

Bulletin BSA/VBB n° 9 / juillet 2005

1. Rapport annuel du président	1
2. Activités des groupes de projets.....	4
2.1. Groupe de projet "Echange de connaissances et sensibilisation du public".....	4
2.2. Groupe de projet "Microbiologie".....	4
2.3. Groupe de projet "Mycorhizes".....	4
2.4. Groupe de projet "Faune".....	4
2.5. Groupe de projet "Observation de longue durée".....	4
3. Projets choisis du BSA.....	5
3.1. Dix ans de BSA: un bilan.....	5
3.2. Stratégie et méthodes recommandées pour l'évaluation des risques posés par les OGM ou d'autres atteintes biologiques à l'écosystème du sol.....	13
3.3. Plages de référence pour des paramètres de biologie du sol.....	14
4. Forum	15
4.1. Effet d'antibiotiques sur la microflore du sol.....	15

1. Rapport annuel du président

Guido Schmid

Amt für Umweltschutz, Fachstelle Bodenschutz, Saint-Gall

Le BSA fête ses dix ans – bon anniversaire !

En 1995, des spécialistes issus de la recherche et de la pratique ont uni leurs forces pour élaborer ensemble des bases en vue de l'application de la biologie du sol à la protection et à l'observation à long terme des sols. Dix ans plus tard, nous poursuivons cette tâche avec le même enthousiasme et concrétisons par des actes les principes de la biologie du sol.

En 2004, le groupe de travail BSA s'est à nouveau réuni durant deux journées entières. Il a en outre participé à une séance extraordinaire consacrée au thème : « Plages de référence de données en biologie du sol ».

Outre l'échange d'informations entre les acteurs de l'application et de la recherche, les deux séances ordinaires ont servi à la présentation de travaux prévus ou achevés ainsi que des comptes rendus sur les projets en cours. Vous pourrez lire aux pages 3 à 5 de ce bulletin un point de la situation sur les travaux menés par les groupes de projet. Par ailleurs, un état des lieux a été dressé lors de la séance du printemps. Une bonne partie des objectifs formulés dans la stratégie « Biologie et protection du sol » ont été atteints au cours de la dernière décennie (voir à ce propos le rapport annuel du président dans le bulletin BSA n° 8 et l'article de Patricia Fry dans le présent bulletin, p. 6). Mais parallèlement aux activités permanentes comme les actions de sensibilisation du public ou la standardisation de méthodes d'analyse de biologie du sol, il reste encore diverses tâches à accomplir qui n'ont pas pu être traitées ces dix dernières années faute de capacités suffisantes ou parce que les bases faisaient défaut:

- Création d'une banque de données de référence sur les paramètres biologiques utilisables pour l'interprétation des valeurs de mesure.
- Etude bibliographique sur les vers de terre, les microorganismes et autres organismes du sol par rapport à leur fonction d'indicateurs d'atteintes chimiques et/ou physiques.
- Développement de méthodes d'analyse simples et peu onéreuses de la diversité microbienne.
- Elaboration d'une directive sur le contrôle des résultats par des procédés biologiques lors de l'assainissement et de la remise en état de sols.
- Adaptation de la directive sur l'évaluation de la fertilité des sols.

L'état des lieux évoqué plus haut a clairement montré la nécessité de mieux faire connaître les nombreux travaux réalisés par le BSA. Pour y parvenir, deux solutions sont envisagées :

- Adaptation de la directive sur la fertilité des sols : depuis la publication de cette directive en 1991, de nombreuses expériences ont été accumulées et nos connaissances améliorées dans divers domaines. Une révision est donc souhaitable. Dans un premier temps, il est prévu de déterminer les besoins des cantons.
- Etablissement de plages de référence de données sur des paramètres de biologie du sol : les bases de données disponibles sur les paramètres microbiologiques (biomasse, respiration) et les populations de vers de terre en prairie naturelle sont suffisantes pour la définition de plages de référence. Celles-ci ont été discutées lors d'une réunion extraordinaire du BSA et sont présentées au chapitre 3.3.

Comme le veut le tournus, j'ai cédé la présidence du BSA au début de 2005 à Françoise Okopnik, du service de la protection des sols du canton d'Argovie. Je saisis cette occasion pour remercier tous les membres du groupe de travail «Biologie du sol – application» de leur engagement, parfois depuis des décennies, dans le domaine de la biologie du sol.

Impressum Bulletin BSA/VBB n° 9/2005

Editeur

Groupe de travail «Biologie du sol – application»

Le groupe de travail BSA/VBB a été fondé en 1995 à l'initiative des services cantonaux de la protection des sols et de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP). Il traite essentiellement d'aspects de la biologie du sol en rapport avec la protection des sols et la conservation de leur fertilité dans le cadre de l'application de l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol).

Présidence 2003/04

Guido Schmid
Amt für Umweltschutz
Lämmlibrunnenstrasse 54
CH – 9001 St. Gallen
Tél. 071 229 24 10
E-Mail: guido.schmid@sg.ch

Présidence depuis 2005

Françoise Okopnik
Abt. für Umwelt
Sektion Boden und Wasser
Entfelderstrasse 22
Buchenhof
CH – 5001 Aarau
Tél. 062 835 34 08
E-mail: françoise.okopnik@ag.ch

Secrétariat et commandes

Dr. Paul Mäder
Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL)
Ackerstrasse
Postfach
CH – 5070 Frick
Tél. 062 865 72 32
Fax 062 865 72 73
E-Mail: paul.maeder@fibl.ch

Le bulletin est également disponible sur Internet :

Français :

http://www.environnement-suisse.ch/OFEFP/fr/fachgebiete/fg_boden/info/biologiesols

Allemand :

http://www.umwelt-schweiz.ch/OFEFP/de/fachgebiete/fg_boden/info/biologiesols

Groupes de projets rattachés au groupe de travail «Biologie du sol - application»**Etat Juillet 2005**

Nom du groupe et thèmes abordés	Membres	Personne de contact
Echange de connaissances et sensibilisation du public		
- Informer et sensibiliser le public aux questions se rapportant à la biologie du sol - Échanges d'expériences et de connaissances	R. Bono (BL) J. Burri (LU) C. Maurer-Troxler (BE) F. Okopnik (AG) B. Pokorni (NE) R. von Arx (OFEFP) G. von Rohr (SO) T. Wegelin (ZH)	Dr. Roland von Arx OFEFP CH-3003 Berne Tél. 031 322 93 37 roland.vonarx@buwal.admin.ch
Microbiologie		
- Élaborer et valider des stratégies d'échantillonnage (prairies, terres ouvertes, forêts) - Choisir, standardiser et valider des méthodes - Documenter la variabilité dans le temps et dans l'espace - Effectuer des études pilotes sur la détermination d'atteintes concrètes	W. Heller (FAW) A. Fliessbach (FiBL) E. Laczko (Solvit) P. Mäder (FiBL) H.-R. Oberholzer (FAL)	Dr. Hans-Rudolf Oberholzer Agroscope FAL Reckenholz Reckenholzstrasse 191/211 CH-8046 Zurich Tél. 01 377 72 97 hansrudolf.oberholzer@fal.admin.ch
Mycorhizes		
- Élaborer et valider des méthodes standard pour décrire l'état d'un sol sur le plan des mycorhizes	S. Egli (WSL) U. Galli (Grenchen) J. Jansa (ETH) C. Maurer-Troxler (BE) P. Mäder (FiBL) B. Senn (WSL) V. Wiemken (Uni BS)	Dr. Simon Egli WSL Zürcherstrasse 111 CH-8903 Birmensdorf Tél. 01 739 22 71 simon.egli@wsl.ch
Faune		
- Évaluer et standardiser des méthodes de recensement des animaux du sol et les tester par des études de cas <i>Le groupe est suspendu</i>	S. Keller (FAL) C. Maurer-Troxler (BE) L. Pfiffner (FiBL)	Dr. Claudia Maurer-Troxler ASP, Bodenschutzfachstelle, Rütli CH-3052 Zollikofen Tél. 031 910 53 33 claudia.maurer@vol.be.ch
Observation de longue durée		
- Coordonner des essais de biologie du sol dans le cadre du réseau cantonal d'observation des sols - Réaliser des essais pilotes d'observation à long terme (en collaboration avec le projet FAL)	H. Brunner (FAL) U. Gasser (ZH) C. Maurer-Troxler (BE) H.-R. Oberholzer (FAL) F. Okopnik (AG) G. Schmid (SG) P. Schwab (FAL)	Dr. Claudia Maurer-Troxler ASP, Bodenschutzfachstelle, Rütli CH-3052 Zollikofen Tel. 031 910 53 33 claudia.maurer@vol.be.ch

2. Activités des groupes de projets

2.1. Groupe de projet « Echange de connaissances et sensibilisation du public »

Roland von Arx, OFEFP

La plate-forme électronique « KMSoil », destinée à faciliter l'échange de connaissances entre les services cantonaux de la protection des sols et la Confédération, est en service depuis l'été 2004 et a été introduite auprès des services cantonaux à l'aide d'une instruction ciblée. Durant la phase de lancement, le groupe de projet s'est surtout attaché à rechercher et éliminer les défauts. Quelques problèmes sont apparus lors de l'accès à la plate-forme au moyen du certificat requis. Dans plusieurs cantons, il a d'abord fallu installer correctement ce dernier. Mais à présent, différents groupes de travail des services de la protection des sols profitent déjà des avantages du KMSoil dans le cadre de leur collaboration et pour l'archivage commun de leurs documents. La plate-forme est régulièrement améliorée dans son fonctionnement et ses petites insuffisances corrigées.

