

## NABObio12\_13

### Résultats de la phase pilote 2012 et 2013

#### Auteurs

Anna-Sofia Hug, Andreas Gubler, Franco Widmer,  
Beat Frey, Hansrudolf Oberholzer et Reto Giulio Meuli

### Collaboration

Prélèvement d'échantillons et laboratoire NABO, Agroscope:  
Peter Schwab, Ramon Zimmermann

Laboratoire de microbiologie, Agroscope:  
Susanne Müller, Andrea Bonvicini

Laboratoire d'écologie moléculaire, Agroscope:  
Stephanie Pfister

Laboratoire de microbiologie et de biologie moléculaire, WSL:  
Beat Stierli

## Impressum

Éditeur:	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich <a href="http://www.agroscope.ch">www.agroscope.ch</a>
Renseignements:	Anna-Sofia Hug e-mail: <a href="mailto:anna.hug@agroscope.admin.ch">anna.hug@agroscope.admin.ch</a>
Traduction :	Regula Wolz, Anna-Sofia Hug, Lucie Greiner, Agroscope
Download:	<a href="http://www.agroscope.ch/science/fr">www.agroscope.ch/science/fr</a>
Copyright:	© Agroscope 2015
ISSN:	2296-729X
ISBN:	978-3-906804-08-8

# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>6</b>
1.1 Situation initiale .....	6
1.2 Le projet NABObio12_13.....	6
<b>2 Matériel et méthodes</b> .....	<b>7</b>
2.1 Choix des sites .....	7
2.2 Prélèvement d'échantillons.....	8
2.3 Paramètres et méthodes de détermination.....	9
2.4 Référencement des valeurs mesurées .....	10
<b>3 Résultats et discussion</b> .....	<b>11</b>
3.1 Paramètres annexes .....	11
3.1.1 Densité apparente et teneur en eau (terre fine).....	11
3.1.2 Teneur en $C_{tot}$ et en $N_{tot}$ .....	13
3.1.3 Conclusion sur les paramètres annexes.....	14
3.2 Paramètres microbiologiques et biomoléculaires .....	14
3.2.1 Respiration basale.....	14
3.2.2 Biomasses-Carbone (SIR).....	15
3.2.3 Biomasses-Carbone (FE).....	16
3.2.4 Quantité d'ADN.....	17
3.2.5 Conclusions sur les paramètres microbiologiques et biomoléculaires.....	19
3.3 Comparabilité des méthodes de mesure .....	19
3.3.1 Conclusion sur la comparabilité des méthodes de mesure .....	20
3.4 Echantillons de référence .....	20
3.4.1 Conclusion référencement.....	21
<b>4 Perspective</b> .....	<b>22</b>
4.1 Poursuite des séries de mesures .....	22
4.2 Référencement.....	22
4.3 Evaluation statistique.....	22
4.4 Sélection / Réduction des valeurs de mesures.....	22
4.5 Séquençage .....	22
4.6 Etudes complémentaires: projet partenaire PNR68 - nématodes.....	23
<b>5 Références</b> .....	<b>24</b>
5.1 Bibliographie.....	24
5.2 Liste des figures .....	25
5.3 Liste des tableaux.....	25
<b>Annexe</b> .....	<b>26</b>

## Résumé

Le mandat légal de surveillance du sol à long terme a été étendu suite au remplacement de l'ordonnance sur les polluants du sol (OSol, 1986) par l'ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol, 1998) – il ne se concentre plus uniquement sur les atteintes chimiques portées au sol, mais aussi sur les atteintes physiques et biologiques. Par ses différentes fonctions, le sol est un élément central dans un écosystème intact. La plupart de ces fonctions ou services écosystémiques, comme la fixation biologique de l'azote, la décomposition du matériel organique ou la filtration des eaux souterraines, sont en rapport direct avec les organismes vivant dans le sol. Afin de mieux comprendre l'interaction de ces fonctions avec les organismes du sol, il est du plus grand intérêt pour l'Observatoire national des sols (NABO) d'intégrer les paramètres biologiques du sol dans la routine de son programme de mesures. Par ailleurs, les organismes vivant dans le sol réagissent de manière très sensible aux variations de leur environnement et peuvent témoigner très tôt de changements préjudiciables dans le système sol. L'art. 2a de l'OSol donne au NABO mandat pour se prononcer sur les biocénoses typiques du site (OSol, 1998). En outre, la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS) demande que «d'ici à 2020, la surveillance de l'évolution des écosystèmes, des espèces et de la diversité génétique soit assurée» (Objectif stratégique 10; OFEV, 2012).

Sur la base des résultats des études concernant la biologie du sol déjà effectuées par le NABO et des directives nationales et internationales, le projet pilote NABObio12\_13 a été lancé au printemps 2012. Le projet prévoyait de mesurer la biomasse microbienne déterminée avec les méthodes de „respiration induite par le substrat“ (SIR) et d'„extraction par fumigation au chloroforme“ (FE), la respiration du sol (respiration basale) ainsi que la quantité d'ADN (biomasse biomoléculaire) par prélèvement d'échantillons composés (0-20 cm) sur 30 sites du réseau de référence NABO en 2012 et 2013. Pour interpréter ces valeurs de mesures, des paramètres annexes importants comme la densité apparente de terre fine, le pH et la teneur en C/N ont également été déterminés. NABObio12\_13 marque le point de départ d'une période d'observation de paramètres biologiques du sol au NABO. Ce rapport présente et explique les résultats des années de relevés 2012 et 2013. La partie *Perspective* expose les futures étapes nécessaires pour que le NABO puisse remplir le mandat défini dans l'OSol (Art. 2a; OSol, 1998) et la Stratégie Biodiversité Suisse (Objectif stratégique 10; OFEV, 2012).

Les résultats montrent que les sites de grandes cultures ont tendance à avoir des valeurs biologiques du sol plus basses que les herbages et les sites forestiers. La profondeur de prélèvement étant la même (0-20 cm) et les méthodes de mesures identiques, les valeurs des sites de grandes cultures peuvent être comparées à celles de *Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter der VBB* (VBB, 2009) et d'autres études (Oberholzer et al. 2007; Fliessbach et al. 2007; Zihlmann et al. 2012) et sont donc plausibles. Les rapports entre tous les paramètres relevés ont été étudiés à l'aide d'une analyse de corrélation (Spearman). Des coefficients de corrélation significatifs ( $p > 0.01$ ) ont d'ailleurs été mis en évidence entre tous les paramètres enregistrés à l'exception du pH. Les coefficients de corrélation relativement élevés (de 0.65 à 0.85) qu'affichent les paramètres globaux des biomasses microbiologiques et biomoléculaires, indiquent des redondances entre ces informations sur les propriétés biologiques du sol. Les valeurs de mesures des échantillons de référence sont stables et les écarts constatés par rapport aux mesures initiales se situent dans la plage de dispersion prévisible. Le fait que les valeurs des échantillons de référence correspondent bien permet de conclure que le système de mesures était stable en 2012 et 2013. On part de l'hypothèse que les valeurs mesurées dans les sites des herbages et de grandes cultures fraîchement récoltés n'ont pas été influencées par le système de mesures.

Avec la prolongation de la période d'observation, la variété des caractéristiques biologiques «naturelles» des sols (*base lines* ou *target ranges*) et les biocénoses typiques du site pourront être définies plus précisément. Selon l'étude LAZBO, il faut au moins six ans avant de pouvoir évaluer si les variations des paramètres constatées jusqu'à présent sont dues à l'environnement (Schwab et al. 2006). De plus, des

évaluations statistiques multivariées sont nécessaires pour mieux expliquer les rapports entre les propriétés des sites, les paramètres annexes et les valeurs microbiologiques, mais aussi mésobiologiques<sup>1</sup>. L'explication doit également intégrer des données sur le climat et les éléments nutritifs.

Du fait des coefficients de corrélation élevés (de 0.65 à 0.85) entre les biomasses microbiologique et biomoléculaire (quantité d'ADN), le nombre de ces paramètres globaux pourrait éventuellement être réduit. Avant de supprimer des paramètres, on doit cependant considérer qu'il est nécessaire de relever le plus de données possible pour pouvoir comprendre les processus à l'œuvre dans le sol. Après étude de la littérature spécialisée, la méthode de fumigation-extraction est celle qui domine parmi les méthodes de mesure de la biomasse microbienne. S'il fallait opter pour l'utilisation d'une seule méthode classique pour mesurer la biomasse microbienne (SIR ou FE), il faudrait donc, pour des raisons de comparabilité avec les autres études (internationales), privilégier la méthode de fumigation-extraction. Les valeurs de mesures ne peuvent être comparées avec celles d'autres études que si les profondeurs de prélèvement et les méthodes d'analyses employées sont les mêmes. Le but est d'obtenir et de développer un alignement national et international, voire une standardisation des méthodes. L'utilisation des échantillons de référence spécifique au site et surtout la mesure simultanée devrait être maintenue dans un premier temps. Des mesures de références sont également nécessaires sur les échantillons pour les quantités d'ADN (tous les sites) et la respiration basale des sites forestiers.

Les moyennes des quantités d'ADN par site montrent des variations plus importantes que les autres paramètres microbiologiques d'une année de relevé à l'autre. Cependant, pour les quantités d'ADN aussi, le même schéma lié au mode d'utilisation des sites s'est reproduit les deux années. Les quantités d'ADN des herbages présentent notamment des concordances relativement bonnes entre les années. Ces mesures biomoléculaires sont le point de départ pour que le NABO puisse étudier la diversité des organismes du sol et leurs fonctions à l'aide des analyses de génétique moléculaire. A moyen terme, le NABO pourrait ainsi contribuer à «surveiller l'évolution des écosystèmes, des espèces et la diversité génétique ...» (Objectif stratégique 10 de la Stratégie Biodiversité Suisse). Fin 2014, l'Office fédéral de l'environnement a approuvé un projet dans le cadre duquel les extraits d'ADN de 2012 et 2013 seront séquencés. Ces analyses d'ADN permettront de déterminer la composition des communautés bactériennes et fongiques des 30 sites NABO et de tirer des conclusions sur les biocénoses typiques du site.

---

<sup>1</sup> Au printemps 2014, dans le cadre du projet PNR68, les biocénoses des nématodes entomopathogènes (EPN) ont été déterminées sur les 30 sites du réseau de référence NABO. Un objectif prioritaire de ce travail est d'identifier les référentiels (*base lines*) des paramètres typiques des sites ayant des modes d'utilisation agricole différents.

# 1 Introduction

## 1.1 Situation initiale

Depuis 1984, les Offices fédéraux de l'environnement (OFEV) et de l'agriculture (OFAG) gèrent conjointement l'Observatoire national des sols (NABO). Ce dernier est basé sur la loi sur la protection de l'environnement (LPE, 1983) et l'ordonnance sur les polluants du sol (OSol, 1986) qui était alors encore en vigueur. Actuellement, la contamination des sols en polluants organiques et anorganiques fait l'objet d'une surveillance sur plus de 100 sites de référence du réseau NABO dans le cadre de cycles de relevés quinquennaux. Après le remplacement de l'OSol (1986) par l'ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol, 1998), qui tient compte non seulement des atteintes chimiques portées au sol, mais aussi des atteintes physiques et biologiques, le mandat légal du monitoring des sols a été étendu.

