

Biodiversité et productivité dans les grandes cultures

Peter Stamp, Institut des sciences agronomiques, ETH Zurich, 8092 Zurich, Suisse

Renseignements: Peter Stamp, e-mail: peter.stamp@usys.ethz.ch



Champ de blé/coquelicot: un beau paysage! Inattention du paysan?

Introduction

La biodiversité à l'intérieur et autour de nos terres cultivées diminue de manière inquiétante. Des aliments doivent cependant être produits en quantité suffisante sur ces surfaces pour contribuer adéquatement à notre auto-alimentation. Un équilibre optimal devrait être trouvé entre ces deux objectifs qui sont la biodiversité et la productivité, basé sur des connaissances en sciences naturelles et économiques.

La végétation climacique des zones tempérées fraîches d'Europe est la forêt mélangée. Les peuplements de plantes cultivées à courte durée, habituels dans les grandes cultures, représentent par contre une végétation au stade pionnier. Nous empêchons ainsi en permanence le développement d'écosystèmes stables. De plus, les grandes cultures se trouvent elles-mêmes depuis des siècles en mutation fondamentale permanente, en raison de l'évolution des besoins et des conditions biologiques, sociologiques et technologiques. Après

l'introduction de la charrue à socs au Moyen Age, l'augmentation temporaire de la fertilité des sols s'est traduite par une hausse de rendement chez des espèces telles que le blé ou l'orge. Au 18^e siècle, l'assolement triennal, dont le troisième élément était une jachère naturelle d'une à plusieurs années, a été remplacé par des rotations de cultures contrôlées. Pommes de terre, betteraves et trèfle des prés ont augmenté la production totale. Mais bientôt, d'importants déficits d'approvisionnement en éléments nutritifs sont apparus. Ceux-ci n'ont été compris du point de vue agrochimique qu'après que Justus von Liebig a publié son ouvrage fondamental sur la chimie agricole en 1840. Après la redécouverte des lois de Mendel, il y a plus d'un siècle, des variétés très performantes à haut rendement ont été créées à partir de variétés locales. Leur potentiel de rendement a pu être exploité efficacement depuis des décennies grâce à l'utilisation de moyens optimisés scientifiquement. Le travail du sol a en outre fortement évolué avec la motorisation et la mécanisation. Pendant des millénaires, les grandes cultures d'Eurasie ont été caractérisées par le labour superficiel avec des animaux de trait. Les agriculteurs disposent désormais de nombreuses méthodes de travail du sol adaptées à leur région, jusqu'au semis direct, qui peuvent aussi modifier fortement la flore du champ (Streit et al. 2003). On peut en conclure qu'il n'est guère possible de définir précisément des écosystèmes de grandes cultures de longue durée, encore moins d'évaluer exactement leurs composantes.

Au 19^e siècle, la biodiversité a atteint un maximum avec des petits champs et des rotations diversifiées, pour diminuer ensuite fortement dans notre système actuel de grandes cultures. Certaines raisons en sont évidentes. Grâce à l'optimisation chimique des sols, on n'observe quasiment plus de valeurs de pH très basses ou de teneurs en phosphore et en potassium faibles. Une fertilisation azotée optimale, adaptée à chaque espèce cultivée, ainsi qu'un contrôle efficace des adventices diminuent la présence de ces dernières et leurs chances de se ressemer. La Convention de Rio en 1992 a établi des critères de biodiversité et a fourni une définition détaillée; ainsi,

la diversité biologique, ou biodiversité, est «la variabilité des organismes vivants de toute origine et des complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes» (<https://www.cbd.int>).

Selon Henle *et al.* (2008), il existe en Europe trois grands éléments de conflits entre agriculture et biodiversité, pour lesquels il faut trouver des solutions: premièrement, l'intensification des systèmes de culture, deuxièmement l'abandon des sites à biodiversité plus élevée mais marginaux, et troisièmement l'agrandissement des exploitations. De ces trois éléments, l'abandon des sites marginaux notamment est peu pris en considération, puisque ces sites sont généralement convertis en surfaces forestières, ce qui contribue à l'uniformité du paysage. Selon les auteurs, les écosystèmes à forte biodiversité sont souvent dépendants de systèmes agraires traditionnels qui exigent un travail intensif. Mais leur nombre diminue drastiquement car les «quatre grands» (blé, riz, maïs et soja) couvrent directement 64% de nos calories au plan mondial. En Suisse, le riz et le soja sont remplacés par l'orge et le colza. Vu le faible nombre de cultures principales, les possibilités d'aménager des rotations culturales diversifiées sur le plan écologique et économiquement viables, sont limitées. Des solutions rapides ne sont pas en vue. Il nous faut des paramètres clairs concernant les besoins prévisionnels en produits primaires en Suisse et la valeur écologique et économique des plantes de grande culture, afin de motiver les agriculteurs pour des adaptations nécessaires sans les laisser seuls face à des attentes insensées.

La Suisse a joué un rôle de précurseur en créant, il y a plus de 25 ans, la base légale permettant de lier les paiements directs à des prestations écologiques. En ce moment, des débats ont lieu à l'échelle européenne sur les mesures directes à prendre pour assurer la biodiversité. Il existe un consensus sur le fait que beaucoup d'espèces disparaissent, mais pas du tout sur ce qui doit être fait pour éviter ou du moins freiner la disparition des espèces. L'homme est-il un élément de l'évolution naturelle en Europe ou un dangereux trublion?