Le projet « Von Bauern – für Bauern » de Patricia Fry vulgarise à l'aide de vidéos les expériences de paysannes et de paysans dans le domaine de la conservation et de la restauration de la fertilité des sols. Il est soutenu par les services de la protection des sols des cantons et de la Confédération, et suivi par le groupe de projet. Les organisations et services agricoles ainsi que l'Office fédéral de l'agriculture ayant assuré leur appui, la phase principale (2004-08) a pu être lancée en Suisse allemande. On étudie actuellement une éventuelle extension du projet à la Suisse romande ainsi que les adaptations et le financement que cela impliquerait.

2.2. Groupe de projet « Microbiologie »

*Hans-Rudolf Oberholzer,
Agroscope FAL Reckenholz*

Le groupe de travail a entrepris une évaluation de diverses méthodes de description de la structure des populations microbiennes dans le sol, comme le modèle de dégradation du substrat, le modèle PLFA et les méthodes de biologie moléculaire. L'objectif est d'évaluer l'adéquation, les possibilités et les limites d'utilisation de ces méthodes pour la description de la qualité d'un

sol. L'étude porte notamment sur la diversité des microorganismes du sol et sur la présence et la composition d'importants groupes de microorganismes. D'autres spécialistes ont été invités à collaborer à ce projet aux côtés des membres du groupe de travail.

2.3. Groupe de projet « Mycorhizes »

Simon Egli, WSL Birmensdorf

Les valeurs empiriques sur l'application en Suisse de la méthode de détermination du potentiel infectieux des mycorhizes dans des sols agricoles sont encore peu nombreuses. C'est pourquoi le groupe de projet a décidé de lancer un essai pilote au printemps 2005. Les cantons d'AG, BE, BL, FR, SG et SO ont accepté de débloquer les moyens nécessaires pour faire tester et évaluer des sols des réseaux NABO et Kabo par un laboratoire privé. L'étude portera au total sur 16 sites de prairies et de terres assolées. Ces sols subiront en parallèle des analyses de paramètres biologiques. Les résultats serviront surtout à mieux évaluer l'adéquation de la méthode des mycorhizes pour l'observation à long terme.

2.4. Groupe de projet « Faune »

*Claudia Maurer-Troxler,
SASP, service de la protection des sols du canton de Berne*

Ce groupe n'a pas mené de nouvelles activités en 2004. Il est suspendu jusqu'à nouvel avis faute de capacités suffisantes.

2.5. Groupe de projet « Observation de longue durée »

*Claudia Maurer-Troxler,
SASP, service de la protection des sols du canton de Berne
Peter Schwab,
direction projet LAZBO, FB14.2 (NABO) FAL*

Le groupe s'est concentré sur trois projets :

- LAZBO
- NABO-Bio
- Sols forestiers

Les cantons d'AG, BE, SG et ZH souhaitent renforcer leur collaboration dans le domaine des KABO, que ce soit pour la planification de la poursuite des travaux ou pour l'évaluation des

données disponibles. Dans un premier rapport commun, il est prévu d'analyser les données dont disposent les KABO sur les sols forestiers et de discuter de la situation du pH comme indicateur de la fertilité de ces types de sols. Un bureau d'ingénieur forestier a développé une stratégie intégrant les problèmes, les données de base et des idées d'évaluation. Au terme de discussions approfondies, le groupe est finalement tombé d'accord pour se concentrer sur le pH comme plus petit dénominateur commun, et de décrire le danger que représente la sensibilité des sols aux apports acides. Les priorités varient selon les cantons : sols avec végétation naturelle et données sur les profils pour le canton de Berne, séries chronologiques et premières tendances pour les cantons d'Argovie et de Saint-Gall, indications complémentaires sur la saturation en cations métalliques pour le canton de Zurich. Le rapport devrait être disponible en 2006.

3. Projets choisis du BSA

3.1. Dix ans de BSA : un bilan

Patricia Fry,

*Wissenschaftsmanagement Umwelt, Idaplatz 3,
8003 Zürich*

E-mail: p.fry@bluewin.ch

Claudia Maurer,

*SASP, service de la protection des sols du
canton de Berne*

CH-3052 Zollikofen

E-mail: claudia.maurer@vol.be.ch

Roland von Arx, OFEFP, 3003 Berne

E-mail: roland.vonarx@buwal.admin.ch

Le Groupe de travail Biologie du sol – application (BSA) a été fondé en 1995 par les services cantonaux de la protection des sols et l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP). Depuis lors, le BSA se consacre aux questions de biologie du sol les plus diverses qui se posent dans le cadre de l'application de la loi sur la protection des sols. A l'occasion de son dixième anniversaire, nous aimerions tirer un bilan de nos réalisations et donner un bref aperçu des tâches qui nous attendent à l'avenir.

Création et objectifs du BSA

La description de la fertilité du sol dans l'Osol de 1986 (art. 2a) a notamment fourni les bases

nécessaires à l'observation des sols à partir de propriétés et processus biologiques importants : le sol est considéré comme fertile s'il présente une biocénose diversifiée et biologiquement active, une structure typique pour sa station et une capacité de décomposition intacte. En 1991, de premières méthodes et aides à l'interprétation ont été proposées dans les « Directives pour l'évaluation de la fertilité des sols ». La même année, les cantons d'Argovie, de Berne, de Saint-Gall et de Soleure, convaincus que la biologie du sol serait une clef importante dans la résolution de problèmes de protection des sols, ont fondé le **Groupe de travail Biologie du sol**. Dans un premier temps, leur stratégie s'est concentrée sur l'utilisation de méthodes biologiques pour l'observation à long terme. Le groupe de travail devait non seulement réussir à trouver des méthodes fiables, mais aussi résoudre des problèmes de standardisation, de variabilité spatiale et temporelle, et d'interprétation des mesures. Dès le départ, il est apparu évident que seule une collaboration étroite entre la recherche et la pratique permettrait de résoudre ces problèmes. À cette époque déjà, la situation financière nécessitait une coordination de l'utilisation des ressources humaines et financières.

En 1995, sur la suggestion du GT Biologie du sol, l'OFEFP organisa une rencontre en vue de compléter le groupe avec des spécialistes d'instituts de recherche, d'universités et de bureaux privés. Le **Groupe de travail « Biologie du sol – application » (BSA)** était né. Ses membres ont adopté les objectifs suivants :

- Le BSA facilite les contacts entre les différents acteurs concernés et coordonne leurs activités, de manière à éviter les chevauchements et à assurer une utilisation optimale des moyens engagés.
- Le BSA garantit un échange d'informations complet.
- Le BSA fixe des priorités.
- Le BSA propose des méthodes de biologie du sol pour l'application.
- Le BSA sensibilise la population et les utilisateurs à l'importance de la protection des sols.

Enfin, l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol, 1998) a offert au BSA une base supplémentaire pour ses travaux sur la conservation de la fertilité des sols.

Réalisations

Depuis lors, plusieurs cantons, l'OFEFP, la FAL, le FiBL et le WSL participent activement aux travaux du BSA. Le traitement spécialisé des différents thèmes est délégué à plusieurs groupes auxquels sont parfois associées des entreprises privées. Cependant, toutes les décisions importantes sont prises par le groupe central (fig. 1). Ce groupe se réunit deux fois par année. Il est dirigé par un président ou une présidente (qui change tous les deux ans) et soutenu par un secrétariat (FiBL sur mandat de l'OFEFP). Créé pour assurer une information élargie et axée sur l'application, le Bulletin BSA paraît une fois par année en français et en allemand. Il propose des informations sur les travaux des groupes de projets et les projets choisis du BSA, et met à disposition un forum où des experts externes peuvent s'exprimer sur des thèmes importants. On trouvera ci-dessous une synthèse des travaux accomplis jusqu'ici par les groupes de projets.

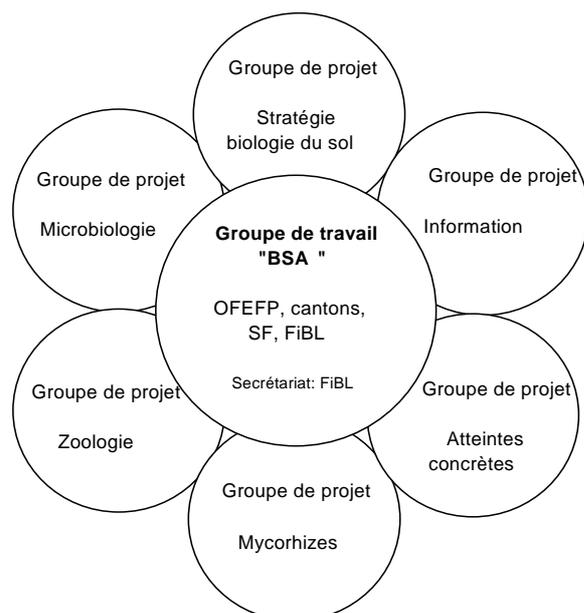


Fig. 1: Organisation du Groupe de travail BSA avec ses groupes de projets en 1995.