De nombreuses fonctions du sol importantes pour l'homme, comme la décomposition du matériel organique, la fixation de l'azote ou la filtration des eaux souterraines, dépendent notamment des organismes vivant dans le sol. Le fait que les organismes du sol soient les principaux responsables de nombreux processus qui ont lieu dans le sol est aujourd'hui indéniable (Francaviglia, 2008). Or, ces organismes réagissent de manière très sensible aux variations de leur environnement. Afin de reconnaître assez tôt les changements préjudiciables dans le système sol, il est très important pour l'Observatoire national des sols (NABO) d'intégrer les paramètres biologiques du sol dans la routine de son programme de mesures. L'art. 2a de l'OSol donne au NABO mandat pour se prononcer sur les biocénoses typiques du site (OSol, 1998). En outre, la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS) demande que «d'ici à 2020, la surveillance de l'évolution des écosystèmes, des espèces et de la diversité génétique soit assurée.» (Objectif stratégique 10; OFEV, 2012).

## 1.2 Le projet NABObio12\_13

Sur la base des résultats tirés du projet LAZBObio et de l'état des lieux de 2004 et 2005 (Oberholzer et al. 2007), on a commencé en 2012 à relever les propriétés microbiologiques et biomoléculaires sur 30 sites sélectionnés du réseau de référence NABO: biomasse microbienne (BM), déterminée par les méthodes de «respiration induite par le substrat» (SIR) et de «fumigation-extraction au chloroforme (FE), respiration basale, quantité d'ADN ainsi que d'importants paramètres annexes comme le pH, le rapport C/N, la température du sol et la densité apparente de terre fine. Dans la nouvelle série de mesures, les méthodes de détermination microbiologiques classiques de la biomasse microbienne et de la respiration basale sont complétées par des méthodes d'analyse venant d'un domaine en pleine évolution, la génétique moléculaire. Dans le cadre du projet NABObio12\_13, il s'agit de se prononcer sur l'état des propriétés biologiques du sol sur les sites sélectionnés du réseau de référence du NABO ainsi que d'étudier et de définir les critères méthodologiques nécessaires pour une observation à long terme. NABObio12\_13 est le point de départ d'une période d'observation de paramètres biologiques du sol au NABO. Le projet est réalisé en collaboration avec F. Widmer (Groupe Ecologie moléculaire) et H.R. Oberholzer (Groupe Fertilité / Protection du sol) Agroscope et B. Frey (Groupe Processus des rhizosphères) de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL (tab. 2).

Ce rapport présente et explique les résultats des années de relevés 2012 et 2013. Dans la mesure du possible, les valeurs de mesures sont comparées à celles d'autres études. La partie Perspectives expose les futures étapes nécessaires pour que le NABO puisse remplir le mandat défini dans l'OSol (OSol, 1998) et la Stratégie Biodiversité Suisse (OFEV, 2012).

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Choix des sites

Les études ont eu lieu sur dix sites de grandes cultures, dix sites d'herbages et dix sites forestiers du réseau de référence NABO (fig. 1). Les sites de grandes cultures et les sites d'herbages peuvent être répartis en sites intensifs et extensifs en fonction de leur intensité d'exploitation (sites d'herbages: altitude, nombre d'épandages de lisier ou de fumier; sites de grandes cultures: rotation à dominante de maïs, pommes de terre, betteraves sucrières ou céréales). Parmi les sites forestiers sélectionnés, on distingue les types de forêts à base de feuillus, de conifères ou d'un mélange des deux (cf. tab. 2). Afin d'avoir la meilleure base de données possible pour l'interprétation des résultats et de pouvoir également procéder à des évaluations à multiples variables, on a veillé à ce que les sites de grandes cultures et d'herbages sélectionnés fassent si possible également partie du programme NABO-Flux. Tous les sites forestiers sélectionnés sont également des sites du projet Nitrate-Leaching (Waldner et al. 2010). Deux tiers des sites forestiers se situent à proximité de surfaces LWF<sup>2</sup>.

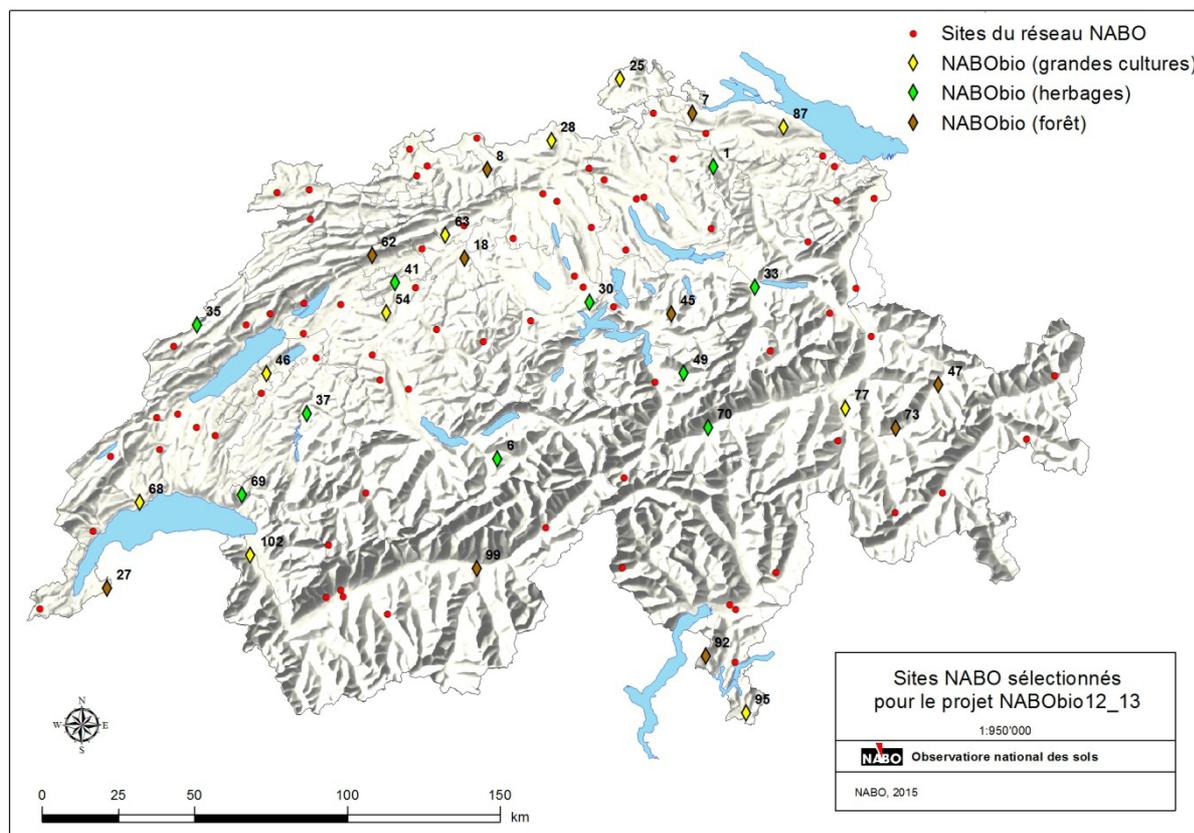


Fig. 1: Sites sélectionnés du réseau de référence NABO pour le projet NABObio12\_13 (présentés sous forme de losanges)

<sup>2</sup> Recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers LWF.

Tableau 1: Propriétés des sols et catégorie d'utilisation des sites du réseau de référence NABO étudiés

Utilisation	Site NABO	Altitude en m	Utilisation: intensive / extensive	Type de sol (selon FAL)	Paramètres du sol 0 - 20cm							
					pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> <sup>a</sup> %	C <sub>org</sub> <sup>b</sup> %	Argile %	Limon %	MV TF <sup>c</sup> g/cm <sup>3</sup>	Pierrosité Vol.%	
Grandes cultures	25 Schleithem / Milten	SH	545	I	Terre brune	6.8	2.8	2.4	59	30	0.9	1.0
	46 Vallon	FR	439	I	Terre brune-Gley	6.8	10.2	2.8	43	46	1.1	0.0
	54 Zuzwil	BE	557	I	Terre brune	6.0	0.0	1.3	12	35	1.4	3.4
	95 Coldrerio	TI	336	I	Terre brune	5.8	0.0	1.7	21	38	1.2	4.9
	102 Vouvy	VS	379	I	Fluvisol	6.5	8.5	1.3	6	60	1.1	0.6
	28 Leuggern / Etwil	AG	465	E	Terre brune-Pseudogley	5.3	0.1	1.8	14	34	1.2	3.1
	63 Oensingen	SO	450	E	Terre brune-Pseudogley	5.4	0.0	2.0	36	45	1.1	0.0
	68 Etoy	VD	435	E	Terre brune	5.3	0.0	1.4	19	45	1.3	2.0
	77 Paspels	GR	830	E	Phaeozème	6.1	0.0	2.6	18	51	1.0	4.8
87 Klarsreuti	TG	559	E	Terre brune	5.2	0.0	1.7	24	44	1.1	3.7	
Herbages	1 Aadorf / Tänikon	TG	537	I	Terre brune	6.2	0.9	3.9	35	34	1.0	2.6
	30 Ebikon / Dottenberg	LU	635	I	Terre brune acide	5.0	0.1	2.8	20	33	1.0	2.3
	33 Mollis	GL	431	I	Fahlgley	5.9	0.0	3.8	33	55	0.8	0.2
	35 Le Cerneux-Péquignot	NE	1093	I	Terre brune	5.6	0.0	3.5	28	49	1.0	0.0
	69 Attalens / Rombuet	FR	818	I	Terre brune	5.8	0.0	3.3	26	37	0.9	5.9
	6 Grindelwald / Itramen	BE	1915	E	Podzol brun	3.9	0.0	6.5	25	50	0.7	0.0
	37 Ependes	FR	735	E	Terre brune	5.9	0.0	2.7	19	35	1.1	1.7
	41 Kyburg-Buchegg	SO	464	E	Terre brune-Gley	4.9	0.0	2.4	24	34	1.1	0.0
	49 Unterschächen	UR	1100	E	Terre brune	4.6	0.0	5.7	33	27	0.8	4.1
	70 Disentis	GR	1105	E	Terre brune	5.5	0.0	3.6	13	37	0.9	11.3
Forêt de feuillus	8 Rothenfluh	BL	695		Rendzines	6.6	2.0	4.9	14	72	0.6	5.1
	27 Jussy / Les Grands Bois	GE	505		Pseudogley	4.4	0.0	2.7	24	51	1.0	1.0
	62 Bettlach / Bettlachstock	SO	1065		Terre brune	5.4	0.2	3.7	31	52	0.8	0.0
	92 Novaggio / Cima Pianca	TI	1080		Podzol ferro-humique	3.9	0.0	11.7	n.d.	n.d.	0.4	8.7
Forêt mixte	7 Oberstammheim	ZH	581		Terre brune	5.1	0.0	2.9	28	35	0.9	4.0
	18 Langenthal / Riedhof	BE	525		Terre parabrune	3.7	0.0	4.1	19	52	0.9	0.0
Forêt de conifères	45 Alpthal / Erlentobel	SZ	1180		Fahlgley	5.8	0.0	13.1	n.d.	n.d.	0.2	0.0
	47 Davos / Seehornwald	GR	1655		Podzol ferro-humique	3.3	0.0	18.6	n.d.	n.d.	0.3	5.0
	73 Alvaneu	GR	1560		Régosol	4.9	0.0	5.0	21	22	0.7	11.2
	99 Visp / Albulawald	VS	830		Terre brune	5.5	0.0	5.1	12	45	0.6	3.7

