économiques et physiques. La ferme BD est perçue comme un organisme et comprend des pratiques de compostage, un système mixte avec utilisation de fumure animale, rotation de cultures, soin et bien-être animal, ainsi que des systèmes de distribution locaux². Tous ces éléments contribuent à la protection de l'environnement, sauvegardent la biodiversité et améliorent le niveau de vie

des agriculteurs. De nos jours, il existe plus de 4200 fermes BD dans 43 pays qui cumulent 128 000 ha de terre certifiée par les standards Demeter³. Proches des standards de l'agriculture BIO, les standards Demeter encadrent l'utilisation des préparations BD, les pratiques d'élevage, l'utilisation de fumure animale, et encouragent fortement les systèmes de production et de distributions locaux basés sur des races et des variétés locales. Une réglementation stricte existe également pour les processus de transformation des aliments. La méthode BD insiste sur l'approche globale et holistique de l'agriculture et a suscité des projets de recherche durant les dernières décennies.

Cependant, jusqu'où la biodynamie peut-elle être considérée comme une catégorie scientifique ? L'objectif de cet article est d'explorer et de faire la synthèse des articles scientifiques et des thèses, tout en incluant d'autres sources qui apportent des informations nécessaires à la compréhension des fondements et des modes d'action. Expérimentations de base, études de cas, comparaisons de la qualité alimentaire ainsi que l'aménagement et le développement des paysages nous aideront à montrer la différence entre la biodynamie et d'autres modes de production. Bien que des différences significatives aient été obtenues par l'utilisation de la méthode BD, le mode d'action exact des préparations BD, qui constitue la plus grande différence avec la méthode BIO, reste inexpliqué. Les données issues des publications seront analysées et les perspectives de développement seront examinées afin de mieux comprendre et expliquer l'agriculture BD. Enfin, des propositions de recherche et leurs implications seront mises en regard.

Les expérimentations de base

A côté des résultats publiés sur des essais de court terme⁴⁻⁸, plusieurs essais de long-terme ont été effectués en incluant une modalité BD et/ou l'utilisation des préparations BD (Tableau 1), où toutes les préparations BD, présentées dans le Tableau 2, ont été utilisées.

Les préparations BD (Tableau 2) sont l'une des caractéristiques principales de l'agriculture BD. Les concepts à l'origine des préparations ne sont pas habituels et parfois difficiles à comprendre² et les principes

mécaniques des préparations BD, accessibles à la science naturelle, sont toujours en cours de recherche, bien que certaines tentatives aient été faites pour expliquer leur mode d'action. Les effets ont d'abord été expliqués comme des effets de normalisation (normalisation du rendement dans des conditions de faible productivité) et de compensation (les préparations BD compensent une faible fertilisation azotée), bien que les deux explications laissent de nombreuses questions ouvertes⁹. Un modèle de réponse et d'adaptation systémique, où l'effet des préparations ne dépend pas uniquement de leurs propriétés et de leur mode d'application, a été suggéré comme une possible explication. Avant tout, ce sont les propriétés du sol, des plantes, les conditions environnementales ainsi que leur interaction qui seraient des facteurs déterminants pour l'efficacité des préparations BD⁹. De plus, les préparations BD sont appliquées en faibles quantités, de 4 à 160 g.ha⁻¹, ce qui rend peu probable une action physique ou biologique². Cependant, des substances bioactives telles que les herbicides peuvent avoir des effets importants même avec de faibles quantités (< 10 g.ha⁻¹)¹⁰. Par ailleurs, il a été montré que les préparations BD peuvent avoir des effets semblables aux hormones¹¹. Afin de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent l'action des préparations BD et afin de déterminer les processus en jeu dans la physiologie des plantes, de nouveaux dispositifs expérimentaux sont nécessaires afin de séparer les effets des préparations de ceux qui résultent d'autres aspects de la biodynamie.

Tableau 2. Classement des préparations BD, principaux ingrédients, mode d'utilisation et influence escomptée

Numéro de la préparation	Ingrédient principal ¹	Utilisation	Mentionnée en relation avec :
BD 500	Bouse de vache	Pulvérisation sur le sol	Activité biologique du sol
BD 501	Silice	Pulvérisation sur les plantes	Résistance des plantes
BD 502	Fleurs d'Achillée (<i>Achillea millefolium</i> L.)	Préparation du compost	Dynamique du K et S
BD 503	Fleurs de Camomille (<i>Matricaria recutita</i> L.)	Préparation du compost	Dynamique du Ca et K
BD 504	Ortie, plante entière (<i>Urtica dioica</i> L.)	Préparation du compost	Gestion de l'N
BD 505	Ecorce de chêne (<i>Quercus robur</i> L.)	Préparation du compost	Dynamique du Ca
BD 506	Fleurs de Pissenlit (<i>Taraxacum officinale</i> Web.)	Préparation du compost	Dynamique de la Si
BD 507	Extrait de Valériane (<i>Valeriana officinalis</i> L.)	Préparation du compost	Processus chaleur et P

¹ Les procédures de préparation et de fermentation sont décrites en détail par Steiner¹.

Les préparations BD ont été conçues pour être utilisées ensemble au sein d'un domaine agricole.