Groupe de projet

« Stratégie biologie du sol » :

Les révisions de la LPE de 1995 et de l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol) de 1998 ont élargi les bases légales à la protection physique des sols et aux atteintes biologiques. À la suite de ces révisions, le groupe de projet a adopté la stratégie « Biologie et protection du sol 1999 », dans laquelle il formule les nouvelles possibilités d'application d'activités de biologie du sol dans le cadre de la protection des sols. Cette stratégie sert de base de coordination entre les acteurs des instituts de recherche et ceux chargés de la mise en œuvre. Les domaines d'application suivants y sont décrits : sensibilisation du public, assainissement et remise en état de sols, observation à long terme, sols contaminés. Les objectifs, les projets en cours ou planifiés, les paramètres utilisables de même que les bases et les aides à l'interprétation disponibles ou manquantes ont été mis en évidence dans chacun de ces domaines. A fin 1999, le groupe s'est transformé en groupe de projet « Observation de longue durée ».

Groupe de projets « Microbiologie », « Mycorhizes » et « Faune » (anciennement: « Zoologie »):

Ces trois groupes de projets se sont concentrés sur l'établissement de méthodes et de plages de référence pour l'étude de sols. Dans un premier temps, il a fallu choisir des paramètres de base appropriés, standardiser des méthodes et les décrire comme méthodes de référence, procéder à des essais interlaboratoires, élaborer une stratégie d'échantillonnage, et enfin appliquer ces méthodes dans le cadre de projets choisis (cf. tableau 1). Les résultats ont déjà permis d'établir de premières plages de référence (microbiologie, vers de terre). La création d'une banque de données constitue une autre base importante. Mais elle a dû être retardée pour des raisons financières et de personnel.

De 1997 à 1999, le groupe de projet « Atteintes concrètes » a consacré une étude bibliographique aux tests de microbiologie du sol, mené des études pilotes sur l'identification d'atteintes concrètes, et entrepris d'établir une documentation au sujet de l'influence des polluants et des méthodes d'exploitation sur les microorganismes et la faune du sol. Il a ensuite fusionné avec le groupe de projet « Microbiologie ».

Tableau. 1: Etat des travaux des groupes de projet « Microbiologie », « Mycorhizes » et « Faune » (selon Maurer-Troxler BGS 2001). I: Instituts de recherche

Groupe de projet	Paramètres	Recherches bibliographiques sur un choix de paramètres de base	Description comme méthode de référence	Standardisation par des essais interlaboratoires	Premières applications	Plages de référence de données	Banque de données centralisée
Microbiologie	Biomasse FEM, SIR, ATP	Disponible	Disponible	Réalisée	Cantons, I	Terres assolées Prairies naturelles	Provisoi- rement suspendu
	Respiration du sol	Disponible	Disponible	Réalisée	Cantons, I	Terres assolées Prairies naturelles	Provisoi- rement suspendu
	Minéralisation de l'azote	Disponible	Disponible	Réalisée	Cantons, I		Provisoi- rement suspendu
	Activité déshydrogénase	Disponible	Disponible	Réalisée	I		Provisoi- rement suspendu
	Acides gras des phospholipides PLFA				En prépa- ration		
Mycorhizes	Potentiel infec- tieux	Disponible	Disponible	Partiellement réalisée	I		
Faune (anc. zoologie)	Vers de terre	Disponible	Disponible	Pas prévue	Cantons, I	Terres assolées	Provisoi- rement suspendu
						Prairies naturelles	

Groupe de projet « Echange de connaissances et sensibilisation du public »:

Le groupe a lancé et accompagné l'exposition sur les vers de terre, le parcours éducatif « La nature au service des jardins », l'action « Découvrir le sol », et participé au développement d'un classeur pédagogique, d'un outil d'enseignement et de la plate-forme KMSoil.

Conçue par Fredy Vetter et l'atelier Ruth Schürmann, l'**exposition sur les vers de terre** a été présentée en 17 endroits en Suisse et visitée par quelque 200'000 personnes et 2000 classes (cf. www.regenwurm.ch). Elle a également été reprise en Allemagne, où elle a attiré 50'000 visiteurs et 500 classes supplémentaires.

Depuis 1998, le **parcours éducatif « La nature au service des jardins »**, conçu et accompagné par le Büro naturnah Hansjürg Hörler, a été

installé dans plus de 150 communes de Suisse romande et alémanique : (www.naturnah.ch/proj-frame.htm).

Lancée en 2001, l'action « **Découvrir le sol** » rencontre elle aussi un franc succès, avec jusqu'ici une centaine de présentations en Suisse romande et alémanique (direction : Hansjürg Hörler et Martin Geilinger, www.erlebnisboden.ch).

Ces trois expositions s'adressent aux consommatrices et aux consommateurs ainsi qu'à diverses catégories d'utilisateurs du sol, leur but étant d'illustrer de façon claire, vivante et sous un angle pratique les corrélations existantes entre la biologie, la fertilité et la protection du sol. Elles sont toutes trois encore en service.

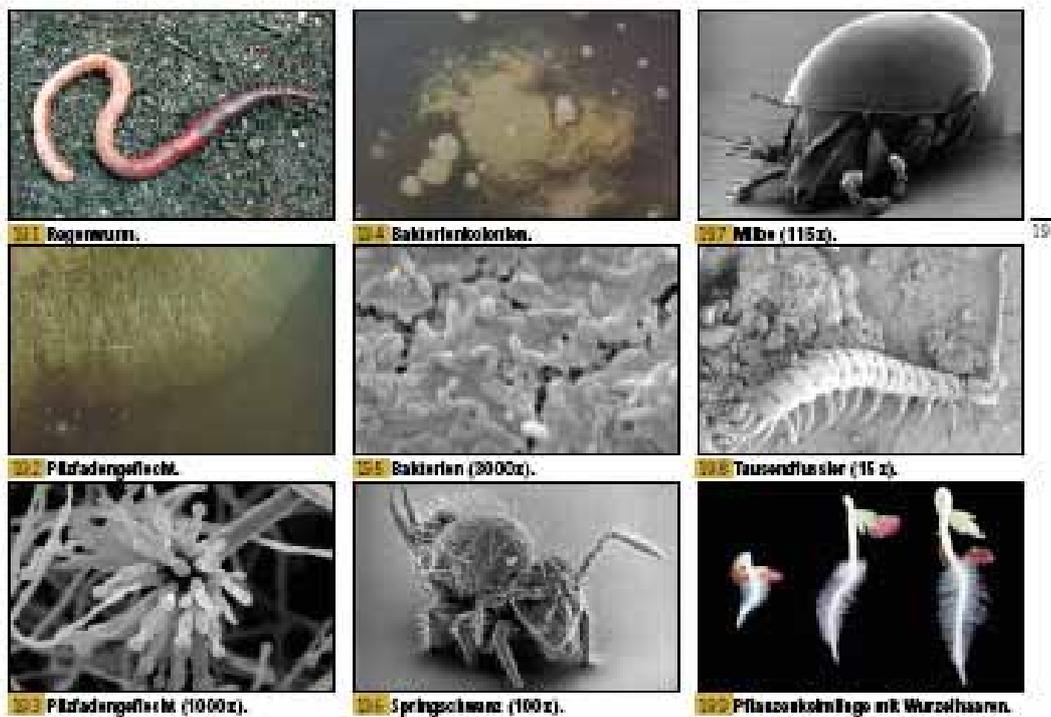


Fig. 2: Biologie du sol : classeur pédagogique « Boden – erleben, erforschen, entdecken » pour les écoles.

Illustrations de la brochure d'accompagnement : Comenius Verlag, Hitzkirch, www.comenius-verlag.ch

Avec le **classeur pédagogique « Boden – erleben – erforschen – entdecken »**¹, créé en collaboration avec la Fondation suisse d'Education pour l'Environnement et le service cantonal d'éducation à l'environnement du canton d'Argovie, les écoles disposent elles aussi d'un outil attrayant. En Suisse romande, l'outil d'enseignement très complet **LE SOL** a vu le jour. Il se compose de la brochure « Le Sol »², du classeur avec fiches de travail « Le Sol »³, et de la mallette « Terre à Terre »⁴.

Dans le but d'améliorer l'échange de connaissances entre les services cantonaux de la protection des sols et l'OFEFP, le groupe de projet, avec le soutien de l'OFEFP et en étroite collaboration avec les cantons, a créé une plateforme électronique. C'est ainsi que depuis une année, les services cantonaux de la protection des sols sont en réseau par l'intermédiaire de la plate-forme « KMSoil » (Knowledge Management Boden), qu'ils utilisent comme forum, archives communes et outil de travail.