<sup>a</sup>CaCO<sub>3</sub> = calcaire<sup>b</sup>C<sub>org</sub> = carbone organique<sup>c</sup>MV FE = densité apparente de terre fine, déterminée parallèlement à la pierrosité dans le cinquième relevé NABO (Gubler et al. en préparation).

n.d. = non déterminé

## 2.2 Prélèvement d'échantillons

Le prélèvement, le traitement et le stockage des échantillons s'effectuent selon les méthodes de référence des stations fédérales de recherche (FAL, FAW, RAC, 1998). Pour adapter les conditions aux exigences du projet NABObio12\_13, les points suivants ont été modifiés:

- Afin de protéger les surfaces d'observation à long terme des sites du réseau de référence NABO d'une perturbation intensive, les échantillons destinés à l'étude de la biologie du sol ont été prélevés sur une surface directement adjacente à la surface régulière du réseau de référence NABO. La surface mesure également 10 x 10 m (fig. 2).
- Nombre d'échantillons: 3 échantillons composés comprenant 25 carottes par site (prélevés à l'aide d'une tarière à carottes, 2,5 cm Ø). Cette procédure prend appui sur des études internationales qui recommandent au moins 15 carottes pour un échantillon composé (Lischer et al. 2001, Wagner et al. 2001). Lors du premier relevé au printemps 2012, un quatrième échantillon composé a été prélevé dans le quatrième coin de chaque carré à titre d'échantillon témoin (marqué en rouge dans la figure 2).
- Profondeurs de prélèvement: 0-20 cm pour les sites d'herbages, de grandes cultures et les sites forestiers.
- Si possible, les échantillons doivent être prélevés aux périodes suivantes (FAL, FAW, RAC, 1998):
  - au printemps lorsque les sols ont dégelé et ne sont plus saturés en eau,
  - avant que les sols ne commencent à se réchauffer (date variable selon l'altitude),
  - avant le début de la végétation et la première fumure,
  - avant le travail du sol ou le pâturage.

- Pour déterminer la densité apparente de la terre fine ainsi que sa teneur en eau, des échantillons volumétriques (échantillons cylindriques, 0-20 cm) sont prélevés dans les 4 coins de la surface au 4ème quadrant à l'aide de la sonde Humax ( $\varnothing$  4.8 cm).

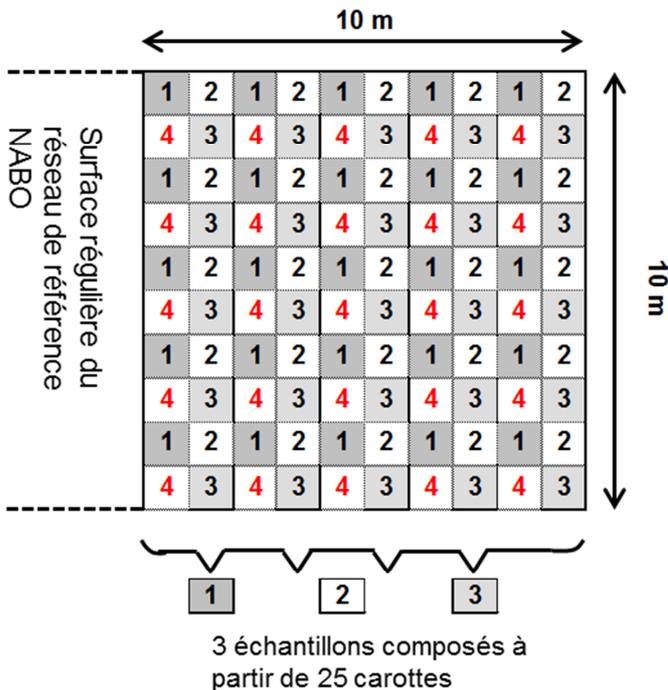


Fig. 2: Schéma de prélèvement des échantillons composés pour NABObio12\_13. Les échantillons des carrés 1 à 3 fournissent les échantillons composés. L'échantillon du carré 4 est utilisé comme échantillon de référence.

### 2.3 Paramètres et méthodes de détermination

Sur la base des résultats du projet LAZBO (Schwab et al. 2006) et le projet *Bodenmikrobiologische Kennwerte* (Oberholzer et al. 2007) et des recommandations du groupe de travail intercantonal sur l'application de la biologie du sol (VBB, 2009), des paramètres microbiens classiques ont été déterminés, comme la biomasse microbienne (SIR et FE) et la respiration basale. Ces paramètres ont été complétés par des analyses de génétique moléculaire (quantité d'ADN). Enfin, des paramètres annexes importants comme le pH, le rapport C/N et la densité apparente de terre fine ont également été mesurés. Les paramètres sont déterminés selon les méthodes de référence des stations de recherche agronomique (FAL, FAW, RAC, 1998), la quantité d'ADN selon la méthode PicoGreen (tab. 2).

Tableau 2: Paramètres enregistrés et méthodes de détermination

Paramètre	Désignation	Unité	Méthode
<b>Biomasse microbienne</b> <sup>1</sup> Respiration induite par le substrat	Biomasse (SIR)	mg C <sub>mic</sub> kg <sup>-1</sup> MS	B-BM-HM
<b>Biomasse microbienne</b> <sup>1,3</sup> Méthode de fumigation-extraction au chloroforme	Biomasse (FE)	mg C <sub>mic</sub> kg <sup>-1</sup> MS	B-BM-FE
<b>Respiration basale</b> <sup>1,3</sup>	Respiration basale (RB)	mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> TS h <sup>-1</sup>	B-RB-IS
<b>Quantité d'ADN</b> <sup>2,3</sup>	Quantité d'ADN	mg ADN kg <sup>-1</sup> TS	PicoGreen
<b>pH</b> <sup>4</sup>	pH		pH CaCl <sub>2</sub>
<b>Rapport C/N</b> <sup>4</sup>	C/N		Détermination des cendres à sec
<b>Masse volumique de la terre fine</b> <sup>4</sup>	MV TF	g cm <sup>-3</sup>	
<b>Teneur en eau de la terre fine</b> <sup>4</sup>	TE TF	% du poids	gravimétrie
<b>Température du sol</b> (-5 cm/-15 cm) <sup>4</sup>	Temp. S	C°	
<b>Température de l'air</b> <sup>4</sup>	Temp. A	C°	

1 Mesures réalisées par Agroscope (H.R. Oberholzer); sites de grandes cultures et d'herbages

2 Mesures réalisées par Agroscope (F. Widmer); sites de grandes cultures et d'herbages

3 Mesures réalisées par WSL (B. Frey); sites forestiers

4 Mesures réalisées par Agroscope (NABO); sites de grandes cultures et d'herbages, sites forestiers

## 2.4 Référencement des valeurs mesurées

Pour l'observation à long terme, il est important d'éviter le plus possible les erreurs de méthodes entre les déterminations des propriétés du sol effectuées à différentes périodes. Lorsque des échantillons de référence stables sont mesurés en même temps que les échantillons de laboratoire, les valeurs de ces échantillons de référence permettent de déterminer les écarts par rapport au niveau de mesure du premier relevé et de corriger les valeurs du relevé actuel. Sur la base des expériences tirées du projet LAZBO (Schwab et al. en prép.), l'étude actuelle détermine la biomasse (SIR et FE) ainsi que la respiration basale d'échantillons de référence propres aux différents sites. Les valeurs mesurées peuvent ainsi être corrigées pour chaque site sur la base de l'écart de mesures moyen par rapport au premier prélèvement, effectué en 2012, d'échantillons de référence conservés au congélateur (- 20°C). Cette méthode permet de définir une valeur de correction spécifique par site et par an (Ammann, 2010; Meuli et al. 2014). La possibilité d'appliquer le référencement aux paramètres biologiques du sol n'est pas encore réglée de manière définitive. C'est pourquoi dans ce rapport, les valeurs de mesure ne sont pas encore corrigées à l'aide des valeurs des échantillons de référence. Les valeurs des échantillons de référence sont présentées séparément (cf. chap. 3.4.).

## 3 Résultats et discussion

### 3.1 Paramètres annexes

#### 3.1.1 Densité apparente et teneur en eau (terre fine)

Afin de pouvoir contrôler la comparabilité des échantillons de l'observation à long terme, la teneur en eau des échantillons à base de terre fine et la densité apparente de la terre fine (matière sèche de la terre fine par unité de volume) doivent également être déterminées. L'état du sol lors du prélèvement des échantillons influence notamment la composition de ces derniers: sous l'effet du gonflement et de la contraction du sol, des quantités variables d'horizons différents sont prélevées avec chacune des teneurs différentes en  $C_{org}$ . La détermination de ces paramètres annexes permet d'attester la comparabilité de la matière sèche observée et de l'état du sol (teneur en eau) (Schwab et al. en prép.). Sur la base des recommandations du projet LABZO, ces paramètres sont également enregistrés dans le cadre des études en cours.

La **densité apparente** (terre fine) des années 2012 et 2013 correspond bien pour les sites de grandes cultures et d'herbages (fig. 3). Les écarts entre les années de relevés sont plus importants pour les sites forestiers comme c'est le cas par exemple entre les sites 62 (Bettlach) ou 73 (Alvaneu). Ces différences laissent supposer des conditions de prélèvement variables et des matériaux d'échantillons différents (cf. aussi fig. 5 et 6).

En général, les sites présentent un aspect typique lié à la catégorie d'utilisation, avec des masses volumiques plutôt élevées pour les sites de grandes cultures, des valeurs moyennes pour les sites d'herbages et des valeurs plutôt basses pour les sites forestiers.

Les **teneurs en eau** (terre fine) des années 2012 et 2013 sont comparables pour tous les sites. Seul le site 92 (Novaggio) présente une valeur remarquablement basse en 2013 (fig. 4), ce qui indique des conditions différentes lors de la prise d'échantillon en ce site (cf. fig. 5).