Tableau 1. Principales caractéristiques des essais à long terme basés sur une méthode scientifique rigoureuse et incluant des modalités BD

Pays de l'essai	Description de l'essai	Durée de l'essai	Taille des parcelles expérimentales	Rotaion des cultures et fertilisation	Références
Therwil, Suisse	Dans l'essai DOC, trois systèmes sont comparés avec le contrôle : biodynamique, biologique, conventionnel avec fertilisation organique et conventionnel-minéral.	1978 - aujourd'hui	10 m x 10 m	Rotation identique dans tous les systèmes. 2 niveaux de fertilisation (0,7 et 1,4 équivalent UGB). FYM ¹ , FYM ¹ composté avec les préparations BD ³ et MIN ² sont utilisés, selon le mode de culture.	Pfiffner and Mäder ¹⁹ ; Mäder et al. ¹³ ; Fließbach et al. ¹⁴
Darmstadt, Allemagne	L'essai MIN-BIO effectué à l'Institut pour la Recherche Biodynamique, la question de la fertilisation minérale vs. organique est étudiée.	1980 – aujourd'hui	5m x 5 m	Rotation des cultures et travail du sol identiques dans toutes les modalités. Les apports d'azote (N) sont identiques, que ce soit par fertilisation MIN ² , FYM ¹ ou FYM ¹ composté avec l'ajout des préparations BD ³ .	Raupp ²²
Bonn, Allemagne	Effet du compost traditionnel de FYM ¹ vs. deux types de composts de FYM ¹ avec préparations BD ³ + témoin	1993 – 2001	6 m x 10 m	Rotation de cultures et travail du sol identiques. FYM ¹ et FYM ¹ avec préparats BD ³ ont été utilisés à raison de 30 t.ha ⁻¹ .	Zaller et Köpke ¹⁶
Therwil, Suisse	Trois expérimentation avec des modalités sur les préparations BD ³ , le travail du sol et la fertilisation sont étudiées	2002 – aujourd'hui	12 m x 12 m	Rotation de culture identique dans toutes les modalités. Fertilisation avec FYM ¹ ou lisier à raison de 1,4 équivalent UGB	Berner <i>et al.</i> ⁵⁰

¹FYM – Farm Yard Manure = fumier d'étable

²MIN – fertilisation minérale

³BD – biodynamique

Tableau 3. Comparaison des rendements de plusieurs cultures en fonction des modes de production

Traitement	Rendement blé			Rendement pomme de terre			Rendement seigle			Rendement prairie			Source
	CON ¹	BIO ²	BD ³	CON ¹	BIO ²	BD ³	CON ¹	BIO ²	BD ³	CON ¹	BIO ²	BD ³	
	110	99	100	154	102	100	n/a	n/a	n/a	125	92	100	Mäder et al. ¹³
	104	99	100	n/a	101	100	n/a	100	100	n/a	91	100	Zaller et Köpke ¹⁶
	104	99	100	103	94	100	126	94	100	n/a	n/a	n/a	Raupp ²²
	n/a			n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Berner <i>et al.</i> ⁵⁰
Moyenne	107	99	100	128	97	100	126	97	100	125	91.5	100	

Rendements relatifs à la modalité BD = 100

n/a – pas de données disponible

¹CON – conventionnel ou fertilisation minérale

²BIO – mode de culture biologique

³BD – traitements biodynamiques

Les microorganismes à l'œuvre

Les résultats expérimentaux ne montrent pas uniquement l'effet des préparations BD sur le rendement (Tableau 3), mais également sur certains processus dans le tas de compost et sur le long-terme dans les sols. Carpenter-Boggs *et al.*⁵ rapportent une température moyenne plus élevée (3,4 °C de plus comparé avec le tas de compost témoin) tout au long de la période active de compostage, alors que Zaller⁸ n'a pas mesuré de différence significative dans les températures moyennes des composts conventionnels (CON) et BD. Les composts BD contiennent 65 % plus de nitrates dans le produit fini, un niveau de dioxyde de carbone (CO₂) inférieur de 10 % et avaient une activité de l'enzyme déhydrogénase plus importante⁵. Carpenter-Boggs *et al.*⁵ suggèrent que les préparations BD causent ces effets par la présence de substances bioactives ou en servant d'inoculant microbien. De plus, la population microbienne des préparations BD s'avère substantielle¹², avec des populations bactériennes allant de 3,45 à 8,59 log₁₀·g⁻¹. Des populations de champignons ont également été mesurées dans les préparations 502 et 506 (respectivement 5,30 et 4,26 log₁₀·g⁻¹). Certaines souches bactériennes et fongiques présentent le potentiel de supprimer les pathogènes des végétaux¹². Cela pourrait aussi être la raison qui expliquerait la différence nette dans l'activité de déhydrogénase, protéase et phosphatase qui est observée dans les différents systèmes de cultures de l'essai DOC (biodynamique, biologique et conventionnel), où les plus fortes valeurs ont été mesurées pour le système BD¹³. La biomasse d'azote d'origine microbienne diffère également de manière significative, avec des valeurs 59 % plus élevées pour le système BD que celles du système conventionnel avec fertilisation organique (FYM, *Farm Yard Manure*)¹⁴. De plus, la biomasse de carbone organique était 35 % plus élevée pour la modalité BD, en comparaison avec le système CON-FYM¹³⁻¹⁵. A l'inverse, Zaller et Köpke¹⁶ n'observent pas de différences entre les traitements (fumure non-traitée et traitée avec les préparations BD) quant à la biomasse de carbone organique (Tableau 4). Dans les deux cas, la biomasse de carbone organique était