Groupe de projet « Observation de longue durée » :

La stratégie et les méthodes développées ont fourni au groupe de projet « Observation de longue durée » une base pour le lancement en 2000 des premières applications. Aujourd'hui, le groupe coordonne l'utilisation de méthodes de biologie du sol dans les programmes cantonaux d'observation des sols (KABO), et il a entrepris de premiers relevés dans le programme national NABO. Les étapes nécessaires à l'élaboration des paramètres microbiologiques (échantillonnage, archivage, variabilité spatiale et temporelle, validation dans le temps, stabilité référentielle des méthodes et des systèmes de mesure, sensibilité des méthodes, résolution temporelle et effectivité) ont été préparées dans le cadre du projet « Essais pilotes sur l'observation à long terme de propriétés physiques et biologiques des sols » de la FAL (LAZBO 2001-2003) et de la phase test (2004-2007).

¹ Ed. OFEFP, Comenius Verlag Hitzkirch

² Gobat J.-M. et al. CIP Editions 2001

³ Béguin, D. CIP Editions 2002

⁴ Les Cerlatez 2002

Bilan

Ces 10 dernières années, malgré des ressources financières et humaines limitées, le BSA a inscrit de très nombreuses réalisations à son actif. Il a poursuivi ses objectifs avec persévérance et a fait pas à pas des progrès. Par rapport aux objectifs énumérés au premier chapitre, voici le bilan que l'on peut tirer :

Contacts et coordination dans l'application :

Le BSA s'est révélé une plate-forme idéale de collaboration et d'échange de connaissances et d'idées tant pour les cantons que pour l'OFEFP, les instituts de recherche (FiBL, FAL, FAW, WSL) et des entreprises privées. Avec ses groupes de projet faisant office d'« ateliers de travail » et le groupe central comme « centre de décision et de mise en réseau », la **structure d'organisation** a démontré son efficacité. Elle a favorisé une concentration des forces de tous les acteurs. Le soutien offert par le **secrétariat** a permis de professionnaliser l'organisation et de décharger les services spécialisés. Ces dix dernières années, de nombreux spécialistes se sont engagés dans le cadre du BSA, lequel a vu en outre la participation active de la plupart des cantons. Cette collaboration intensive au sein du BSA a permis d'éviter les chevauchements et d'optimiser l'utilisation des ressources financières limitées.

Pouvoir à un échange d'informations complet:

Les projets menés en commun au sein du BSA ont créé des échanges entre les cantons et les instituts de recherche. Par ailleurs, les spécialistes externes se sont vus proposer dans le bulletin annuel un forum pour la description de nouvelles méthodes et de résultats. Quant à la plate-forme de connaissances sur le sol « KMSoil », elle a amélioré l'échange de savoir entre les services spécialisés de la Confédération et des cantons et contribué ainsi à une application mieux ciblée des connaissances.

Fixer des priorités: Des priorités ont pu être fixées sur la base de la stratégie et de ses quatre domaines d'action, à savoir « observer et surveiller », « informer le public », « agir » et « contrôler ». L'organisation claire des recherches a permis d'améliorer la coordination et de concentrer les forces.

Mise à disposition et application de méthodes:

Ce point a constitué la priorité absolue du BSA au cours des 10 dernières années. Grâce à la bonne collaboration entre les cantons et les

instituts FIBL, FAL et WSL, l'objectif fixé a pu être en grande partie réalisé, ce qui représente un beau succès. Les méthodes mises à disposition pour la réalisation de relevés de biologie du sol ont été appliquées dans différents projets (LAZBO). Le BSA a même été au-delà de ses objectifs, dans la mesure où il a déjà lancé et coordonné l'utilisation de méthodes biologiques dans plusieurs cantons et au NABO.

Information et sensibilisation: L'information de la population à l'aide de quatre expositions et animations a constitué une autre priorité du BSA. Ces présentations ont reçu un très bon accueil du public. Elles ont permis d'exposer de façon stimulante d'importantes corrélations entre la biologie et la protection du sol.

En résumé, on peut dire que le BSA remplit aujourd'hui efficacement son rôle d'interface entre la recherche et l'application en biologie du sol. Il a fait de grands progrès dans tous les domaines thématiques retenus !

Perspectives

Cependant, de nombreuses tâches restent à accomplir pour atteindre les objectifs fixés pour la protection des sols. Nous faisons ci-dessous une distinction entre tâches permanentes, tâches en cours à poursuivre, et nouvelles tâches :

Un grand nombre d'objectifs fixés par le BSA sont devenus des tâches permanentes, à l'exemple de la coordination et de l'échange d'informations entre la recherche et l'application. C'est ainsi que le BSA est déjà utilisé comme plate-forme pour d'autres thèmes. Les possibilités de discussions et d'échanges d'expériences et de connaissances qu'offre le BSA resteront importantes à l'avenir, notamment pour l'interprétation des données. L'assurance qualité des méthodes fait aussi partie des thèmes récurrents. Par ailleurs, la mise en réseau par l'intermédiaire du BSA joue un rôle essentiel dans l'établissement et le développement des KABO. La réduction continue des ressources financières et humaines fait qu'il s'avère plus que jamais nécessaire de renforcer la collaboration et la coordination.

S'agissant des objectifs « mise à disposition de méthodes » et « sensibilisation du public », d'importantes étapes ont été atteintes. Il convient à présent de poursuivre ces tâches avec le même élan. Il s'agit notamment d'établir

la situation actuelle concernant des paramètres biologiques de base à l'aide de méthodes standardisées, de mettre à disposition les données comme base d'interprétation, de travailler au développement d'une banque de données commune, et de tirer des conclusions quant à la conservation de la fertilité des sols. Les efforts de sensibilisation de la population devront en outre être poursuivis.

Il faudra également aborder de nouvelles questions : quelles conclusions peut-on tirer sur l'évolution de la fertilité des sols ? Quelles possibilités d'interprétation se présentent lorsque différents paramètres biologiques et physiques sont relevés sur un même site ? Quelle influence les plantes génétiquement modifiées exercent-elles à long terme sur les organismes du sol ? Quel est l'impact d'organismes étrangers à la station, par exemple sur les mycorhizes ?

On trouvera ci-dessous une présentation des prochains objectifs partiels des groupes de projets.

Groupes de projets « Microbiologie », « Mycorhizes » et « Faune » :

En ce moment, la priorité va à la définition de plages de référence de données pour les méthodes microbiologiques « biomasse » et « respiration du sol » et pour les populations de vers de terre. Avec les paramètres physiques, celles-ci serviront à compléter les valeurs indicatives, les seuils d'investigation et les valeurs d'assainissement de l'OSol 1998. Les travaux de la FAL sur les terres assolées⁵ et les recensements de peuplements lombriciens des prairies permanentes du Plateau suisse⁶ sont utilisés comme bases pour la définition de ces valeurs. Des relevés microbiologiques ont déjà été réalisés dans les cantons de Berne, de Fribourg et de Genève, et d'autres sont prévus dans les cantons d'Argovie et de Saint-Gall. En 2005, le potentiel infectieux des mycorhizes sera pour la première fois intégré comme paramètre de mesure dans un essai-pilote mené dans plusieurs cantons. Depuis 1993, le KABO de Berne réalise régulièrement des relevés des peuplements lombriciens, et le canton d'Argovie prévoit de faire de même.

⁵ Oberholzer et al. 1999

⁶ OFEFP Cahiers de l'environnement 291

Parmi les autres priorités, mentionnons encore la création d'une banque de données de valeurs biologiques caractéristiques en vue de l'interprétation des mesures. Dans la foulée, on prévoit également de remanier les directives de 1991 compte tenu des nombreuses connaissances acquises au cours de la dernière décennie.

Des études bibliographiques seront consacrées à la fonction indicatrice des vers de terre, des microorganismes et d'autres organismes du sol lors d'atteintes chimiques et/ou physiques des sols. Dans ce domaine, de premiers travaux ont déjà été réalisés par le BSA (cf. ch. 2 et bibliographie).

Par ailleurs, il s'agira de développer des méthodes simples et peu coûteuses pour la détermination de la diversité microbienne.

Echange de connaissances et sensibilisation du public:

Ce groupe de projet gère la plate-forme de connaissances « KMSoil » et encourage ainsi activement les échanges entre spécialistes du sol. Il faudra s'efforcer à l'avenir de répondre encore mieux à la demande d'informations et d'objets d'exposition sur le thème des organismes du sol, car celle-ci est toujours aussi importante. Il est également prévu de fournir davantage d'informations sur la protection des sols dans des domaines spécialisés apparentés (comme la protection de la nature ou l'aménagement du territoire).

Observation à long terme :

Une application élargie des méthodes sur la base des résultats des groupes chargés de les développer est prévue dans différents programmes cantonaux d'observation des sols (cf. chap. 2). L'application dans le NABO revêt également une grande importance, vu le rôle de précurseur que ce dernier joue pour les cantons.

Afin de donner davantage de poids aux publications de données cantonales, il faudra élaborer des publications intercantionales. Une première analyse commune des données existantes des KABO sur les sols forestiers est prévue dans les cantons d'Argovie, de Berne, de Saint-Gall et de Zurich. Par la suite, la procédure devrait être coordonnée pour les surfaces d'observation à long terme tant dans le domaine agricole que forestier (choix des paramètres, analyses de laboratoire, choix du site).

Une collaboration ciblée devrait permettre d'appliquer les méthodes désormais bien établies malgré les moyens limités sur le plan financier et du personnel.