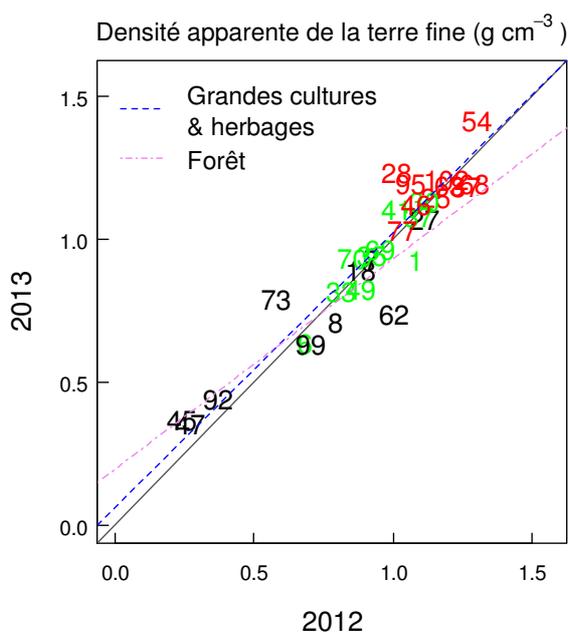


Fig. 3: Régression de la densité apparente de terre fine ( $g\ cm^{-3}$ ) en 2012 et 2013. Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt.

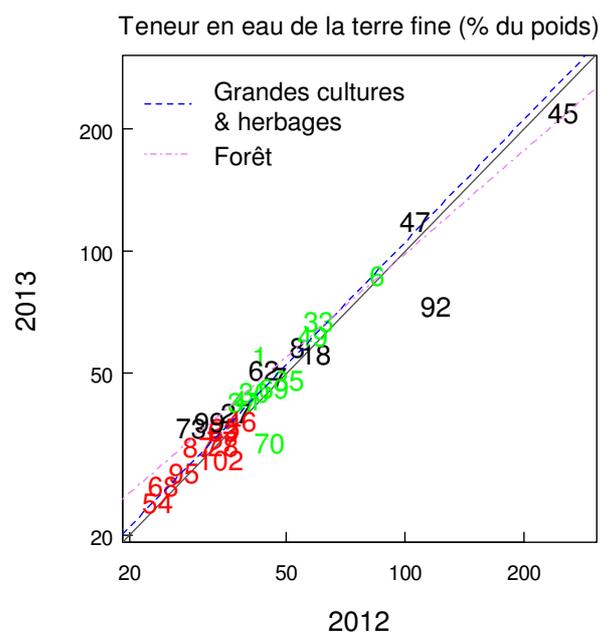


Fig. 4: Régression des teneurs en eau de la terre fine (% de poids) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt.



Fig. 5: a, b: Site 92 (Novaggio). Différentes conditions de prélèvement d'échantillons d'une année à l'autre. Date de prélèvement: 24.4.12 (à gauche); 8.5.13 (à droite).



Fig. 6 a & b: Site 62 (Bettlach). Différentes conditions de prélèvement d'échantillons d'une année à l'autre. Date de prélèvement: 18.4.12 (à gauche); 16.4.13 (à droite).

### 3.1.2 Teneur en $C_{tot}$ et en $N_{tot}$

Les mesures des teneurs en  $C_{tot}$  et en  $N_{tot}$  des deux années de relevés sont très proches les unes des autres, à noter toutefois que les teneurs en  $C_{tot}$  comme celles de  $N_{tot}$  sont légèrement plus basses en 2012 qu'en 2013. Les rapports C/N des deux sites forestiers 45 (Alpthal) et 47 (Davos) concordent bien avec les teneurs élevées de litière peu décomposé que l'on peut trouver sur place.

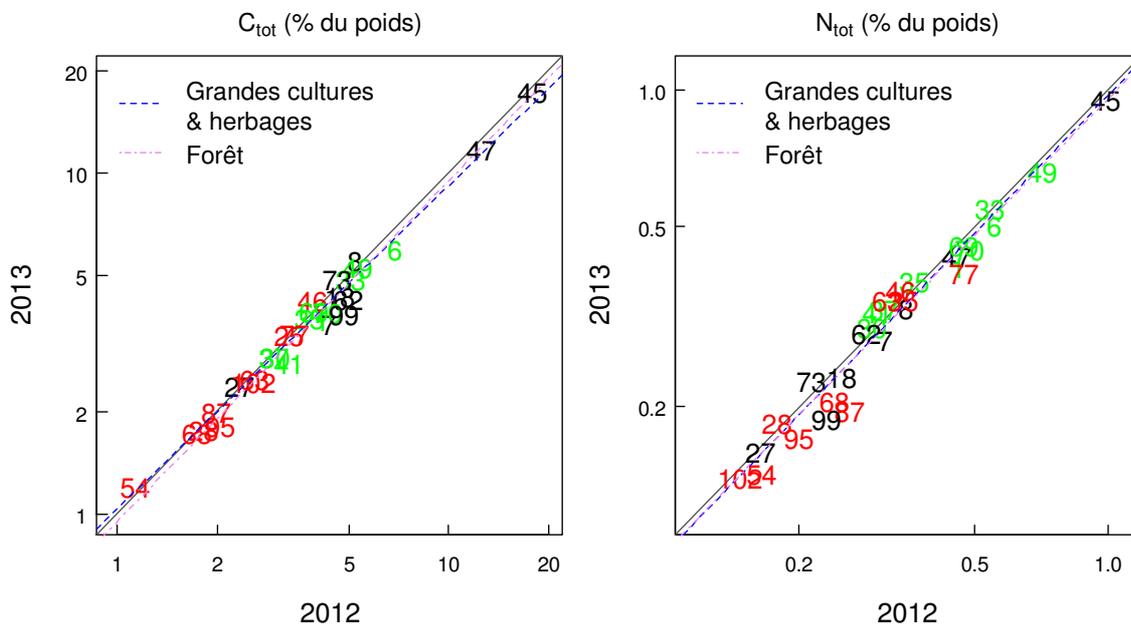


Fig. 7: Régression des teneurs en  $C_{tot}$  et  $N_{tot}$  (%) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt.

Tableau 3: Moyennes des groupes de paramètres annexes relevés et écart-type (entre parenthèses). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux.

	Utilisation	Nombre de sites	TE [%]	MV TF [g cm <sup>-3</sup> ]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	$C_{tot}$ [%]	$N_{tot}$ [%]
2012	Grandes cultures	10	32 (5)	1.2 (0.1)	6.6 (0.7)	2.5 (0.9)	0.3 (0.1)
2013	Grandes cultures	10	32 (5)	1.2 (0.1)	6.5 (0.7)	2.5 (1)	0.2 (0.1)
2012	Herbages	10	51 (14)	0.9 (0.1)	5.2 (0.7)	4.3 (1.2)	0.5 (0.1)
2013	Herbages	10	54 (16)	0.9 (0.1)	5.3 (0.7)	4.1 (1.1)	0.4 (0.1)
2012	Forêt	10	78 (68)	0.7 (0.3)	4.7 (1.2)	6.8 (5.0)	0.4 (0.3)
2013	Forêt	10	76 (57)	0.7 (0.2)	5.0 (1.3)	7.2 (5.1)	0.4 (0.3)
2012	Forêt de feuillus	4	63 (38)	0.8 (0.3)	4.9 (1.4)	4.2 (1.6)	0.3 (0.1)
2013	Forêt de feuillus	4	56 (14)	0.7 (0.3)	5.1 (1.4)	6.3 (4.6)	0.4 (0.3)
2012	Forêt mixte	2	54 (8)	0.9 (0.0)	5.0 (2.3)	4.6 (0.2)	0.3 (0.0)
2013	Forêt mixte	2	53 (5)	0.9 (0.0)	5.1 (2.3)	4.0 (0.5)	0.3 (0.0)
2012	Forêt de conifères	4	104 (104)	0.4 (0.2)	4.4 (0.9)	10 (6.6)	0.5 (0.4)
2013	Forêt de conifères	4	104 (87)	0.5 (0.2)	4.9 (1.2)	9.5 (6.4)	0.5 (0.3)

### 3.1.3 Conclusion sur les paramètres annexes

- En ce qui concerne la masse volumique de la terre fine, le profil lié à la catégorie d'utilisation des sites s'est confirmé en 2012 et 2013, à savoir des masses volumiques plutôt élevées dans les sites de grandes cultures, des masses volumiques moyennes dans les sites d'herbages et des masses volumiques plutôt faibles dans les sites forestiers.
- D'une année de relevé à l'autre, les valeurs de mesures des paramètres annexes se distinguent peu, notamment pour les sites de grandes cultures et d'herbages.
- Les différences de conditions météorologiques lors du relevé des échantillons peuvent influencer les masses volumiques et les teneurs en eau. Les valeurs de l'analyse microbiologique qui peuvent apparaître décalées peuvent être interprétées de manière plus approfondie à l'aide des paramètres annexes.

## 3.2 Paramètres microbiologiques et biomoléculaires

### 3.2.1 Respiration basale

En 2013, les valeurs de mesures de la respiration basale sur les sites de grandes cultures sont environ 4% inférieures à celles de 2012. Les valeurs des sites d'herbages n'ont pas évolué pendant les deux années. Les sites forestiers présentent des écarts plus importants, sachant que les valeurs de l'année 2013 se situent parfois très nettement (plus de 40%) au-dessus de celles de 2012. Ces résultats laissent supposer que des erreurs de mesures systématiques se sont produites dans les sites forestiers en 2012 (fig. 8). Un test-t apparié sur la base des valeurs de respiration basale issues de la transformation logarithmique indique que pour un niveau de significativité de 5%, seules les variations enregistrées sur les sites forestiers sont statistiquement significatives (valeur p 0.001).

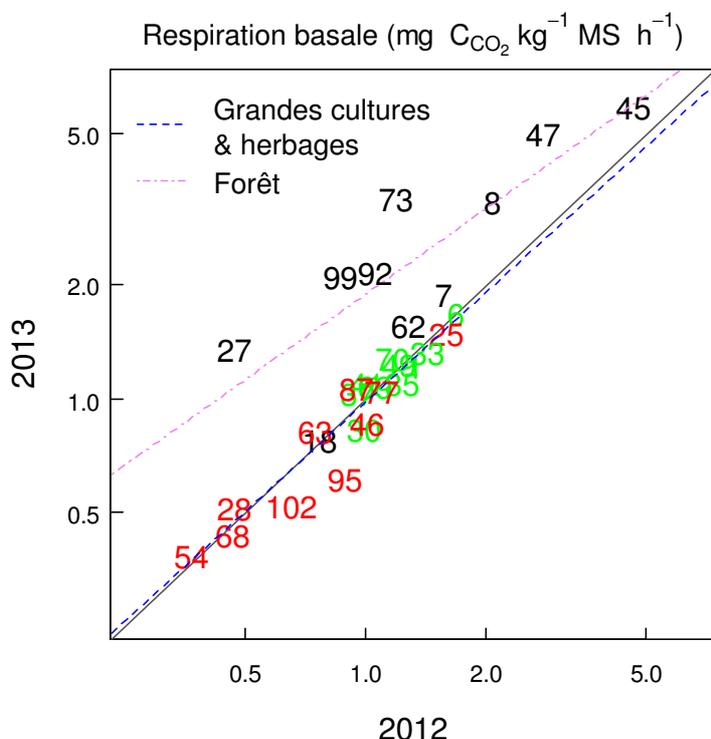


Fig. 8: Régression de la respiration basale en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt.