significativement plus élevée que dans les parcelles témoin¹⁶, ce qui montre que la fertilisation organique (FYM) a un effet important sur la formation de biomasse microbienne. Wada et Toyota¹⁷ sont allés un pas plus loin et ont découvert que les applications de fumure organique (FYM) augmentent la stabilité des fonctions organiques, alors que les populations microbiennes et fongiques sont résilientes et résistantes contre la désinfection. De plus, la fumure organique contribue à changer la composition de l'azote dans le sol vers des taux plus élevés d'acides aminés protéiques, qui fixent l'azote dans le sol¹⁸. Cependant, les différences entre les traitements ne semblent pas dépendre uniquement de l'apport d'acides aminés par la fumure. Un métabolisme altéré des acides aminés dans le sol influence également le contenu et la composition des acides aminés dans le sol. Les sols qui reçoivent de la fumure organique (FYM) avec les préparations BD ont un ratio catabolisme/anabolisme plus bas que les sols qui reçoivent de la fumure organique sans les préparations BD, ce qui provoque aussi une humification plus importante. L'explication de l'influence des préparations BD sur l'anabolisme doit encore être trouvée¹⁸.

Biodiversité

Les effets des pratiques agricoles BIO et BD sont difficiles à différencier en termes de diversité de la macro faune et flore. Dans l'essai DOC, la diversité des espèces d'adventices était reliée à celle des arthropodes (comme les carabes, les araignées et les staphylinidés), et était supérieure dans les modalités BIO et BD sur une période de 21 ans¹³. Fließbach *et al.*¹⁴ observent une flore moins dense et plus diversifiée sur les parcelles BIO et BD. De plus, les modalités BIO et BD influencent la diversité spécifique¹⁶ ainsi que la quantité^{16, 19} de vers de terre. Des différences significatives entre les modalités BD et BIO sont observées sur la quantité et la biomasse des vers de terre dans un essai¹⁹, et sur la diversité spécifique et la biomasse dans un autre¹⁶.

Table 4. Soil organic matter carbon (C_{org}) change, microbial biomass carbon (C_{mic}) content and dehydrogenase activity depending on the production system.

Trial site soil	Sampling depth (cm)	Soil C_{org} change over the trial period (soil C_{org} beginning = 100)				Soil C_{mic} content (CON or MIN = 100)				Dehydrogenase activity ($\mu\text{g TPF } 10\text{ g}^{-1}; \dagger\mu\text{g TPF g}^{-1}\text{h}^{-1}$)				Source:
		Soil C_{org} beginning (%)	CON ¹ /MIN ²	ORG ³	BD ⁴	CON ¹ /MIN ²	ORG ³	BD ⁴	CON ¹ /MIN ²	ORG ³	BD ⁴			
Haplic luvisol	0-20	1.42-1.51	85/n/a	91	101	100/81	117	134	132/87 [†]	175 [†]	226 [†]	Fliebbach et al., ¹⁴		
Fluvisol	0-20	n/a	n/a	n/a	n/a	100/n/a	125	125	88 [†]	130 [†]	130 [†]	Zaller and Köpke, 2004 ⁵		
Sandy orthic luvisol	0-25	1.05	n/a/79	91	100	n/a/100	114	126	75.9 [†]	109.1 [†]	121.9 [†]	Raupp ²²		

n/a – no data available/non-applicable.

¹ CON – conventional or control treatments.

² MIN – mineral treatments.

³ ORG – organic treatments.

⁴ BD – biodynamic treatments.

⁵ Estimates are given from figures.

^{†, †} Note that results are given in different units; TPF, triphenylformazan.

Cependant, les pratiques BD influencent plus clairement la diversité de la micro faune et flore dans le sol, comme l'ont montré plusieurs scientifiques qui arrivent aux mêmes conclusions à partir d'essais à long-terme. Lorsque l'on observe la complexité ainsi que la diversité de la chaîne alimentaire microbienne dans les sols, le quotient métabolique du CO_2 ($q\text{CO}_2$) est un bon indicateur de l'utilisation microbienne du carbone²⁰. Des valeurs importantes de $q\text{CO}_2$ traduisent des communautés microbiennes jeunes avec des besoins énergétiques importants pour se maintenir, alors que des valeurs faibles de $q\text{CO}_2$, qui ont par ailleurs été trouvées dans des sols cultivés en biodynamie pendant de longues périodes (plus de 8 ans), indiquent des sols moins stressés ainsi que des communautés plus diversifiées et hautement interreliées^{11, 14-16, 18}. En accord avec ces résultats, Carpenter-Boggs *et al.*⁶ ont mesurés des valeurs de $q\text{CO}_2$ supérieures pour les sols amendé avec du compost BD lors d'une étude sur 2 années.

Impact environnemental

La matière organique du sol est un indicateur important de la réserve en carbone organique du sol. L'augmentation du carbone stocké dans la végétation et dans le sol (ce qu'on appelle la séquestration de carbone) constitue une mesure préventive pour la réduction du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère²¹. Le taux de carbone organique a été maintenu au même niveau pendant les 21 années de l'essai DOC et a même montré un léger gain dans le système BD, alors que les autres systèmes étudiés ont tous présenté une perte nette de carbone organique dans le sol¹⁴. De même, dans l'essai MIN-ORG (minéral vs. fumure organique), le taux de matière organique dans le sol a été maintenu au même niveau uniquement dans la modalité BD, alors qu'il a chuté dans les modalités BIO et CON¹⁸⁻²². Des comparaisons à l'échelle de la ferme montrent également des différences entre les fermes BD et conventionnelles, avec des taux de matière organique plus importants dans les sols cultivés pendant de longues périodes en biodynamie^{23, 24}. A côté du CO_2 et du méthane, les oxydes d'azote jouent un rôle important dans les émissions de gaz à effet de serre d'origine

agricole²⁵. Avec l'utilisation croissante d'engrais azotés dans les sols, les émissions d'oxydes d'azote ont aussi augmenté et pourraient devenir une problématique plus urgente dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole que ne l'est le CO₂ aujourd'hui. Quand nous regardons l'essai DOC, le ratio entre le rendement et les apports d'azote est meilleur dans les systèmes BIO et BD en comparaison avec les autres systèmes¹⁴, ce qui indique une utilisation plus efficace de l'apport d'azote dans les systèmes BD et BIO. De plus, le système BD contenait des niveaux plus élevés d'azote total dans le sol du fait de la matière organique et de la biomasse microbienne en comparaison avec les autres systèmes étudiés¹⁴.