On constate ainsi que le travail du BSA doit faire face à de nouvelles priorités. Le tableau 2 propose un aperçu des futures tâches d'exécution et de recherche qui se présenteront dans les domaines de la biologie et de la protection du sol.

Tableau 2 : Tâches d'application et de recherche actuelles et futures en biologie du sol.

- Définir des plages de référence pour des paramètres biologiques de base (biomasse microbienne et respiration du sol, populations lombriciennes), et les valider dans des programmes d'observation à long terme.
- Créer une banque de données de paramètres de biologie du sol.
- Remanier les « Directives pour l'estimation de la fertilité du sol » de 1991.
- Garantir la reproductibilité des mesures microbiologiques de laboratoire à l'aide de sols de référence et d'autres essais interlaboratoires (assurance qualité).
- Mener une étude bibliographique sur la fonction indicatrice des vers de terre, des microorganismes et d'autres organismes du sol lors d'atteintes chimiques et/ou physiques des sols.
- Vérifier l'adéquation de paramètres biologiques pour l'identification d'atteintes chimiques et physiques des sols.
- Organiser un laboratoire commun pour les analyses microbiologiques, les mesures du potentiel infectieux des mycorhizes, et les mesures physiques.
- Poursuivre les travaux de sensibilisation en tant que tâche d'exécution, et cela également dans des domaines apparentés, comme la protection de la nature et l'aménagement du territoire.
- Mettre en évidence les répercussions d'organismes pathogènes, étrangers à la station ou génétiquement modifiés et les moyens de les gérer.
- Contrôler l'impact d'organismes étrangers à la station, notamment sur les mycorhizes.
- Evaluer les effets à long terme de plantes génétiquement modifiées sur les organismes du sol.
- Suivre sur plusieurs années la variabilité temporelle et spatiale de différents organismes dans un sol non contaminé.
- Comparer en théorie et en pratique des schémas d'interprétation et d'évaluation de divers paramètres, espèces et groupes d'organismes.
- Développer et standardiser des méthodes simples et peu coûteuses de détermination de la diversité microbienne.
- Elaborer des directives sur le contrôle des résultats par des méthodes de biologie du sol lors d'assainissements et de remise en état de terrains.
- Etudier les corrélations entre l'état biologique, physique et chimique d'un sol.
- Effectuer des analyses microbiologiques et des relevés de mycorhizes et de vers de terre sur un même site.
- Sélectionner et standardiser d'autres méthodes microbiologiques.

Publications et projets suivis par le BSA

- Fließbach, A. et Mäder, P., 2004: Short- and long-term effects on soil microorganisms of two potato pesticide spraying sequences with either glufosinate or dinoseb as defoliant. *Biology and Fertility of Soils* 40: 268-276.
- Fry, P., 1994: Stand der Anwendung bodenbiologischer Methoden im Bodenschutz. *Bulletin BGS*. 18: 15-21.
- Fry, P., C. Maurer-Troxler und A. Enggist, 1994: Einsatz bodenbiologischer Methoden in der langfristigen Bodenbeobachtung. In: K. Alef, H. Fiedler und O. Hutzinger (Hrsg.), 1994: ECOINFORMA. 3. Fachtagung und Ausstellung für Umweltinformation und Umweltkommunikation. Bd. 5 (Umweltmonitoring und Bioindikation): 273-280. Wien.
- Fry, P., E. Laczko, N. Maire, C. Maurer-Troxler und K. Nowack, 1997: Vergleichbarkeit von bodenmikrobiologischen Messungen. Mikrobielle Biomasse (SIR, FEM, ATP), Basalatmung und Zelluloseabbau. Bodenschutzfachstellen der Kantone Aargau, Bern und Solothurn (Hrsg.). 46 S. Bezug: Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Entfelderstrasse 16, CH-5001 Aarau.
- Fry, P., E. Laczko, N. Maire, C. Maurer-Troxler, K. Nowack, unter Mitarbeit von W. Jäggi, P. Mäder und H.-R. Oberholzer, 1997: Vergleichbarkeit von bodenmikrobiologischen Messungen. Mikrobielle Biomasse (SIR, FEM, ATP), Basalatmung und Zelluloseabbau. Bodenschutzfachstellen der Kantone Aargau, Bern und Solothurn (Hrsg.). Bezug: Baudepartement, Abt. Umweltschutz, Buchenhof, 5001 Aarau.
- Galli, U., 1997: Der Einbezug von Methoden aus dem Bereich der Wurzelpilzymbiose zur Bodenbeurteilung. Literaturstudie im Auftrag der Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie, Groupe de projet Mycorrhizes. 43 S. Bezug: U. Galli, Beratender Biologe, Archstr. 70, 2540 Grenchen.
- Groupe de travail BSA/VBB, 1997: Présentation du Groupe de travail BSA/VBB.
- Groupe de travail BSA/VBB, 1998: Aperçu des projets en cours et des projets achevés depuis 1995 dans le domaine de la biologie du sol appliquée en Suisse. Situation au début 1998.
- Groupe de travail BSA/VBB, 2004: Biologie du sol. Le point sur la situation des tâches d'exécution et de recherche 2004.
- Heeb, J. et F. Vetter, 1995: Modèle pour la mise en valeur intégrée des relevés. OFEFP, Documents environnement n° 30. Berne.
- Hörler, H., 1998: Parcours éducatif « La nature au service des jardins ». Naturnah, Hinterer Schermen 29, 3063 Ittigen. Financé par la Confédération et les cantons.
- Mäder, P., K. Nowack und T. Alföldi, 1993: Literaturstudie zur Wahl der Methode für die Schätzung der mikrobiellen Biomasse im Boden sowie zur zeitlichen und räumlichen Variabilität der mikrobiellen Biomasse, der Bodenatmung, und des Zelluloseabbaus. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 5070 Frick. Baudepartement Kanton Aargau (Hrsg.), Abteilung Umweltschutz, 5001 Aarau.
- Nowack, K. und P. Mäder, 1995: Literaturstudie zur Empfindlichkeit der mikrobiellen Biomasse und der Bodenatmung auf die Schwermetalle Blei, Kupfer, Cadmium und Zink. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Oberwil, Auftrag und Bezug: Aargauisches Baudepartement, Abteilung Umweltschutz, Buchenhof, 5001 Aarau.
- Nowack, K. und P. Mäder, 1996: Stichprobenvarianz von bodenmikrobiologischen Kennwerten – eine Fallstudie im Hinblick auf die Entwicklung von Probenahmestrategien. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 81 381-384.
- Nowack, K. und P. Mäder, 1997: Temporal and spatial variability of soil microbial parameters strategies. In: *Proceedings of ECO-INFORMA'97*, October 6 - 9, 1997, Munich. Information and Communication in Environmental and Health Issues. Eco-Informa Press, D-95444 Bayreuth, Germany. S.259-264.
- Nowack, K. und P. Mäder, 1999: Abschlussbericht des Projektes „Einsatz bodenmikrobiologischer Methoden in der Landwirtschaft und im Bodenschutz“ zuhanden des BUWAL. Bezug: FiBL, Ackerstrasse, Postfach, 5070 Frick.
- Nowack, K. und P. Mäder, 1999: Methodenstandardisierung Dehydrogenaseaktivität und N-Mineralisierung. Teil des Abschlussberichts des Projektes „Einsatz bodenmikrobiologischer Methoden in der Landwirtschaft und im Bodenschutz“ zuhanden des BUWAL. Bezug: FiBL, Ackerstrasse, Postfach, 5070 Frick.
- Nowack, K., Bono R., Fry P., Muntwyler T, Maurer-Troxler C., von Rohr, G., Rüesch-Domenig, C., Krebs R., 1999: Biologie et protection du sol. Ed. Groupe de travail Biologie du sol BSA/VBB.
- Nowack, K., H.R. Oberholzer, P. Mäder, und E. Laczko, 1999: Banque de donnée pour les paramètres microbiologiques du sol – stratégie. BSA/VBB.
- Oberholzer H.R. et P. Mäder, 2003 : Qualité du sol en culture biologique et en production intégrée. *Les Cahiers de la FAL* (45).
- Oberholzer, H.-R. und H. Höper, 2000: Reference systems for the microbiological evaluation of soils. *Kongressband VDLUFA-Schriftenreihe* 55, Teil2: 19-34.
- Oberholzer, H.-R., J. Rek, P. Weisskopf und U. Walther, 1999: Evaluation of soil quality by means of microbiological parameters related to the characteristics of individual arable sites. *Agribiol. Res.* 52,2:113-125.
- OFEFP (éd.), 1997: Peuplements lombriciens des prairies permanentes du Plateau suisse. Rapport de synthèse. Valeurs de comparaison pour l'interprétation des prélèvements de vers de terre. Rapport de synthèse. *Cahiers de l'environnement* n° 291. Auteurs: Arbeitsgemeinschaft ökonsult (R. Stähli, E. Suter)/G. Cuendet.
- Rossier, N et Dessureault, J., 2004: Evolution des paramètres biologiques des sol agricoles fribourgeois. *Revue Suisse Agric.* 36 (2): 77-82.
- Scherr, C., Fließbach, A. und Mäder, P., 2000: Bodenbiologische Erfassung der Bodenfruchtbarkeit – Fallstudie an belasteten Standorten. Bericht zu Handen des BUWAL. Projektbegleitung: Arbeitsgruppe Vollzug BodenBiologie. FiBL, CH-5070 Frick. 56 S.
- Schmied, B., 1997: Einsatz bodenbiologischer Methoden in der Bodenüberwachung. Literaturstudie. 47 S. Auftrag und Bezug: Baudepartement des

Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Entfelderstrasse 16, CH-5001 Aarau.