Car la profondeur de prélèvement de 0-20 cm et les méthodes de mesures appliqués en de NABObio12\_13 étaient les mêmes dans l'étude LAZBO les moyennes des groupes pour la respiration basale des sites de grandes cultures peuvent être comparées (tab. 4). Les moyennes des sites de l'étude LAZBO sont comprises entre 0.33 et 0.46 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> et se situent donc nettement en dessous des moyennes des groupes calculées dans cette étude (Schwab et al. en prép.)<sup>3</sup>. Les valeurs comparatives de la *Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter* du VBB pour la respiration basale se situent entre un minimum de 0.18 et un maximum de 1.14 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> pour les grandes cultures (VBB, 2009). Les valeurs NABObio sont du même ordre de grandeur.

Tableau 4: Moyennes des groupes respiration basale (RB) (mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) et écart-type (sd). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux.

	Utilisation	Nombre de sites	RB [mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	sd
2012	Grandes cultures	10	0.82	0.37
2013	Grandes cultures	10	0.78	0.35
2012	Herbages	10	1.20	0.22
2013	Herbages	10	1.20	0.23
2012	Forêt	10	1.67	1.245
2013	Forêt	10	2.77	1.669
2012	Forêt de feuillus	4	1.21	0.66
2013	Forêt de feuillus	4	2.12	0.89
2012	Forêt mixte	2	1.16	0.56
2013	Forêt mixte	2	1.34	0.79
2012	Forêt de conifères	4	2.37	1.74
2013	Forêt de conifères	4	4.14	1.71

### 3.2.2 Biomasses-Carbone (SIR)

Les valeurs de mesures de la biomasse microbienne déterminée avec la méthode de respiration induite par le substrat (SIR) dans les sites de grandes cultures et d'herbages ont peu varié durant les deux années de relevé (fig. 9). En 2013, les valeurs des sites de grandes cultures sont environ 9% inférieures à celles de 2012. En 2013, les valeurs des sites d'herbages sont environ 8% inférieures à celles de 2012. Le test-t apparié sur la base des valeurs de biomasse (SIR) issues de la transformation logarithmique indique que pour un niveau de significativité de 5%, seules les variations enregistrées sur les sites d'herbages sont statistiquement significatives (valeur p 0.02). Durant les deux années d'essai, des valeurs nécessairement plus basses ont été enregistrées sur les sites de grandes cultures du fait de leur utilisation. En 2013, les sites de grandes cultures affichaient des teneurs de biomasse comprises entre 324 et 1360 mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> de MS et les sites d'herbages des teneurs comprises entre 594 et 1472 mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> de MS (moyennes des groupes, cf. également tab. 5). A l'exception du site 25 (Schleithem), les teneurs de biomasse (SIR) mesurées sur les sites de grandes cultures sont comparables à celles des études suivantes: dans un essai à Burgrain (BE), les teneurs de biomasse (SIR) relevées étaient comprises entre env. 380 et env. 1000 mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> MS (Zihlmann et al. 2012). Dans l'étude LAZBO, les moyennes des sites de grandes cultures oscillaient entre 287 et 360 mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> de MS (Schwab et al., en prép.). Les valeurs comparatives du VBB pour les grandes cultures se situent au minimum à 189 et au maximum à 1163 mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> MS (VBB, 2009). La biomasse (SIR) n'a pas été déterminée pour les sites forestiers.

<sup>3</sup> L'étude LAZBO n'a réalisé que des prélèvements à 0-20 cm de profondeur dans les sites de grandes cultures. Les prélèvements ont été réalisés à 0-10 cm dans les sites d'herbages et les résultats ne peuvent donc pas être comparés avec ceux de l'étude présente.

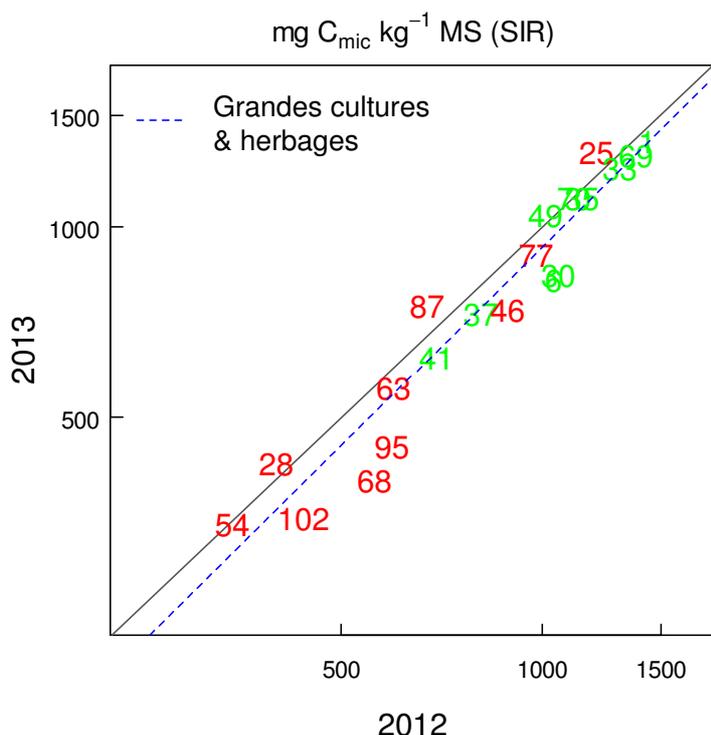


Fig. 9: Régression des teneurs en  $C_{mic}$  (SIR) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages.

Tableau 5: Moyennes des groupes biomasse microbienne (SIR) ( $mg C_{mic} kg^{-1}$ ) et écart-type (sd)

	Utilisation	Nombre de sites	$C_{mic}$ (SIR) [ $mg kg^{-1}$ ]	sd
2012	Grandes cultures	10	667	274
2013	Grandes cultures	10	627	313
2012	Herbages	10	1097	235
2013	Herbages	10	1027	255

### 3.2.3 Biomasses-Carbone (FE)

En 2013, les valeurs de mesure de la biomasse microbienne déterminée avec la méthode d'extraction par fumigation au chloroforme (FE) des sites de grandes cultures et d'herbages se situent seulement environ 4% en dessous de celles de 2012. Comme pour tous les autres paramètres microbiologiques, on constate ici aussi l'influence du mode d'utilisation du sol sur la biomasse. En 2013, les sites de grandes cultures affichaient des teneurs en biomasse comprises entre 271 et 1296  $mg C_{mic} kg^{-1}$  de MS et les sites d'herbages des valeurs comprises entre 957 et 1537  $mg C_{mic} kg^{-1}$  de MS. Les teneurs en biomasse (FE) des sites de grandes cultures sont comparables aux valeurs de l'étude LAZBO (moyenne NABO en 2013: 670  $mg C_{mic} kg^{-1}$  de MS, étude LAZBO: moyennes des sites de grandes cultures comprises entre 415 et 650  $mg C_{mic} kg^{-1}$  de MS). Dans l'essai DOK, des teneurs en biomasse entre 218 et 360  $mg C_{mic} kg^{-1}$  de MS ont été mesurées (Fliessbach et al. 2007). Par rapport à cette étude, la moyenne NABO de 670  $mg C_{mic} kg^{-1}$  de MS est relativement élevée (cf. également tab. 6). Les valeurs comparatives du VBB pour les terres cultivées sont comprises entre un minimum de 216 et un maximum de 1692  $mg C_{mic} kg^{-1}$  de MS (VBB, 2009).

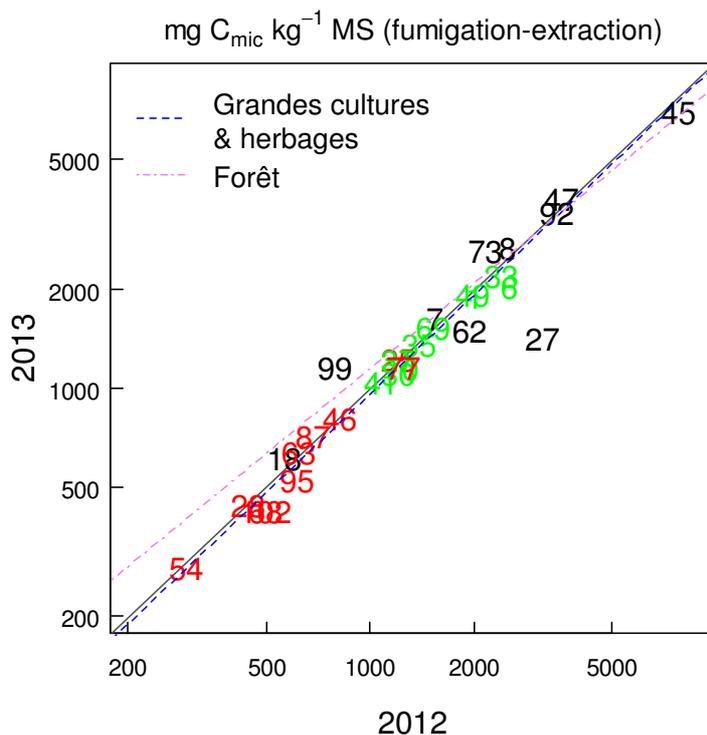


Fig. 10: Régression Teneurs  $C_{mic}$  (FE) ( $\text{mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1}$ ) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt.

Les valeurs de mesures des sites forestiers sont ici aussi hétérogènes et les différences entre les années de relevés sont plus marquées pour certains sites. Ces résultats peuvent s'expliquer d'une part par l'hétérogénéité des échantillons prélevés sur les sites forestiers (prélèvement dans différents horizons du sol). D'autre part, les différentes conditions (humidité, température du sol) qui régnaient lors des prélèvements peuvent avoir influencé les résultats des mesures (cf. fig. 4, 5 et 6). Pour la plupart des sites forestiers, on n'a observé que de légers écarts entre 2012 et 2013. Etant donné la baisse très nette de la teneur du site 27 (Jussy), la moyenne de 2013 est cependant nettement en dessous de celle de 2012.

Tableau 6: Moyennes des groupes biomasse microbienne (FE)  $\text{mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1}$  et écart-type (sd). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux.

	Utilisation	Nombre de sites	$C_{mic}$ (FE) [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	sd
2012	Grandes cultures	10	691	315
2013	Grandes cultures	10	673	325
2012	Herbages	10	1647	528
2013	Herbages	10	1570	443
2012	Forêt	10	2734	2035
2013	Forêt	10	2612	1865
2012	Forêt de feuillus	4	2755	676
2013	Forêt de feuillus	4	2283	980
2012	Forêt mixte	2	1046	682
2013	Forêt mixte	2	1141	737
2012	Forêt de conifères	4	3557	3001
2013	Forêt de conifères	4	3678	2489

### 3.2.4 Quantité d'ADN

D'une année de relevé à l'autre, les quantités d'ADN varient nettement plus que les autres paramètres microbiologiques. Certains sites forestiers comme les sites 99 (Visp), 62 (Bettlach) ou 8 (Rothenfluh)

présentent de nouveau des différences plus marquées entre les relevés (fig. 11, tab. 7). Les quantités d'ADN des sites de grandes cultures et d'herbages ont tendance à être plus élevées en 2012 qu'en 2013. En 2013, les valeurs des sites de grandes cultures sont environ 23% inférieures à celles de 2012 et les valeurs des sites d'herbages environ 9% inférieures à celles de 2012. Les valeurs des sites forestiers sont environ 20% inférieures à celles de 2012. Le test-t apparié sur la base des teneurs d'ADN issues de la transformation logarithmique indique que pour un niveau de significativité de 5%, seules les variations enregistrées sur les sites de grandes cultures sont statistiquement significatives (valeur p 0.02).