Enfin, l'augmentation du prix de l'énergie provoquera probablement un intérêt grandissant dans la recherche de systèmes agricoles qui valorisent l'efficacité énergétique²⁶. Cet intérêt est déjà présent au regard des multiples études à long-terme et des comparaisons de systèmes agricoles prenant en compte des indicateurs de l'efficacité énergétique. Les résultats mettent en évidence des performances supérieures pour les systèmes BIO²⁶ et BD¹³. Comme mentionné plus haut, les rendements sont plus faibles dans les systèmes BD (en comparaison avec les systèmes CON-FYM), mais aussi la consommation d'énergie : jusqu'à 50 % plus basse, principalement du fait de la non-utilisation de facteurs de productions extérieurs tels que les engrais minéraux et les pesticides¹³. Il s'ensuit une meilleure efficacité énergétique dans les systèmes de production en BD (20 à 56 % meilleure qu'en CON-FYM), en termes de consommation d'énergie par unité de matière sèche ou par unité de surface¹³. Une consommation d'énergie fossile inférieure produit moins d'émission de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et a donc un impact direct sur le changement climatique²¹.

Étude de cas sur les systèmes de production

La première étude scientifique (*peer-review*) comparant directement des fermes BD et CON a eu lieu en Nouvelle Zélande sur 16 fermes²³. Les pratiques BD pendant au moins 8 années ont donné les résultats suivants : augmentation du taux de matière organique du sol, meilleure

structure, activité microbienne accentuée et populations de vers de terre plus importantes. Les fermes BD avaient une viabilité financière comparable à celles menées en CON.

Droogers et Bouma²⁴ ont comparé les sols de deux fermes voisines, BD et CON, où les pratiques agricoles ont été appliquées pendant au moins 70 ans. Ils ont observé des différences significatives de taux de matière organique et de disponibilité de l'eau en faveur des sols BD. De plus, la densité du sol – et donc la compaction – était plus faible dans les sols BD. Ces recherches ont permis de construire des modèles de simulation dans lesquels les pratiques agricoles BD produisent des potentiels de rendements, une stabilité et une durabilité plus élevés que les sols CON.

Plusieurs comparaisons entre des fermes BD et CON ont été effectuées en Australie, avec comme préoccupation principale la disponibilité en phosphore (P) en relation avec les champignons mycorrhiziens arbusculaires, puisque le P est un nutriment limitant dans les sols australiens²⁷. D'après Ryan *et al.*²⁸, il y a une forte corrélation négative entre les niveaux de P (extractible dans les sols et dans les pousses d'herbe) et la colonisation du trèfle blanc et du ray grass par les champignons mycorrhiziens arbusculaires : les plantes et les sols BD contiennent moins de P extractible, mais présentent des niveaux plus élevés de colonisation par les champignons mycorrhiziens arbusculaires. Une diminution constante des colonies de champignons mycorrhiziens arbusculaires a par ailleurs été mesurée sur deux fermes CON sur trois. Cependant, il est suggéré que la colonisation plus importante en champignons mycorrhiziens arbusculaires ne compense pas les niveaux plus bas de P extractible dans le rendement final des systèmes BD. Il semblerait que la mobilisation des nutriments à partir des minéraux du sol ne soit pas le seul bénéfice des champignons mycorrhiziens arbusculaires. Frey-Klett *et al.*²⁹ signalent que la fixation d'azote atmosphérique et la protection des plantes contre les pathogènes racinaires font également partie des nombreux bénéfices produits par les champignons mycorrhiziens arbusculaires ainsi que par les bactéries de la mycorrhize. Raupp²² signale également une plus grande densité de racines dans les

parcelles traitées avec les préparations BD. Les bactéries mycorrhiziennes pourraient expliquer cet effet, puisqu'il a été prouvé qu'elles stimulent le développement des racines latérales et augmentent donc les points d'interaction racine-mycorrhize²⁹.

Burkitt *et al.*³⁰ ont comparé dix fermes laitières BD et CON pendant 4 ans dans les états de Victoria et de la Nouvelle-Galles du Sud. Pour certains points, les résultats sont comparables avec ceux des essais à long terme réalisés en Europe, où le bilan de P dans le sol est négatif. Cependant, les bilans de N et K ne sont pas significativement différents entre les fermes BD et CON. Le carbone organique ainsi que la biomasse microbienne du sol sont également équivalents dans cette étude selon le mode de culture. De plus, la biomasse de vers de terre était plus importante dans la modalité CON en ce qui concerne le nombre d'espèces, sans plus d'information sur les comptages d'individus. Burkitt *et al.*³¹ ont également observé des rendements plus faibles en lait sur un calcul par hectare et par vache. Une quantité significativement plus élevée de traitements chimiques par vache ont été utilisés sur les fermes CON. Cependant, cela n'a pas fait chuter les infections parasitaires, puisque les niveaux d'infections étaient semblables pour les deux systèmes. De plus, les comptages de cellules somatiques étaient plus élevés avec les pratiques BD alors que, en revanche, beaucoup moins de traitements chimiques ont été utilisés. Cette étude ne présente pas d'informations sur l'incidence des mammites ni sur la longévité des animaux. Burkitt *et al.*³¹ suggèrent l'utilisation d'intrants certifiés sur les fermes en BD afin d'augmenter les taux de matière grasse et de protéine du lait ainsi que les niveaux de production, mais ne donne pas plus de détails. Il s'agit de la seule étude publiée qui traitait des animaux d'élevage et des pratiques BD. Nous constatons un manque sérieux de résultats et de projets de recherche dans ce domaine et encourageons fortement leur développement.