Stations fédérales de recherche agronomique FAL
RAC FAW, 1996: Méthodes de référence des stations fédérales de recherches agronomiques. Vol 2. Commande: FAL, Reckenholzstrasse 191/211, 8046 Zurich.

Vetter, F., 1996: Regenwurmausstellung. Zentrum für angewandte Ökologie Schattweid. Finanziert durch Bund und Kantone.

3.2. Stratégie et méthodes recommandées pour l'évaluation des risques posés par les OGM ou d'autres atteintes biologiques à l'écosystème du sol.

Hans-Rudolf Oberholzer, Agroscope FAL Reckenholz, 8046 Zürich

E-mail: hansrudolf.oberholzer@fal.admin.ch

Paul Mäder, FiBL, 5070 Frick

E-mail: paul.maeder@fibl.ch

Au cours de la dernière décennie, d'importants efforts ont été investis dans le perfectionnement de méthodes biologiques destinées à l'évaluation de la fertilité des sols. Celles-ci n'ont toutefois pas été spécifiquement choisies pour l'indication d'atteintes biologiques, lesquelles comprennent, selon l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol), les organismes génétiquement modifiés (OGM) et les organismes pathogènes. Or, l'OSol vise à garantir une protection complète de la structure et de la biocénose du sol.

Dans le cadre du programme de recherche « La biosécurité dans le génie génétique appliqué au domaine non humain », l'OFEFP encourage des projets sur les thèmes suivants: « *Détection précoce d'effets à long terme non anticipés exercés par les OGM sur l'environnement* », « *Analyse de questions d'ordre éthique liées à l'évaluation du risque dans le domaine de la biotechnologie* », « *Risques encourus par l'écosystème du sol* » et « *Risques encourus par les organismes non ciblés* ». Le présent projet se rattache au domaine « *Risques encourus par l'écosystème du sol* ». D'une durée de deux ans et demi, il est mené en collaboration avec Agroscope FAL Reckenholz (H.-R. Oberholzer, directeur de projet, S. Scheid, F. Widmer, J. Mayer et O. Daniel) et l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (P. Mäder, A. Fliessbach, K. Nowack et B. Oehen).

Ce projet vise à développer une stratégie d'évaluation des risques présentés par les OGM et par d'autres atteintes biologiques. Il comprend l'évaluation de diverses méthodes d'appréciation

d'importantes fonctions biologiques du sol. Les méthodes les mieux adaptées aux différents scénarios seront proposées en vue d'une évaluation du risque d'atteintes biologiques, et testées à titre d'exemple dans des essais pilotes et sur le terrain. Sur cette base, des propositions seront formulées pour la mise en application de la stratégie d'évaluation.

La première partie du projet consiste en l'élaboration d'une stratégie d'évaluation du risque présenté par les OGM, les organismes exotiques et pathogènes.

Une redéfinition de la notion de fertilité du sol axée sur les fonctions biologiques de ce dernier sert de point de départ. On procède ensuite à une comparaison critique des stratégies d'évaluation existantes en Europe et à une évaluation des méthodes proposées, en rassemblant les résultats déjà publiés concernant l'impact direct et indirect d'OGM et d'autres atteintes biologiques sur les fonctions du sol. Ces étapes partielles servent à établir une stratégie d'évaluation.

Dans une deuxième partie expérimentale, la stratégie proposée est contrôlée par une étude de cas dans le cadre d'un projet à échelle réduite faisant appel à des organismes exotiques.

Des bactéries ou des souches de mycorhizes exotiques sont ajoutées à un sol provenant d'un champ, et donc vivant. Des plantes y sont cultivées sous serre en conteneurs. Comme pour l'essai au champ décrit ci-dessous, on utilise des microorganismes dits effectifs (ME) dans une procédure. Des sols non inoculés servent de témoin. On étudie ensuite la façon dont évoluent les paramètres biologiques sélectionnés dans la première partie de l'essai. Les critères d'évaluation des méthodes sont l'efficacité, la sensibilité et la variabilité.

Par ailleurs, la stratégie d'évaluation est contrôlée dans une deuxième étude de cas lors d'un essai sur le terrain faisant également appel à des microorganismes exotiques. On utilise comme infrastructure un essai lancé en 2003 et pour lequel des ME sont répandus depuis deux ans dans un champ. Ces organismes ont été développés au Japon et sont constitués notamment de bactéries et de levures, qui sont incorporées au sol avec différents excipients. Au total, 10 procédures menées en quatre répétitions sont à disposition pour l'essai au champ. Les sols témoins restent non inoculés. Dans la quatrième année d'essai, des échantillons de sol sont prélevés selon la stratégie développée, afin d'analyser les mêmes paramètres biologiques que dans l'essai pilote.

A l'issue de la partie expérimentale, la stratégie initiale d'évaluation des risques liés à l'introduction d'OGM et d'organismes exotiques et pathogènes sera actualisée sur la base des résultats obtenus. Les méthodes seront réévaluées, et on élaborera des propositions de valeurs de référence et de valeurs attendues pour l'évaluation du risque. Les résultats des différentes parties du projet seront publiés dans un rapport de synthèse.

Pour plus d'informations sur les projets du programme de recherche:

http://www.environment-suisse.ch/buwal/fr/fachgebiete/fg_biotechnologie/project/index.html

3.3. Plages de référence pour des paramètres de biologie du sol

*Claudia Maurer-Troxler,
SASP, service de la protection des sols du
canton de Berne
3052 Zollikofen*

E-mail: claudia.maurer@vol.be.ch

*Hans-Rudolf Oberholzer,
Agroscope FAL Reckenholz, 8046 Zurich*

E-mail: hansrudolf.oberholzer@fal.admin.ch

*Gaby von Rohr,
Amt für Umwelt/Fachstelle Bodenschutz, Kt.
Solothurn, 4509 Soleure*

E-mail: gaby.vonrohr@bd.so.ch

Les nombreux projets de recherche fondamentale et appliquée menés au cours des dix dernières années ont permis de développer une importante base de données sur des paramètres microbiologiques et faunistiques (voir ch. 3.1, p. 6). C'est pourquoi les membres du groupe de travail BSA sont en train d'établir une proposition de plages de référence pour la protection des sols dans le domaine de la biologie.

L'OSol contient des critères d'évaluation pour la procédure lors d'atteintes chimiques (valeurs indicatives, seuils d'investigation, valeurs d'assainissement) et d'érosion sur les terres assolées. S'agissant des compactions dommageables aux sols, le document n° 13 de la SSP renferme depuis peu des propositions pour la définition de seuils d'investigation et de valeurs indicatives en matière de compactions, avec des recommandations de méthodes d'analyse au champ et de laboratoire. L'objectif de notre

groupe est de formuler une proposition analogue dans le domaine de la biologie du sol.

Les paramètres biologiques sont des indicateurs de la qualité du sol qui sont capables de mettre en évidence de façon intégrée les modifications de la fertilité à court, à moyen et à long terme. Dans le domaine de la microbiologie, la détermination de la biomasse microbienne s'effectue principalement à l'aide des méthodes SIR et FE ; des essais comparatifs avec l'ATP sont en cours à Fribourg. La respiration du sol est un paramètre microbien d'une importance centrale pour les terres assolées et les prairies permanentes. S'agissant de l'appréciation des populations de vers de terre dans des prairies, des plages de référence des données sont déjà disponibles, et des prélèvements sont régulièrement effectués dans le canton de Berne.

Le document prévu renfermera une description précise des méthodes, de leurs domaines d'utilisation et, pour les paramètres biologiques, de leurs bases de calcul.

4. Forum

4.1. Effet d'antibiotiques sur la microflore du sol

*Andreas Fließbach,
FiBL, Ackerstrasse, CH-5070 Frick,
E-mail: andreas.fliessbach@fibl.org*

*Alexander Hauri,
Gratstrasse 4, 8143 Üetliberg
E-mail: alexander.hauri@bluewin.ch*

Depuis plus de 50 ans, les maladies bactériennes de l'homme et des animaux sont traitées avec succès au moyen d'antibiotiques (Mazel and Davies 2000). En général, on désigne par ce terme des substances antibactériennes qui perturbent la croissance ou des processus de synthèse spécifiques au sein de la cellule bactérienne (Davies 1997). Cependant, lors de l'utilisation d'antibiotiques, ceux-ci n'agissent pas seulement sur l'agent pathogène, mais aussi sur l'équilibre dynamique des microorganismes présents dans l'homme, les animaux et l'environnement. Des microorganismes sensibles sont freinés dans leur développement, voire éliminés, permettant à d'autres espèces tolérantes ou résistantes d'occuper les niches ainsi libérées et d'être donc avantagées en termes de sélection. Quelques espèces bactériennes présentent une insensibilité naturelle à certains antibiotiques. Ainsi, la pénicilline ne s'attaque qu'aux bactéries gram - positives, dont la paroi cellulaire possède une structure particulière. La résistance aux antibiotiques s'acquiert assez facilement : la plupart du temps, elle a déjà des répercussions cliniques quelques années seulement après la mise sur le marché d'un nouvel antibiotique (Mazel and Davies 2000). L'utilisation prophylactique et parfois massive des médicaments en médecine humaine et vétérinaire a favorisé une large extension des résistances aux antibiotiques (Berger et al. 1986; Mary et al. 2000; Smalla et al. 2000). La résistance est déterminée génétiquement, mais peut aussi avoir une localisation chromosomique sur des plasmides (Smalla et al. 1997). Souvent, les résistances à plusieurs antibiotiques sont transférées ensemble. Le transfert de la résistance s'observe également entre différentes espèces bactériennes. Par conséquent, la résistance aux antibiotiques est un problème non seulement clinique, mais aussi écologique.