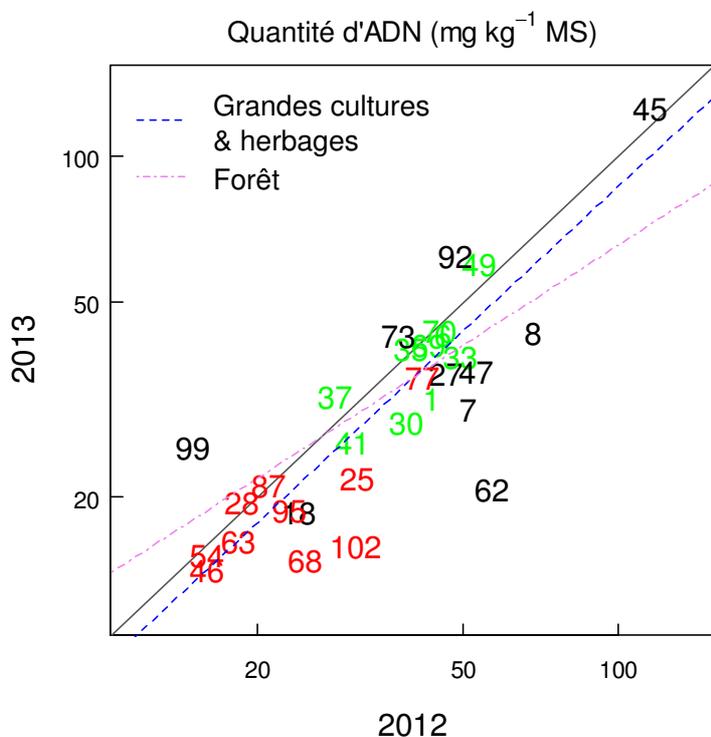


Fig. 11: Régression teneurs ADN ( $\text{mg ADN kg}^{-1}$ ) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt.

Tableau 7: Moyennes des groupes des quantités d'ADN ( $\text{mg d'ADN kg}^{-1}$ ) et écart-type (sd). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux.

	Utilisation	Nombre de sites	ADN [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	sd
2012	Grandes cultures	10	24	8
2013	Grandes cultures	10	19	6
2012	Herbages	10	42	8
2013	Herbages	10	39	10
2012	Forêt	10	52	27
2013	Forêt	10	45	32
2012	Forêt de feuillus	4	55	10
2013	Forêt de feuillus	4	41	18
2012	Forêt mixte	2	38	19
2013	Forêt mixte	2	25	8
2012	Forêt de conifères	4	55	43
2013	Forêt de conifères	4	58	47

### 3.2.5 Conclusions sur les paramètres microbiologiques et biomoléculaires

- Durant les deux années de relevés, les modes d'exploitations «grandes cultures», «herbages» et «forêt» ont toujours influencé les paramètres biologiques du sol. Pour les quatre paramètres microbiologiques et biomoléculaires étudiés, on constate que les sites de grandes cultures affichent des valeurs inférieures aux sites d'herbages. Ces résultats ont également été confirmés par d'autres programmes d'observation du sol (Rutgers et al. 2009; Griffiths et al. 2011; Dequiedt et al. 2011).
- Les sites forestiers sont plus hétérogènes que les sites de grandes cultures et d'herbages.
- Les mesures répétées sont au même niveau pour les paramètres BM-SIR, BM-FE et RB.
- Pour les quantités d'ADN, les moyennes des sites présentent des écarts plus importants entre les années de relevés que les autres paramètres microbiologiques. Néanmoins, pour les quantités d'ADN aussi, le même schéma lié au mode d'utilisation des sites s'est reproduit les deux années. Les quantités d'ADN des sites d'herbages présentent notamment des concordances relativement bonnes entre les années (cf. tab. 7).

### 3.3 Comparabilité des méthodes de mesure

Les rapports entre les paramètres relevés ont été étudiés à l'aide d'une analyse de corrélation. Elle a permis de constater des corrélations significatives (valeur  $p < 0.01$  pour les coefficients de corrélation selon Spearman) entre tous les paramètres. Le pH est la seule valeur à faire exception (tab. 8). Si l'on prend la corrélation du pH et des valeurs de biologie du sol, les résultats sont très variables suivant que l'on considère les données globalement ou séparément, selon les différentes catégories d'utilisation (tab. 9). Le type d'utilisation du sol influe largement sur le pH, mais aussi sur la biologie du sol. Les sols d'herbages sont généralement biologiquement plus actifs que les sols de grandes cultures, mais également plus acides. Par conséquent, on obtient des corrélations négatives entre le pH et des valeurs de biologie du sol qui ne sont toutefois pas significatives étant donné les grandes amplitudes de variations. Par contre, si l'on considère les sites de grandes cultures isolément, la corrélation entre le pH et les paramètres biologiques du sol est clairement positive et les corrélations sont généralement élevées (exception: quantité d'ADN). Les corrélations des sites d'herbages et des sites forestiers ne sont pas homogènes, car ces groupes sont eux-mêmes subdivisés en différents groupes (herbages intensifs et extensifs, resp. forêts de conifères, forêts mixtes et forêts de feuillus) et sont moins semblables en ce qui concerne les propriétés du sol que les sites du groupe de grandes cultures. Ici, aussi, les effets de l'utilisation du sol éclipsent l'influence du pH. Il est prévu d'étudier ces relations de manière plus approfondie à l'aide d'évaluations multivariées. Les diagrammes de dispersion avec coefficients de corrélation sont présentés en annexe.

Tableau 8: Coefficients de corrélation (Spearman) entre les paramètres relevés (valeurs de mesure de 2013). Les coefficients de corrélation significatifs sont imprimés en gras (valeur  $p < 0.01$ ).

MV TF	<b>-0.83</b>								
pH	<b>-0.58</b>	<b>0.54</b>							
C <sub>tot</sub>	<b>0.84</b>	<b>-0.91</b>	-0.46						
N <sub>tot</sub>	<b>0.7</b>	<b>-0.59</b>	-0.34	<b>0.73</b>					
RB	<b>0.67</b>	<b>-0.86</b>	-0.35	<b>0.76</b>	<b>0.47</b>				
C <sub>mic</sub> (SIR)	<b>0.69</b>	<b>-0.77</b>	-0.14	<b>0.74</b>	<b>0.77</b>	<b>0.82</b>			
C <sub>mic</sub> (FE)	<b>0.83</b>	<b>-0.86</b>	-0.42	<b>0.83</b>	<b>0.68</b>	<b>0.9</b>	<b>0.85</b>		
N <sub>mic</sub> (FE)	<b>0.85</b>	<b>-0.91</b>	-0.49	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>	<b>0.78</b>	<b>0.75</b>	<b>0.94</b>	
ADN	<b>0.65</b>	<b>-0.71</b>	<b>-0.49</b>	<b>0.7</b>	<b>0.69</b>	<b>0.72</b>	<b>0.71</b>	<b>0.84</b>	<b>0.88</b>
	TE	MV TF	pH	C <sub>tot</sub>	N <sub>tot</sub>	RB	C <sub>mic</sub> (SIR)	C <sub>mic</sub> (FE)	N <sub>mic</sub> (FE)

Tableau 9: Coefficients de corrélation (Spearman) entre les paramètres relevés et le pH (valeurs de mesure de 2013)

	Grandes cultures	Herbages	Forêt
	pH	pH	pH
TE %	0.41	0.09	-0.44
MV TF	-0.47	-0.02	0.26
<b>pH</b>	1	1	1
C <sub>tot</sub>	0.65	-0.05	-0.31
N <sub>tot</sub>	0.12	0.03	-0.21
RB	0.54	-0.18	0.05
C <sub>mic</sub> (SIR)	0.35	0.85	n.d.
C <sub>mic</sub> (FE)	0.38	0.22	-0.1
N <sub>mic</sub> (FE)	0.48	0.18	n.d.
ADN	-0.04	-0.2	0.04

Des coefficients de corrélation comparables ont été calculés dans l'étude LAZBO (Schwab et al. en prép.). Les coefficients de corrélation significatifs entre les paramètres relevés indiquent que toutes les valeurs de mesures sont influencées par les mêmes conditions environnementales locales. Les corrélations élevées laissent prévoir qu'on a des informations redondantes sur les paramètres biologiques du sol. La relation négative entre la densité apparente et les autres paramètres biologiques s'explique par le fait que la compaction du sol de certains sites (causée par l'utilisation) réduit l'activité biologique.

### 3.3.1 Conclusion sur la comparabilité des méthodes de mesure

- Les coefficients de corrélation significatifs (valeur  $p < 0.01$ ) entre les paramètres relevés indiquent que toutes les valeurs de mesures sont influencées par les mêmes conditions environnementales locales.
- Les coefficients de corrélation relativement élevés (de 0.71 à 0.85), affichés par la somme des biomasses microbologique et biomoléculaire (C<sub>mic</sub> SIR et FE et quantité d'ADN), laissent prévoir qu'on a des informations redondantes sur ces paramètres biologiques du sol.
- Des évaluations multivariées sont nécessaires pour pouvoir expliquer les interactions de manière plus approfondie.

## 3.4 Echantillons de référence

Les échantillons de référence (spécifiques aux sites) prélevés en 2012 ont servi à donner des valeurs de référence en 2012. Toutes les années suivantes, les échantillons de référence du premier cycle de mesure sont mesurés simultanément aux échantillons fraîchement prélevés. Entretemps, les échantillons de référence sont congelés et stockés à une température de -20°C. En 2013, les valeurs des échantillons de référence de la respiration basale se situaient légèrement au-dessus des valeurs de 2012 (fig. 12, en haut à gauche). Le site 6 (Grindelwald) faisait exception car il avait une valeur plus élevée en 2013 qu'en 2012. Pour les paramètres de la biomasse BM-FE (C<sub>mic</sub> et N<sub>mic</sub>) et BM-SIR, les valeurs mesurées en 2013 étaient légèrement inférieures à celles de 2012. Les valeurs de mesures des échantillons de référence sont relativement stables et les écarts constatés par rapport au premier cycle de mesure évoluent dans une amplitude de variation normale. Ces résultats montrent que le système de mesure était stable pendant les deux ans. On peut donc partir du principe que les valeurs mesurées dans les sites de grandes cultures et d'herbages fraîchement récoltés n'ont pas été influencées par le système de mesure. Pour les sites forestiers, seule la biomasse (FE) (C<sub>mic</sub>) a été mesurée avec les échantillons de référence (fig. 12, en bas à droite).