Une différence notoire entre les essais BD sur les fermes australiennes et les autres essais comparatifs est que sur les fermes australiennes, seule la préparation 500 a été

pulvérisée une ou deux fois par an²⁷. Nguyen et Haynes³² signalent aussi que seule la préparation 500 a été utilisée sur les fermes en Nouvelle Zélande. Cependant, comme cela est précisé dans littérature professionnelle, les préparations ont été conçues pour fonctionner ensemble et les résultats escomptés ne peuvent être obtenus que de cette manière. De plus, parce que les parcelles sont pâturées toute l'année, Ryan et Ash²⁷ signalent qu'aucune fumure organique n'a été ajoutée sur les sols pendant 17 ans. Nguyen et Haynes³² rapportent également l'absence de fumure organique sur les sols BD et expliquent ainsi les rendements plus faibles dans leur rotation de 4 ans (sans prairie). De plus, les résultats d'études précédentes montrent que le système BD a une meilleure efficacité énergétique (pour les cultures et l'élevage) par unité de surface tout en étant plus gourmand en main d'œuvre que les fermes conventionnelles³².

La production de raisin BD attire également une attention croissante, alors que certains des domaines les plus prestigieux dans le monde commencent à utiliser les pratiques BD depuis quelques décennies⁷. La recherche montre que les pratiques BD influencent la canopée de la vigne ainsi que les processus biochimiques, alors qu'aucun effet sur les paramètres de fertilité du sol n'ont été montrés dans une étude comparative BIO-BD de 6 ans entre dans un vignoble biologique en Californie⁷. Probst *et al.*³³, cependant, ont observé des différences significatives de la fertilité des sols BD et CON sur des fermes où les pratiques agricoles sont identiques depuis longtemps (1981). Les résultats sont en accord avec ceux présentés dans le Tableau 4. Davantage de recherche est nécessaire afin de pouvoir conclure sur les performances qualitatives. Des essais comparatifs à long terme en viticulture seraient d'un grand intérêt scientifique et technique.

Évaluation de la qualité

La cristallisation sensible et morphochromatographie (ou Steigbild) sont deux méthodes dites sensibles ou globales utilisées dans l'évaluation de la qualité des aliments. Bien qu'elles soient nées dans les années 30,

elles suscitent aujourd'hui un regain d'intérêt et d'innovation³⁴, non seulement en lien avec la biodynamie, mais aussi avec l'agriculture biologique. Ces méthodes ont été développées à partir d'une conception qui considère les organismes vivants non seulement comme de la substance, mais contenant également des propriétés organisatrices et structurantes (par exemple, nous pouvons connaître la composition exacte ainsi que la quantité des substances d'une pomme, mais nous ne sommes pas pour autant capable de la produire en mélangeant ces éléments). Ces propriétés déterminent la forme et les fonctions d'un organisme³⁵. Pour commencer, un extrait soluble du produit à tester est préparé d'après les standards définis pour chaque méthode, et qui ont été mis-à-jour, validés et testés sur la base de plusieurs échantillons provenant de systèmes de comparaison contrôlés³⁴. De plus, un réseau Triangle de laboratoires travaillant avec la méthode de la cristallisation sensible (Université de Kassel, Louis Bolk Institute et l'Association de Recherche Biodynamique du Danemark) a été établi, avec pour objectif de développer des standards ISO uniformes pour les images produites par cristallisation et morpho-chromatographie³⁶. Parallèlement au développement de l'analyse des images par ordinateur³⁷, une méthode modifiée d'évaluation des images par un panel, utilisant une sélection de dix critères, a été appliquée avec succès³⁴. Avec l'utilisation de ces méthodes, il est maintenant possible de reconnaître les produits spécifiques provenant d'essais comparatifs entre les différentes méthodes de productions, et ainsi de créer des références. Les plantes qui poussent dans des conditions environnementales et climatiques différentes expriment différents paramètres de qualité, rendant ainsi impossibles les comparaisons directes et les affirmations sur la qualité de telles plantes, ce qui est également vrai pour les méthodes d'évaluation sensorielle. Des résultats prometteurs provenant d'institutions renommées, ainsi que le nombre croissant d'articles sur le sujet ces dernières années pourraient stimuler l'intérêt et l'acceptation des méthodes globales d'approches de la qualité.