La quantité totale d'antibiotiques utilisés en Suisse se répartit à part égale entre antibiotiques humaines et antibiotiques vétérinaires. En 1997, les 89 tonnes d'antibiotiques vendues en Suisse étaient constituées pour 40 % d'additifs aux aliments pour animaux et pour 18% d'anti-

biotiques vétérinaires, les 31% restants étant destinés à la médecine humaine (Alder 1999). Jusqu'à mi-1999, les antibiotiques étaient aussi utilisés comme substances antimicrobiennes de stimulation des performances (SPAM), qui avaient pour effet d'accélérer la croissance des animaux. Cette utilisation a été interdite depuis le 1.6.1999. La quantité d'antibiotiques délivrés sur ordonnance dans le secteur vétérinaire semble rester assez stable, contrairement à ce qui se passe en Suède. Si, dans le domaine humain, la plus grande partie des antibiotiques éliminés aboutissent dans les eaux usées et subissent ainsi une certaine purification avant de parvenir dans un cours d'eau récepteur, ceux rejetés par les animaux aboutissent assez directement dans l'environnement et dans le sol par l'intermédiaire du lisier, du fumier et de la litière.

De grands projets de recherche nationaux et internationaux sont consacrés au problème des antibiotiques dans l'environnement (Résistance aux antibiotiques PNR 49: <http://www.nrp49.ch>; ERAVMIS: <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/ecochemistry>; POSEIDON: <http://www.eu-poseidon.com>).

Plusieurs substances à effet antibiotique sont rendues inactives dans le corps et rejetées. De grandes quantités de substances encore ou à nouveau actives parviennent ainsi dans l'environnement. L'utilisation directe d'antibiotiques dans l'environnement, par exemple pour lutter contre des maladies bactériennes des plantes, est interdite en Suisse, mais elle est partiellement autorisée dans quelques autres pays européens.

L'impact environnemental des antibiotiques n'a pratiquement pas été étudié jusqu'au début des années 90. Mais à présent, l'augmentation des problèmes, notamment dans le domaine des thérapies, a entraîné une prise de conscience vis-à-vis du comportement environnemental des antibiotiques. L'impact de ces produits sur la biomasse microbienne, la respiration du sol, l'abondance de microorganismes résistants et les communautés microbiennes a fait l'objet d'une étude dans le cadre d'un travail de diplôme (Hauri 2000), dont quelques résultats sont présentés ci-dessous à titre d'exemple.

Pour cette étude, de la pénicilline et de la sulfadimidine ont été mélangés à très hautes doses avec du sol. Les dosages les plus bas correspondaient à peu près à la quantité qu'une vache traitée laisse localement sur le terrain après avoir uriné. L'effet de l'urine en soi n'a pas été étudié ici. La pénicilline inhibe la synthèse des parois cellulaires des bactéries gram⁺. Le mécanisme entraîne en général l'éclatement et la mort de la cellule. La résistance se base sur des enzymes de dégradation, les pénicillinases.

Rattachée aux sulfonamides, la sulfadimidine (sulfaméthazine) inhibe la synthèse d'acide folique chez les bactéries gram⁺ et gram⁻, dont elle freine ainsi le développement. La résistance résulte d'une détermination chromosomique, mais la sulfadimidine est aussi inactivée en

partie métaboliquement. Cette dernière est beaucoup utilisée dans l'engraissement intensif de porcs, alors que la pénicilline entre fréquemment dans le traitement du pis de vaches atteintes de mammite.

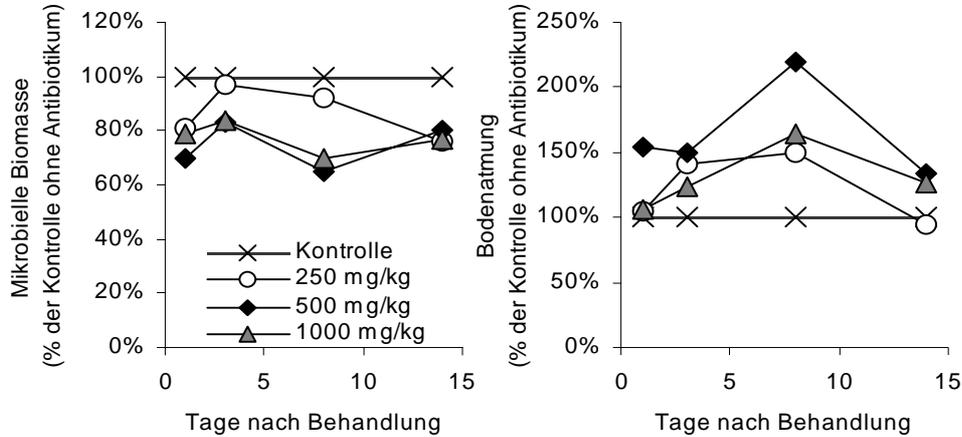


Fig. 3: Evolution temporelle de la respiration du sol et de la biomasse microbienne (en valeurs relatives par rapport au témoin non traité = 100%) après des apports de sulfadimidine.

Biomasse microbienne/% du témoin sans antibiotique/jours après le traitement - Respiration du sol/% du témoin sans antibiotiques/Jours après le traitement

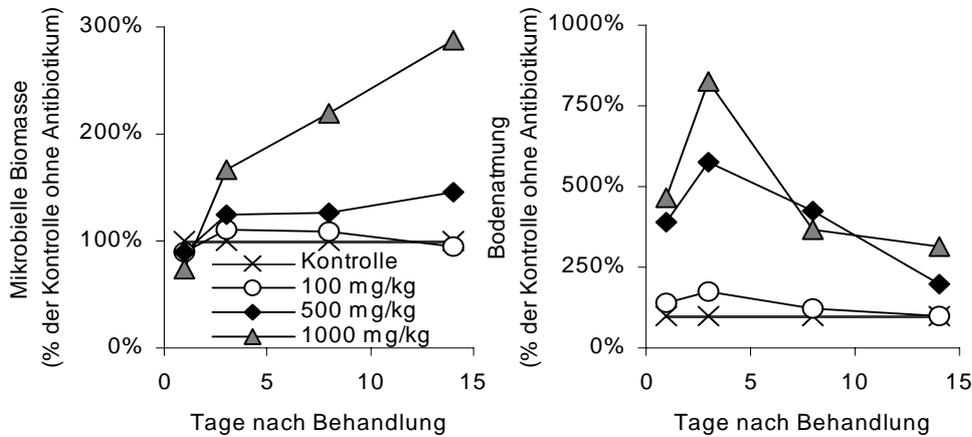


Fig. 4: Evolution temporelle de la respiration du sol et de la biomasse microbienne (en valeurs relatives par rapport au témoin non traité = 100%) après des apports de pénicilline.

Biomasse microbienne/% du témoin sans antibiotique/jours après le traitement - Respiration du sol/% du témoin sans antibiotiques/Jours après le traitement

Biomasse microbienne et respiration du sol

Après l'apport de sulfadimidine dans le sol, on observe à toutes les doses d'application une réduction de la biomasse microbienne de 20% en moyenne (fig. 3) par rapport au témoin non traité. La respiration du sol a augmenté de 40% en moyenne sur l'ensemble des doses et dates de mesure, puis elle a semblé redescendre à

son niveau de départ. En revanche, la biomasse microbienne n'a pas retrouvé son niveau initial.

La pénicilline a entraîné une réduction passagère et insignifiante de la biomasse microbienne, qui n'a été détectée que lors de la première date de mesure (fig. 4). Ensuite, on a observé une multiplication des microorganismes, celle-ci étant particulièrement intense en présence de doses élevées de pénicilline. 24 h après l'apport d'antibiotique, la respiration du sol

était déjà nettement plus élevée que le témoin (4 à 5 fois supérieure). Cela semble indiquer que la pénicilline elle-même, de même que les cellules tuées, pourraient servir de source de nourriture aux microorganismes. Le pic initial de la respiration du sol est suivi d'une longue descente, et il est vraisemblable qu'avec une période d'incubation plus longue que dans cette expérience, la courbe rejoindrait la valeur du témoin non traité. La biomasse microbienne n'était en voie de rétablissement qu'aux doses d'application les plus faibles, alors qu'aux doses élevées, elle continuait d'augmenter même après 14 jours d'incubation (fig. 4).