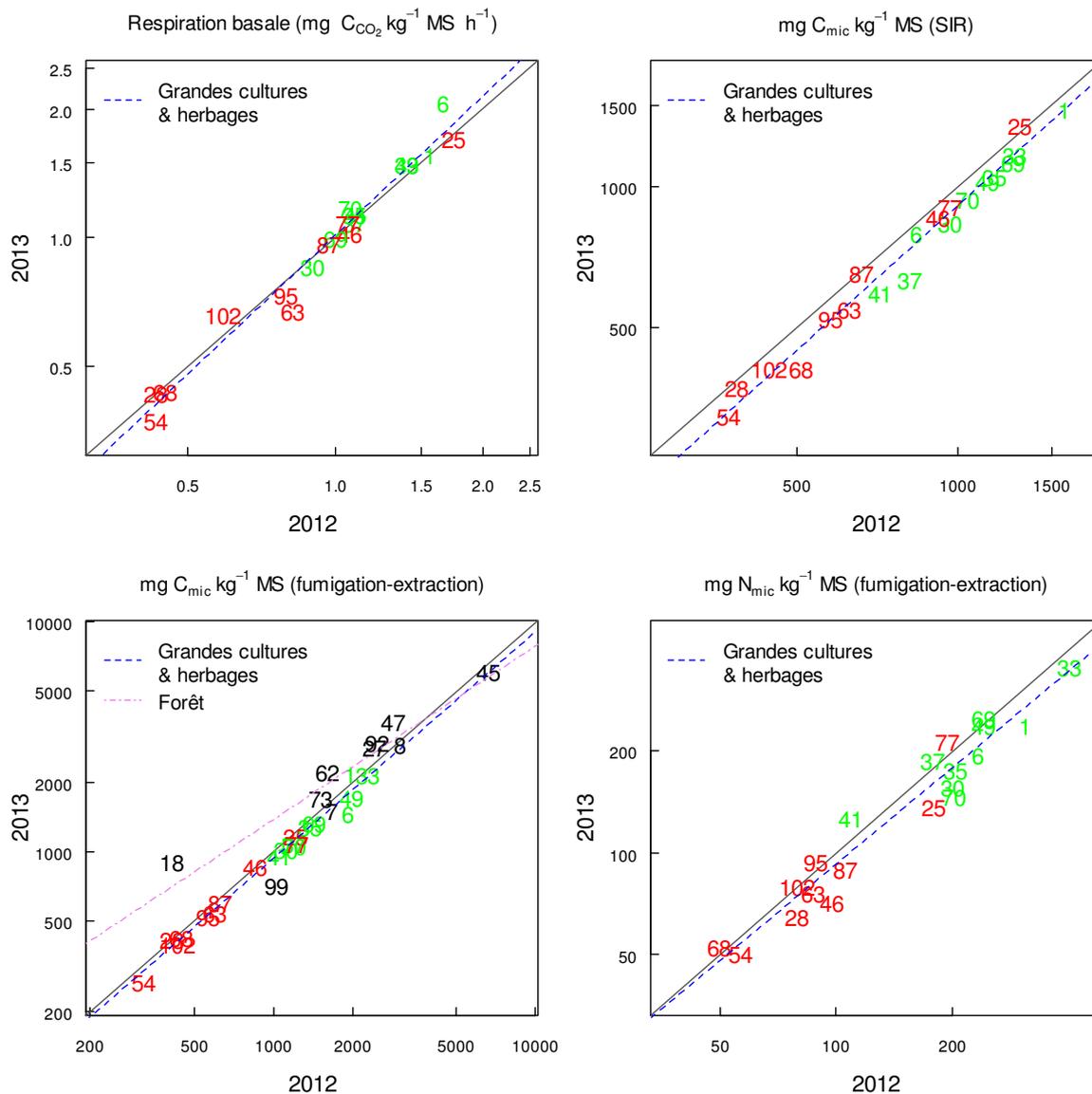


Fig. 12: Régression des valeurs des échantillons de référence en 2012 et 2013; représentation logarithmique. Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt.

### 3.4.1 Conclusion référencement

- Les valeurs de mesure des échantillons de référence sont stables et les écarts constatés par rapport au premier cycle de mesure se situent dans la plage de dispersion attendue.
- On peut partir du principe que les valeurs mesurées dans les sites de grandes cultures et d'herbages fraîchement récoltés n'ont pas été influencées par le système de mesure.
- On continue à vérifier la stabilité du système de mesure avec des échantillons de référence spécifiques aux sites. En ce faisant, la mesure simultanée des échantillons de référence avec les échantillons frais est très importante.
- Pour mieux interpréter les variations des valeurs d'ADN dans le temps, il est nécessaire de déterminer les valeurs d'ADN des échantillons de référence.
- Des mesures de référence sont également nécessaires pour évaluer les valeurs de la respiration basale des sites forestiers.

## 4 Perspective

### 4.1 Poursuite des séries de mesures

En vertu de l'art. 2a de l'ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol), le NABO est chargé d'évaluer les biocénoses typiques des sites (OSol, 1998). En outre, la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS) demande que «d'ici à 2020, la surveillance de l'évolution des écosystèmes, des espèces et de la diversité génétique soit assurée.» (Objectif stratégique 10; OFEV, 2012). Avec la prolongation de la période d'observation, la variété des caractéristiques biologiques «naturelles» des sols (*base lines* ou *target ranges*) et les biocénoses typiques du site pourront être définies plus précisément. Selon l'étude LAZBO, il faut au moins six ans avant de pouvoir évaluer si les variations des paramètres constatées jusqu'à présent sont dues à l'environnement (Schwab et al. 2006). De plus, il est ainsi possible de déterminer si les valeurs mesurées se situent ou non dans la gamme des caractéristiques biologiques «naturelles» et par conséquent si la fertilité du sol est menacée ou non. On espère qu'une prolongation de la période d'observation permettra progressivement de mieux interpréter les variations observées.

### 4.2 Référencement

Pour mieux interpréter les variations des quantités d'ADN, des valeurs de référence devraient là aussi être établies. Il est prévu de déterminer les quantités d'ADN des échantillons congelés du premier cycle de mesures au printemps 2015. Il serait également souhaitable d'avoir des valeurs de référence pour la respiration basale des sites forestiers.

### 4.3 Evaluation statistique

D'autres évaluations statistiques (multivariées) sont nécessaires pour mieux expliquer les rapports éventuels entre les propriétés des sites et les paramètres biologiques du sol. L'explication doit également intégrer des données sur le climat, les éléments nutritifs et les résultats de mesures d'autres relevés<sup>4</sup>.

### 4.4 Sélection / Réduction des valeurs de mesures

Du fait des coefficients de corrélation élevés (de 0.65 à 0.85) entre les biomasses microbienne et biomoléculaire, le nombre de ces paramètres globaux pourrait être réduit. Cependant cela va sans dire qu'il est nécessaire de relever le plus de paramètres possible pour pouvoir comprendre les processus à l'œuvre dans le sol. Comme la biomasse microbienne p. ex. est un paramètre-clé de l'écosystème du sol, tous les facteurs susceptibles de l'influencer, présentent un intérêt (Grayston et al. 2001). Avant de supprimer des paramètres, il ne faut cependant pas oublier qu'une telle décision peut interrompre voire stopper une période d'observation de longue durée. Selon l'étude bibliographique, la méthode de fumigation-extraction est celle qui domine parmi les méthodes de mesure de la biomasse microbienne. S'il fallait opter pour l'utilisation qu'une seule méthode classique pour mesurer la biomasse microbienne (SIR ou FE), il faudrait, pour des raisons de comparabilité, privilégier la méthode de fumigation-extraction. Afin d'interpréter au mieux les résultats de mesures (inhabituels), il est conseillé de continuer à enregistrer tous les paramètres annexes. Les conditions météorologiques lors du prélèvement des échantillons peuvent avoir un impact sur les densités apparentes et les teneurs en eau et donc sur les valeurs de mesures (liées au poids des échantillons).

### 4.5 Séquençage

L'analyse biomoléculaire constitue un instrument capital dans la réalisation du mandat défini par l'OSol (art. 2a; OSol, 1998) et la Stratégie Biodiversité Suisse (Objectif stratégique 10; OFEV, 2012). Fin 2014, un projet a été approuvé par l'Office fédéral de l'environnement (Division Sol et biotechnologie), dans le cadre

<sup>4</sup> Au printemps 2015, des échantillons seront prélevés pour la 4ème fois sur les sites.

---

duquel les extraits d'ADN de 2012 et 2013 déjà disponibles peuvent être séquencés. Les analyses d'ADN permettront de déterminer la composition des communautés fongiques et bactériennes des 30 sites NABO (par amplification PCR et séquençage des marqueurs génétiques spécifiques).

#### 4.6 Etudes complémentaires: projet partenaire PNR68 - nématodes

Au printemps 2014, deux échantillons composés supplémentaires ont été prélevés pour la première fois sur chacun des 30 sites de référence NABO afin d'effectuer également des recherches à l'échelle mésobiologique. Dans le cadre du projet PNR68<sup>5</sup>, des biocénoses de nématodes entomopathogènes (EPN) ont pu être identifiées sur les 30 sites de référence NABO. Des méthodes de génétique moléculaire sont là aussi employées. Le but de cette étude est d'identifier les facteurs biotiques et abiotiques qui déterminent la présence d'EPN dans les sols suisses. Un deuxième relevé est prévu au printemps 2015. Ce deuxième cycle de relevés des EPN permettra d'une part de valider les résultats et d'autre part de mieux cerner les *base lines* sur les différents sites. Cette étude permet au NABO de définir les biocénoses typiques du site (cf. OSol, Art. 2, 1998) à l'échelle mésobiologique également.

---

<sup>5</sup> Dr Raquel Campos-Herrera mène cette étude auprès du Prof. Ted Turlings à l'Institut biologique de l'Université de Neuchâtel: *Applications of entomopathogenic nematodes for a sustainable control of soil insects*. Projet PNR68.