Gestion du paysage en lien avec la biodynamie

L'idée de l'organisme ou de l'individualité agricole est un des principes centraux de l'agriculture BD¹. Généralement, cela signifie une gestion de la ferme qui minimise les intrants afin de rendre la ferme le plus autonome possible³⁸, ce qui est également le cas des fermes BIO. Mais la biodynamie inclut également une réflexion plus vaste sur la place de la ferme dans son environnement, sur l'implication des personnes qui y travaillent ainsi qu'un équilibre entre les parties ou « organes » de la ferme (terres arables, prairies, animaux d'élevage, maraîchage, etc.) et les éléments de la nature tels que les forêts, landes, haies, ainsi que les cours d'eau³⁸. Ho et Unalowicz³⁹ donnent des arguments en faveur de l'approche organique des systèmes durables, basés sur la thermodynamique. Si nous étendons ce point de vue à une échelle plus grande, la ferme joue alors un grand rôle dans l'aménagement et le développement du paysage. C'est pour cette raison qu'une démarche ascendante (*bottom-up*, ndt), partant de l'analyse de la situation présente et visant à l'amélioration du paysage sur les fermes, a été développée dans le but de construire des systèmes agricoles en accord avec la nature, en se basant sur l'acceptation des conditions naturelles en les développant en fonction des besoins de la société^{38, 40}. L'approche goethéenne-phénoménologique a une part importante à apporter, à côté des méthodes et des solutions classiques, dans l'évaluation, l'aménagement et le développement du paysage⁴¹. En conjonction avec les méthodes citées ci-dessus, cette approche ascendante ressemble à la recherche-action participative où les chercheurs ne sont pas de simples observateurs du système mais participent activement à son processus de formation⁴². De plus, il apparaît qu'un aménagement durable et écologique du paysage ne peut pas être atteint uniquement par une planification et des régulations descendantes (*top-down*, ndt), mais plutôt par des initiatives ascendantes, individuelles et participatives⁴⁰. En fait, les solutions aux problèmes d'une ferme ne résolvent pas nécessairement les mêmes problèmes sur une autre ferme, et des

solutions sur-mesure doivent être proposées là où il y a besoin³⁸. En incluant des objectifs plus vastes que l'aménagement paysager, Helmfried *et al.*⁴³ ont utilisé les méthodes de recherche-action participative pour étudier et construire des systèmes agricoles locaux et durable. Relier les deux approches avec comme objectif l'amélioration des systèmes agricoles et naturels est une perspective prometteuse pour l'avenir.

Conclusion

De nombreuses questions concernant les pratiques agricoles BD ont été abordées durant les dernières décennies et des résultats ont été publiés dans plus de 30 revues scientifiques à comité de lecture (*peer review*). Nous avons une meilleure compréhension des effets de l'agriculture BD sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, sur la croissance des cultures, les rendements, les processus du sol, etc. Les pratiques BD gagnent aussi de l'intérêt dans le contexte du changement climatique, de la pénurie d'énergie et de l'accroissement de la population, où elles proposent un système plus résilient, diversifié et efficient. Dans ce sens, l'agriculture BD se présente comme une méthode d'agriculture viable, qui mérite d'être étudiée plus en détail et pour elle-même. Mais quelles sont les priorités pour aller de l'avant ? Est-ce qu'une compréhension plus approfondie du mode d'action précis des préparations BD constitue une de ces priorités ? Jusqu'à présent, aucune explication mécaniste satisfaisante n'a été proposée. Cependant, le modèle d'adaptation et de réponse des systèmes⁹ donne une explication partielle mais prometteuse. De plus, est-ce que ce manque de clarté rend la méthode BD non-scientifique ? Il n'y a également aucune explication satisfaisante sur les chemins et les mécanismes de l'établissement et de l'équilibre de la matière organique dans les sols⁴⁴, et le sujet est encore considéré avec grand intérêt par les scientifiques. Afin de mieux comprendre le rôle et l'effet des préparations BD, des méthodes comme la mesure de la photosynthèse et le marquage isotopique pourraient être prises en considération. Il est important de rechercher de l'inspiration dans le « Cours aux

Agriculteurs¹ », mais également de faire un pas en avant et de développer de nouvelles idées, de relever les défis actuels⁴⁵ et de construire de nouvelles perspectives, encore inconnues, pour l'agriculture BD, tout en prenant en compte les 80 années d'expérience⁴⁶ avec la méthode BD.

Qu'en est-il de l'efficacité énergétique à plus grande échelle (production et consommation) ? Est-ce que cela fait une différence si les préparations sont produites sur place ou bien acheminées de loin ? Est-ce que cela affecte l'efficacité des préparations ? Est-ce que la confection des préparations en utilisant les organes animaux doit rester telle que l'a préconisé Steiner¹ ? Ou bien devons-nous aller de l'avant, en explorant de nouvelles possibilités et en développant une compréhension des mécanismes à l'arrière-plan des procédures ? Cela constitue un point important au regard de l'évolution des réglementations européennes sur l'hygiène⁴⁷, qui ont été mises en place suite aux épidémies des élevages industriels. Et qu'en est-il de la recherche sur les animaux d'élevage ? Y a-t-il une différence entre du compost BD d'origine animale ou végétale ? Comment cela affecte-t-il la fertilité du sol et la santé ? Et après tout, avons-nous besoin de réaliser davantage d'essais comparatifs sur les systèmes de production ? Si oui, est-ce que les systèmes comparés sont clairement définis ? Et quels sont les domaines qu'il est intéressant de comparer ? La qualité des aliments est certainement un sujet fortement controversé, qui mériterait davantage d'attention.

Un groupe de travail composé de chercheurs et de professionnels, qui se rassemblent dans un processus dynamique pour échanger des pensées, des expériences et des résultats de recherche⁴⁸, est certainement un signe pour l'avenir. Un portail web sur la recherche en biodynamie⁴⁹ a récemment été créé et pourrait faciliter les échanges d'idées, d'expériences et de résultats. Un réseau international d'agriculteurs, chercheurs, conseillers, formateurs ainsi que d'autres personnes intéressées par l'agriculture BD pourrait contribuer à identifier et à répondre aux questions qui émergent de la pratique quotidienne afin de démultiplier les pas vers un avenir plus durable, sain et prospère.