Nombre de germes et communautés microbiennes

La sulfadimidine et la pénicilline se distinguent par leurs modes d'action spécifiques. Nous avons extrait des bactéries dans les sols traités aux antibiotiques pour les élever dans un milieu d'agar additionné des mêmes antibiotiques.

Dans ce milieu, seules les bactéries tolérantes à l'antibiotique se sont développées, alors que dans l'agar sans antibiotique, nous avons relevé

le nombre total de bactéries. Les sols non traités aux antibiotiques ont servi de témoin. Cette expérience permet d'obtenir des informations sur l'apparition de nouvelles bactéries résistantes ou la multiplication de bactéries déjà résistantes dans le sol.

On a constaté que l'apport de sulfadimidine dans le sol n'entraînait aucune modification du nombre de germes (CFU: colony forming units). Dans les sols traités à la pénicilline en revanche, les bactéries se sont fortement multipliées, et le nombre de bactéries tolérantes à la pénicilline a augmenté fortement lui aussi.

Le test de dégradation du substrat établi au moyen de Biolog ecoplates (Biolog Inc, Hayward, Cal. US) a montré que les communautés microbiennes avaient subi des modifications sensibles consécutives à l'apport d'antibiotiques, et cela indépendamment du fait que le sol soit très fertile (activité biologique intense) ou peu fertile.

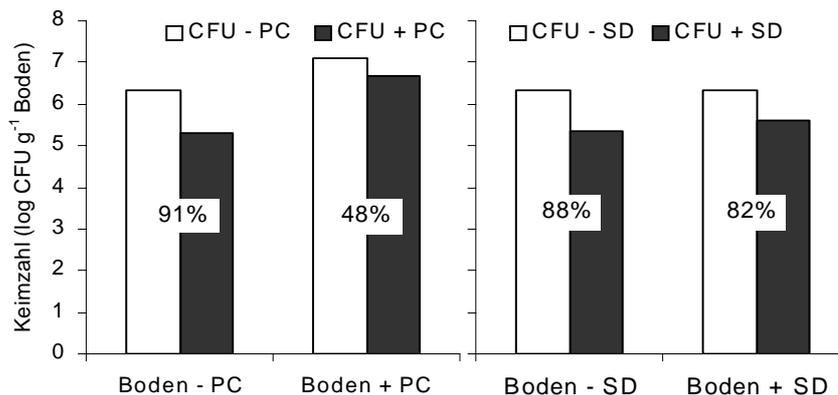


Fig. 5: Nombre de germes (CFU: colony forming units) issus de sols avec et sans apport d'antibiotique qui se sont développés sur un milieu de culture avec (100 mg/l) et sans pénicilline (PC) ou sulfadimidine (SD).

Nombre de germes log CFU g⁻¹ sol

Conclusions

La pénicilline a stimulé la respiration du sol, la biomasse microbienne et la multiplication de microorganismes (tolérants). La sulfadimidine a entraîné une légère augmentation de la respiration du sol. La biomasse microbienne a diminué sans avoir d'influence sur le nombre de bactéries tolérantes. Les deux antibiotiques ont entraîné une modification du spectre d'utilisation du substrat, signe d'une modification de la composition des espèces. La pénicilline tue des bactéries sensibles. Les bactéries mortes et le contenu de leurs cellules servent ensuite de source de nourriture aux autres organismes du sol. Les résultats montrent qu'utilisés à hautes doses, les antibiotiques peuvent provoquer des

effets importants et aigus sur la biologie du sol, mais que ceux-ci sont réversibles, en tout cas en ce qui concerne la biomasse microbienne et la respiration du sol. S'agissant de l'augmentation des bactéries résistantes, il faut tenir compte du fait que le sol d'origine renfermait déjà des bactéries résistantes, que les antibiotiques ont été utilisés à des concentrations très élevées et, selon notre scénario, sur des surfaces très réduites. Il faudrait donc mener d'autres expériences pour déterminer l'effet combiné des antibiotiques et de l'urine sur les organismes du sol et pour savoir comment interpréter sur le plan écotoxicologique l'augmentation de germes résistants aux antibiotiques.

Comportement environnemental des sulfonamides employés dans la médecine vétérinaire

Christian Stamm,

Eawag, CH-8600 Dübendorf

Les effets et le comportement des antibiotiques dans l'environnement sont encore peu étudiés (voir encadré ci-dessous), et on ne dispose pratiquement d'aucune information sur leurs effets chroniques. Face à l'utilisation massive d'antibiotiques dans l'élevage et la médecine humaine, il importe d'une part d'intensifier les recherches sur les risques, et d'autre part de veiller à une utilisation parcimonieuse et ciblée de ces substances très efficaces.

Si nos connaissances sur l'impact environnemental des antibiotiques vétérinaires sont limitées, c'est notamment parce que le devenir de ces substances a été relativement peu étudié jusqu'ici. C'est la raison pour laquelle l'IFAPE, dans le cadre du PNR 49 sur les résistances aux antibiotiques, mène des recherches sur le comportement environnemental des sulfonamides utilisés dans le domaine vétérinaire. On a en effet constaté qu'après des épandages habituels de lisier, les concentrations de sulfonamide dans le sol pouvaient dépasser la valeur seuil qui demanderait une évaluation approfondie lors d'une nouvelle homologation. Ces concentrations de plus de 100 µg/kg sont encore décelables plusieurs semaines après l'application (Stettler, 2004). Pour étudier la façon dont ces substances sont absorbées dans le sol et jusqu'à quel point elles sont biodisponibles, deux projets partiels sont en cours.

Des expériences menées au niveau de la parcelle d'essai ou du champ ont montré que la sulfonamide contenue dans le lisier ne restait pas seulement dans le sol, mais pouvait aussi être lessivée et parvenir dans les eaux (Burkhardt et al., en cours d'impression ; Stoob et al., 2005). Toutefois, les concentrations dans les eaux de surface et les eaux souterraines semblent très en-dessous de celles relevées dans la couche supérieure du sol. En l'état actuel des connaissances, il faut donc s'attendre à ce que l'impact sur les microorganismes se fasse surtout ressentir dans le lisier lui-même et dans la couche supérieure du sol. Cela étant, il faut tenir compte du fait que lors d'épandages de lisier, ce ne sont pas seulement des antibiotiques, mais aussi des bactéries résistantes que l'on introduit directement dans l'environnement. D'un autre côté, les données dont on dispose semblent montrer que les gènes responsables des résistances soient aussi présents dans les sols non contaminés (Stoob et al., 2005). Il subsiste donc encore d'importantes lacunes de connaissances qui font obstacle à une évaluation définitive du risque.

Burkhardt, M., Stamm, C., Waul, C., Singer, H., Müller, S. accepted: Surface Runoff and Transport of Sulfonamide Antibiotics and Tracers on Manured Grassland, *Journal of Environmental Quality*.

Stettler, S. 2004: Extrahierbarkeit und Transportverfügbarkeit von Sulfonamiden in Grünlandböden nach Gülle-Applikation. Diplomarbeit, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.

Stoob, K., Schmitt, H., Wanner, M. 2005: Antibiotikaeinsatz in der Landwirtschaft – Folgen für die Umwelt. *EAWAG news* 59: 12-15.

Littérature:

Alder, A.C. 1999: Pharmazeutika in der aquatischen Umwelt. In: S. Müller (Hrsg.) Veterinärpharmaka: Relevanz für die Umwelt?. Bern

Berger, K., Petersen, B. und Büning-Pfaue, H. 1986: Persistenz von Gülle-Arzneistoffen in der Nahrungskette. *Archiv für Lebensmittelhygiene* 37: 99-102.

Davies, J.E. 1997: Origins, acquisition and dissemination of antibiotic resistance determinants. In: D.J. Chadwick, J. Goode (Hrsg.) Antibiotic resistance: origins, evolution, selection and spread. (CIBA Foundation symposium, 207) pp 15-35. Wiley, Chichester.

Hauri, A. 2000: Auswirkungen von Antibiotika aus der Tierhaltung auf die Bodenmikroorganismen. In: Departement Umweltwissenschaften in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für biologischen Landbau. pp 94. Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.

Mary, P., Defives, C. und Hornez, J.P. 2000: Occurrence and multiple antibiotic resistance profiles of non-fermentative gram-negative microflora in five brands of non-carbonated french bottled spring water. *Microbial Ecology* 39: 322-329.

Mazel, D. und Davies, J. 2000: Antibiotics, present and future. In: C.R. Bell, M. Brylinski und P. Johnsons-Green (Hrsg.) *Microbial Biosystems: New Frontiers - 8th International Symposium of Microbial Ecology*, Halifax, Canada, 9.-14.08.1998.

Smalla, K., Gebhard, F. und Heuer, H. 2000: Antibiotika-Resistenzgene als Marker in gentechnisch veränderten Pflanzen - Gefahr durch horizontalen Gentransfer? *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst* 52: 62-68.

Smalla, K., Wellington, E. und van Elsas, J.D. 1997: Natural Background of Bacterial Antibiotic Resistance Genes in the Environment. In: A. Holck (Hrsg.) *Nordic Seminar on Antibiotic Resistance Marker Genes and Transgenic Plants*. Oslo, 12.-13.6.1997.