## 5 Références

### 5.1 Bibliographie

- Ammann, S., 2010: Bodenbiologische Dauerbeobachtung: Anforderungen an die Messqualität. Bulletin BGS 30: 57-62.
- Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, 2009: Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick.
- OFEV, 2012: Stratégie Biodiversité Suisse. En exécution de la mesure 69 (objectif 13, art. 14, section 5) du programme de la législature 2007 – 2011: élaborer une stratégie en faveur du maintien et du développement de la biodiversité.
- Dequiedt, S., Saby, N.P.A., Lelievre, M., Jolivet, C., Thioulouse, J., Toutain, B., Arrouays, D., Bispo, A., Lemanceau, R. et Ranjard, L., 2011: Biogeographical patterns of soil molecular microbial biomass as influenced by soil characteristics and management. *Global Ecol. Biogeogr.* 20: 641-652.
- FAL, FAW, RAC, 1998: Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2, Bodenuntersuchung zur Standortcharakterisierung.
- Fliessbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L. et Mäder, P., 2007: Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 273–284.
- Francaviglia, R., 2008: Agricultural Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analyses. OECD, Paris.
- Grayston, S.J., Griffith, G.S., Mawdsley, J.L., Campbell, C.D. et Bardgett, R.D., 2001: Accounting for variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 33 (2001) 533-551.
- Griffiths, R.I., Thomson, B.C., James, Ph., Bell, Th., Bailey, M. et Whiteley, A.S., 2011: The bacterial biogeography of British soils. *Environ. Microbiol.* 13(6): 1642-1654.
- Gubler, A., Schwab, P., Wächter, D., Keller, A. et Meuli, R.G., en prép.: Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) 1985-2009.
- Lischer, P., Dahinden, R. et Desales, A., 2001: Quantifying uncertainty of the reference sampling procedure used at Dornach under different soil conditions. *Sci. Total Environ.* 264: 119-126.
- Meuli R.G., Schwab P., Wächter D. et Ammann S., 2014: Observatoire national des sols (NABO) 1985 à 2004. Etat et évolution des polluants inorganiques et des paramètres associés aux sols. OFEV, Berne. Connaissance de l'environnement no 1409: 94 pages.
- Oberholzer, H.R., Scheid, S., Bonvicini, A., Müller, S., Brunner, H. und Schwab, P., 2007: Bodenmikrobiologische Kennwerte im NABO-Referenzmessnetz. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Zürich.
- Rutgers, M., Schouten, A.J., Bloem, J., van Eerkeren, N., de Goede, R.G.M., Jagers, G.A.J.M., Akkerhuis, O.P., van der Wal, A., Mulder, C., Brussaard, L. und Breure, M., 2009: Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. *Eur. J. Soil Sci.* 60: 820-832.
- Schwab, P., Weisskopf, P., Oberholzer, H.R., Scheid, S. et Berli, M., 2006: Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Pilotprojekt LAZBO. Teil 4: Folgerungen, Empfehlungen und Ausblick für die Langzeitbeobachtung. Agroscope FAL Reckenholz. Zürich.
- Schwab, P., Hug, A.S. und Oberholzer, H.R., en prép.: Langzeitbeobachtung von biologischen Bodeneigenschaften. Ergebnisse bodenmikrobiologischer Untersuchungen 2001-2006 im Projekt LAZBO – Schlussbericht. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- VBB, BSA, 2009: Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB. Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick.
- Wagner, G., Desales, A., Muntau, H., Theocharopoulos, S. et Quevauviller, Ph., 2001: Harmonization and quality assurance in pre-analytical steps of soil contamination studies - conclusions and recommendations of the CEEM Soil project. *Sci. Total Environ.* 264: 103-117.

- Waldner, P., Meuli, R., Walthert, L., Thimonier, A., Graf Pannatier, E. et Hagedorn, F., 2010: Veränderung des C/N-, des 15N/14N- und des 13C/12C-Verhältnisses auf NABO Flächen nahe der LWF-Standorte. WSL und Agroscope ART Reckenholz. Birmensdorf und Zürich.
- Zihlmann, U., Jossi, W., Oberholzer, H., Weisskopf, P., Richner, W., Krebs, H., Tschachtli, R. et Nussbaumer, A., 2012: Essai de systèmes culturaux de Burgrain: aspects pédologiques. Recherche Agronomique Suisse 3(05), 264-271.

## 5.2 Liste des figures

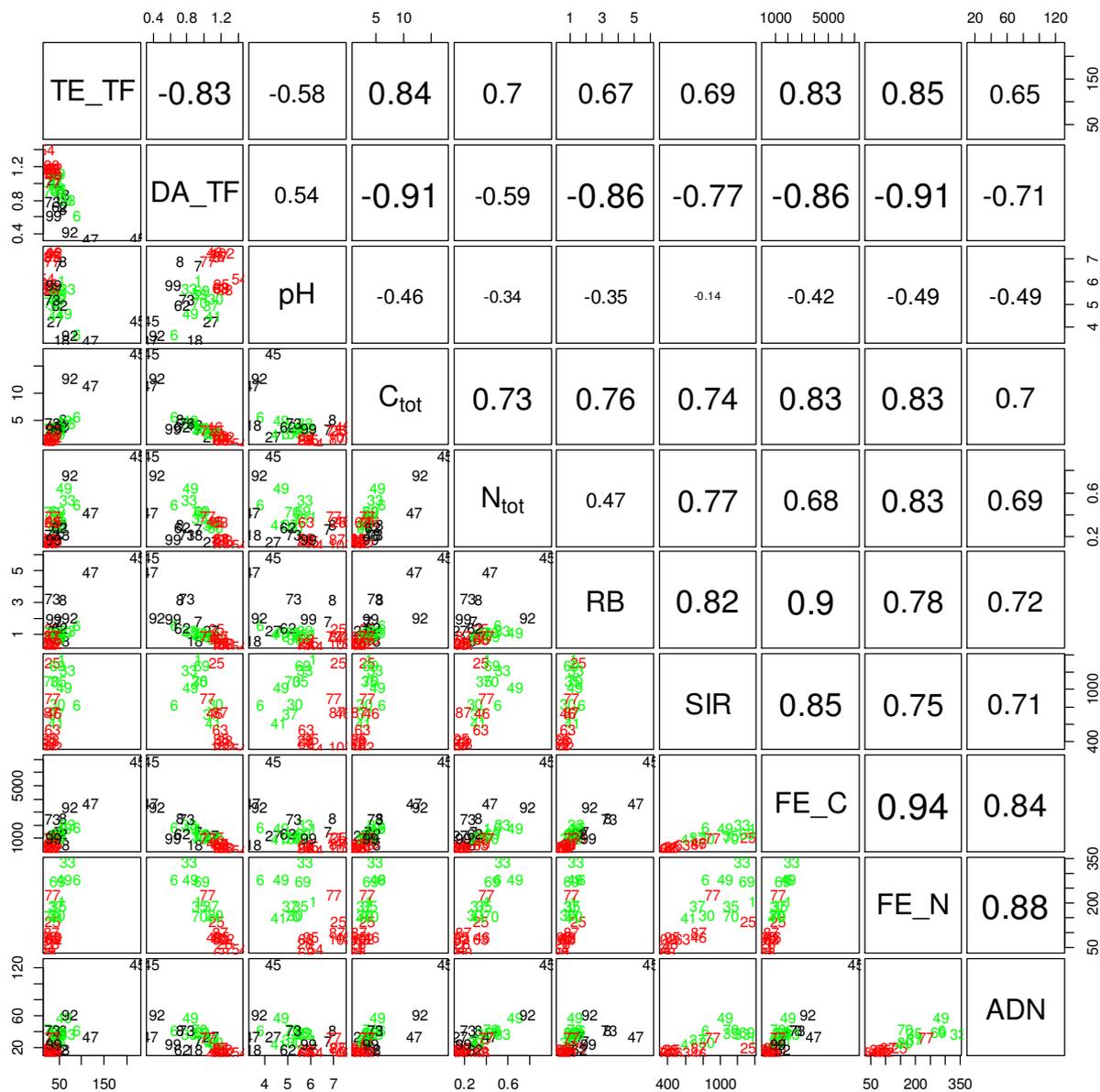
- Fig. 1: Sites sélectionnés du réseau de référence NABO pour le projet NABObio12\_13 (présentés sous forme de losanges). 7
- Fig. 2: Schéma de prélèvement des échantillons composés pour NABObio12\_13. Les échantillons des carrés 1 à 3 fournissent les échantillons composés. L'échantillon du carré 4 est utilisé comme échantillon de référence. 9
- Fig. 3: Régression de la densité apparente de terre fine ( $\text{g cm}^{-3}$ ) en 2012 et 2013. Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. 11
- Fig. 4: Régression des teneurs en eau de la terre fine (% de poids) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. 11
- Fig. 5: a, b: Site 92 (Novaggio). Différentes conditions de prélèvement d'échantillons d'une année à l'autre. Date de prélèvement: 24.4.12 (à gauche); 8.5.13 (à droite). 12
- Fig. 6 a & b: Site 62 (Bettlach). Différentes conditions de prélèvement d'échantillons d'une année à l'autre. Date de prélèvement: 18.4.12 (à gauche); 16.4.13 (à droite). 12
- Fig. 7: Régression des teneurs en  $C_{\text{tot}}$  et  $N_{\text{tot}}$  (%) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. 13
- Fig. 8: Régression de la respiration basale en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. 14
- Fig. 9: Régression des teneurs en  $C_{\text{mic}}$  (SIR) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages. 16
- Fig. 10: Régression Teneurs  $C_{\text{mic}}$  (FE) ( $\text{mg } C_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ ) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. 17
- Fig. 11: Régression teneurs ADN ( $\text{mg ADN kg}^{-1}$ ) en 2012 et 2013; (axes à échelle logarithmique). Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. 18
- Fig. 12: Régression des valeurs des échantillons de référence en 2012 et 2013; représentation logarithmique. Rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. 21

## 5.3 Liste des tableaux

- Tableau 1: Propriétés des sols et catégorie d'utilisation des sites du réseau de référence NABO étudiés 8
- Tableau 2: Paramètres enregistrés et méthodes de détermination 10
- Tableau 3: Moyennes des groupes de paramètres annexes relevés et écart-type (entre parenthèses). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux. 13
- Tableau 4: Moyennes des groupes respiration basale (RB) ( $\text{mg CO}_2\text{-C kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) et écart-type (sd). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux. 15
- Tableau 5: Moyennes des groupes biomasse microbienne (SIR) ( $\text{mg } C_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ ) et écart-type (sd) 16
- Tableau 6: Moyennes des groupes biomasse microbienne (FE)  $\text{mg } C_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$  et écart-type (sd). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux. 17
- Tableau 7: Moyennes des groupes des quantités d'ADN ( $\text{mg d'ADN kg}^{-1}$ ) et écart-type (sd). Les sous-groupes des sites forestiers (forêt de feuillus, forêt mixte, forêt de conifères) sont présentés séparément à la suite des groupes principaux. 18
- Tableau 8: Coefficients de corrélation (Spearman) entre les paramètres relevés (valeurs de mesure de 2013). Les coefficients de corrélation significatifs sont imprimés en gras (valeur  $p < 0.01$ ). 19
- Tableau 9: Coefficients de corrélation (Spearman) entre les paramètres relevés et le pH (valeurs de mesure de 2013) 20

# Annexe

Diagrammes de dispersion avec coefficients de corrélation selon Spearman de tous les paramètres relevés avec valeurs de mesures de 2013. Numéro: numéro de site; rouge: grandes cultures, vert: herbages, noir: forêt. C<sub>mic</sub> (SIR) et N<sub>mic</sub> (FE) n'ont pas été déterminés pour les sites forestiers.)



Diagrammes de dispersion avec coefficients de corrélation selon Spearman de tous les paramètres relevés avec valeurs de mesures de 2013 (sans les sites forestiers). Numéro: numéro de site; rouge: grandes cultures, vert: herbages).