Réponse du rapporteur

Suite à la proposition de l'Editeur, nous publions une remarque du rapporteur (reviewer) afin d'élargir la compréhension du sujet en question :

« Mon point de vue personnel est que les auteurs n'ont pas besoin de demander si la biodynamie peut être considérée comme une catégorie scientifique, ni même de préciser qu'une partie de la communauté scientifique considère la biodynamie avec scepticisme et la qualifie de dogmatique. Il y a plus de 4200 fermes dans le monde qui sont certifiées en biodynamie, donc cela est clairement un sujet d'étude digne d'intérêt. Il y a également de nombreuses recherches et publications qui identifient les bénéfices de l'agriculture biologique ainsi que sa capacité à maintenir les rendements et à améliorer la qualité du sol par des méthodes biologiques. A ma connaissance, la biodynamie inclue toutes les composantes essentielles de l'agriculture biologique, donc tout ce qui est vrai pour la bio est aussi vrai pour la biodynamie. »

Remerciements

Nous remercions les rapporteurs anonymes pour leurs critiques constructives, qui ont permis d'améliorer cet article, et particulièrement le rapporteur n°2 pour nous avoir motivé à développer la partie « Conclusion ». Cet article de synthèse constitue la première partie d'un travail de thèse à venir, basé sur deux projets (L4-957-0482-06 et J4-9532-0482-07) financés par le Ministère de l'Education, des Sciences et de la Technologie de Slovénie. Nous remercions le Ministère de l'Education, des Sciences et de la Technologie de Slovénie pour son soutien financier.

References

- 1 Steiner, R. 1924. *Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft*. Rudolf Steiner Verlag, Dornach.
- 2 Reganold, J.P. 1995. Soil quality and profitability of biodynamic and conventional farming systems: A review. *American Journal of Alternative Agriculture* 10:36–45.
- 3 Demeter International e.V. 2008. Demeter International e.V. – A World-wide Network. <http://www.demeter.net/> (verified 10 December 2008).
- 4 Ryan, M. and Ash, J. 1999. Effects of phosphorus and nitrogen on growth of pasture plants and VAM fungi in SE Australian soils with contrasting fertiliser histories (conventional and biodynamic). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73: 51–62.
- 5 Carpenter-Boggs, L., Reganold, J.P., and Kennedy, A.C. 2000. Effects of biodynamic preparations on compost development. *Biological Agriculture and Horticulture* 17:313–328.
- 6 Carpenter-Boggs, L., Kennedy, A.C., and Reganold, J.P. 2000. Organic and biodynamic management: effects on soil biology. *Soil Science Society of America Journal* 64:1651–1659.
- 7 Reeve, J.R., Carpenter-Boggs, L., Reganold, J.P., York, A.L., McGourty, G., and McCloskey, L.P. 2005. Soil and winegrape quality in biodynamically and organically managed vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture* 56:367–376.
- 8 Zaller, J.G. 2007. Seed germination of the weed *Rumex obtusifolius* after on-farm conventional, biodynamic and vermicomposting of cattle manure. *Annals of Applied Biology* 151:245–249. 152 M. Turinek et al.
- 9 Raupp, J. and König, U.J. 1996. Biodynamic preparations cause opposite yield effects depending upon yield levels. *Biological Agriculture and Horticulture* 13:175–188.
- 10 Zimdahl, R. 1999. *Fundamentals of Weed Science*. Academic Press, San Diego, CA.
- 11 Goldstein, W., Barber, W., Carpenter-Boggs, L., Daloren, D., and Koopmans, C. 2004. Comparisons of conventional, organic and biodynamic methods. Michael Fields Agricultural Institute. Available at Web site

- <http://www.michaelfieldsagainst.org/education/comparison.pdf> (verified 30 June 2008).
- 12 Rupela, O.P., Gopalakrishnan, S., Krajewski, M., and Sriveni, M. 2003. A novel method for the identification and enumeration of microorganisms with potential for suppressing fungal pathogens. *Biology and Fertility of Soils* 39:131–134.
 - 13 Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694–1697.
 - 14 Fließbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L., and Mäder, P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:273–284.
 - 15 Oehl, F., Frossard, E., Fließbach, A., Dubois, D., and Oberson, A. 2004. Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology and Biochemistry* 36:667–675.
 - 16 Zaller, J.G. and Köpke, U. 2004. Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendment on yields, soil chemical, biochemical and biological properties in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils* 40:222–229.
 - 17 Wada, S. and Toyota, K. 2007. Repeated applications of farmyard manure enhance resistance and resilience of soil biological functions against soil disinfection. *Biology and Fertility of Soils* 43:349–356.
 - 18 Scheller, E. and Raupp, J. 2005. Amino acid and soil organic matter content of topsoil in a long term trial with farmyard manure and mineral fertilizers. *Biological Agriculture and Horticulture* 22:379–397.
 - 19 Pfiffner, L. and Mäder, P. 1997. Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. *Biological Agriculture and Horticulture* 15:3–10.
 - 20 Anderson, T.H. and Domsch, K.H. 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 25:393–395.
 - 21 Janzen, H.H. 2004. Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:399–417.
 - 22 Raupp, J. 2001. Forschungsthemen und Ergebnisse eines Langzeitdüngungsversuchs in zwei Jahrzehnten; ein Beitrag zur Bewertung von pflanzenbaulichen Langzeitversuchen. *Berichte über Landwirtschaft* 79:71–93.
 - 23 Reganold, J.P., Palmer, A.S., Lockhart, J.C., and MacGregor, A.N. 1993. Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional farms in New Zealand. *Science* 260:344–349.
 - 24 Droogers, P. and Bouma, J. 1996. Biodynamic vs. conventional farming effects on soil structure expressed by simulated potential productivity. *Soil Science Society of America Journal* 60:1552–1558.
 - 25 Janzen, H.H. 2006. Greenhouse gases as clues to permanence of farmlands. *Conservation Biology* 21:668–674.
 - 26 Pimentel, D., Herperly, P., Hanson, J., Douds, D., and Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55: 573–582.
 - 27 Ryan, M. and Ash, J. 1999. Effects of phosphorus and nitrogen on growth of pasture plants and VAM fungi in SE Australian soils with contrasting fertiliser histories (conventional and biodynamic). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73: 51–62.
 - 28 Ryan, M.H., Small, D.R., and Ash, J.E. 2000. Phosphorus controls the level of colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi in conventional and biodynamic irrigated daily pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40:663–670.
 - 29 Frey-Klett, P., Garbaye, J., and Tarkka, M. 2007. The mycorrhiza helper bacteria revisited. *New Phytologist* 176:22–36.
 - 30 Burkitt, L.L., Small, D.R., McDonald, J.W., Wales, W.J., and Jenkin, M.L. 2007. Comparing irrigated biodynamic and conventionally managed dairy farms. 1. Soil and pasture properties. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47:479–488.
 - 31 Burkitt, L.L., Wales, W.J., McDonald, J.W., Small, D.R., and Jenkin, M.L. 2007. Comparing irrigated biodynamic and conventionally managed dairy farms. 2. Milk production and composition and animal health. *Australian*

- Journal of Experimental Agriculture 47:489–494.
- 32 Nguyen, M.L. and Haynes, R.J. 1995. Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury, New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52:163–172.
 - 33 Probst, B., Schüller, C., and Joergensen, R.G. 2008. Vineyard soils under organic and conventional management – microbial biomass and activity indices and their relation to soil chemical properties. *Biology and Fertility of Soils* 44:443–450.
 - 34 Kahl, B.J. 2006. Entwicklung, in-house Validierung und Anwendung des ganzheitlichen Verfahrens Biokristallisation für die Unterscheidung von Weizen-, Möhren- und Apfelproben aus unterschiedlichem Anbau und Verarbeitungsschritten. Habilitationsschrift. University of Kassel, Witzenhausen, Germany.
 - 35 Meelursarn, A. 2006. Statistical evaluation of texture analysis from the biocrystallization method: Effect of image parameters to differentiate samples from different farming systems. PhD thesis. University of Kassel, Witzenhausen.
 - 36 Andersen, J.O., Huber, M., Kahl, J., Busscher, N., and Meier-Ploeger, A. 2003. A concentration matrix procedure for determining optimal combinations of concentrations in biocrystallization. *Elemente der Naturwissenschaft* 79:97–114.
 - 37 Andersen, J.O., Henriksen, C.B., Laursen, J., and Nielsen, A.A. 1998. Computerised image analysis of biocrystallograms originating from agricultural products. *Computers and Electronics in Agriculture* 22:51–69.
 - 38 Vereijken, J.F.H.M., van Gelder, T., and Baars, T. 1997. Nature and landscape development on organic farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 63:201–220.
 - 39 Ho, M.W. and Ulanowicz, R. 2005. Sustainable systems as organisms? *BioSystems* 82:39–51.
 - 40 Beismann, M. 1997. Landscaping on a farm in northern Germany, a case study of conceptual and social fundamentals for the development of an ecologically sound agro-landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 63:173–184.
 - 41 Colquhoun, M. 1997. An exploration into the use of Goethean science as a methodology for landscape assessment: the Pishwanton Project. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 63:145–157.
 - 42 Greenwood, D.J., Whyte, W.F., and Harkavy, I. 1993. Participatory action research as a process and as a goal. *Human Relations* 46:175–192.
 - 43 Helmfried, H., Haden, A., and Ljung, M. 2008. The role of action research (AR) in environmental research: learning from a local organic food and farming research project. *Systemic Practice and Action Research* 21:105–131.
 - 44 Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. Wiley Interscience, New York.
 - 45 Turinek, M., Grobelnik-Mlakar, S., Bavec, M., and Bavec, F. 2008. Biodynamic agriculture from past to present. *Agricultura* 6:1–4.
 - 46 Koepf, H., Schaumann, W., and Haccius, M. 1996. *Biologisch-dynamische Landwirtschaft*. Ulmer Verlag, Stuttgart.
 - 47 Regulation (EC) No. 1774/2002 of the European Parliament and of the Council. Available at Web site <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/consleg/2002/R/02002R1774-20060401-en.pdf> (verified 10 December 2008).
 - 48 Hurter, M. (ed.) 2007. *Zur Vertiefung der biologisch-dynamischen Landwirtschaft*. Verlag am Goetheanum, Dornach.
 - 49 Biodynamic-Research-Team. 2008. *Biodynamic-Research.net – Information and Communication Network for Research on Biodynamic Agriculture*. Available at Web site <http://www.biodynamic-research.net/> (verified 10 December 2008).
 - 50 Berner, A., Hildermann, I., Fließbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., and Mäder, P. 2008. Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil Tillage Research* 101:89–96.