Niveaux de biodiversité

Diversité génétique au niveau de la variété et de l'espèce

Les variétés commerciales actuelles sont issues de variétés primitives adaptées localement. Elles sont sélectionnées pour leur potentiel de rendement élevé et leur large adaptation aux facteurs abiotiques, tels que les sols et les conditions météorologiques. Il en résulte une

Résumé ■ La biodiversité dans les agro-écosystèmes diminue de manière inquiétante. Toutefois, nos champs doivent rester productifs, pour contribuer à l'approvisionnement alimentaire de la population. Contrairement aux cultures fourragères, les grandes cultures se concentrent sur la récolte d'un organe défini de la plante cultivée, dont la croissance peut être favorisée par des techniques culturales spécifiques. Ce sont donc les cultures pures qui offrent la plus haute exploitation du rendement potentiel réalisable. Pour trouver des compromis convaincants entre biodiversité et productivité, tous les niveaux de biodiversité doivent être pris en compte: au sein de la variété, du champ, des bordures de champ et du paysage. Grâce à la diversité génétique, on peut minimiser le besoin de protection des plantes et augmenter le rendement réalisable au sein de la variété et de l'espèce. Mais les systèmes actuels d'utilisation des terres limitent les possibilités de maintenir une diversité des organismes à l'intérieur du champ comparable à celle de l'agriculture prémoderne. Des opportunités ont été identifiées et des programmes de promotion ont été mis en place pour favoriser la biodiversité de manière ciblée en bordure de champ et dans les paysages environnants. Ces nouvelles pistes doivent reposer sur les connaissances des sciences socioéconomiques et naturelles et nécessitent une évolution des mentalités. C'est seulement ainsi que nous pourrions établir des règles qui permettront à la fois d'augmenter notre production agricole tout en développant des écosystèmes à haut degré d'autorégulation et des paysages culturels durables.

très grande sécurité de rendement à un niveau élevé. La diversité génétique des variétés modernes dépend en premier lieu du type variétal. Les populations de maïs et de seigle sont hétérozygotes et hétérogènes, donc représentées par d'innombrables génotypes dans la culture. Les variétés autogames de blé et d'orge sont complètement homozygotes et homogènes, du moins en théorie. Dans ce cas, la diversité génétique sur les terres cultivées est quasi nulle, ce qui constitue une déficience en matière de résistance aux organismes nuisibles et de tolérance vis-à-vis du stress abiotique. Par contre, chez les

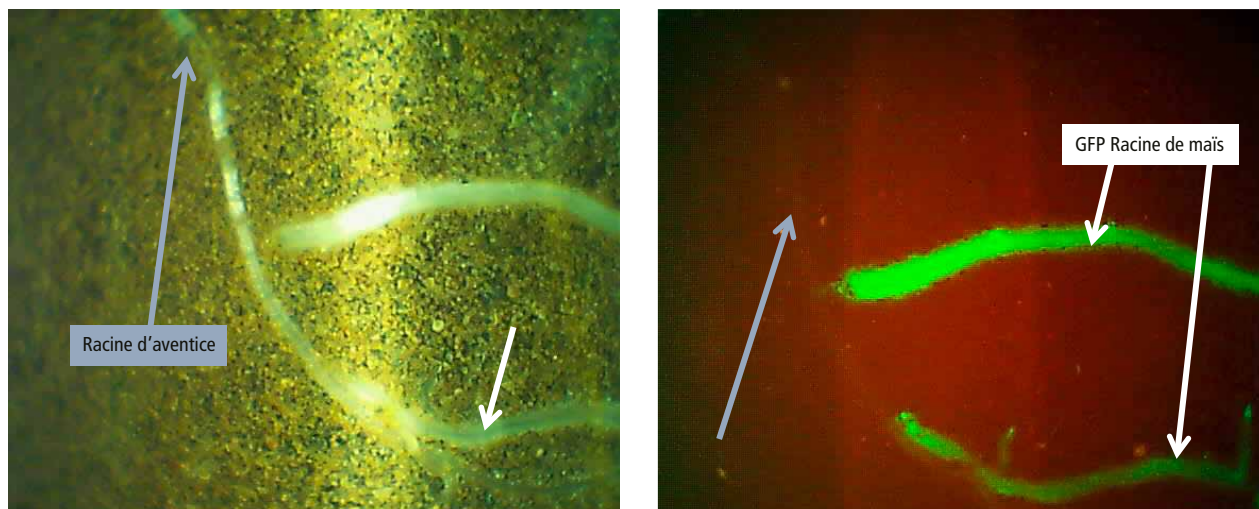


Figure 1 | Nous avons créé à l'ETH Zurich un maïs génétiquement modifié à fluorescence verte (GFP). Ses racines présentent une fluorescence verte sous un éclairage adéquat, photo de droite, et peuvent être séparées des racines des adventices visibles uniquement à la lumière normale, photo de gauche.

variétés hybrides, toutes les plantes d'une culture sont certes totalement homogènes, mais hétérozygotes et ainsi bien protégées face aux conditions environnementales défavorables.

Le but principal de la sélection végétale est depuis des décennies de renforcer la résistance biotique par une recombinaison ciblée d'allèles. De gros espoirs sont placés depuis longtemps sur la variabilité disponible dans les banques de gènes. L'utilisation de ces banques était jusqu'ici laborieuse, puisque qu'il faut environ 15 ans après le premier croisement de la résistance à une maladie à partir de variétés locales pour obtenir un cultivar. A l'Université de Zurich, de nouvelles voies efficaces ont été mises en évidence sur la base d'un modèle, permettant de repérer de façon ciblée de nouveaux gènes de résistance à l'aide de la génétique moléculaire. Un pas important est ainsi effectué vers la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires et la sécurité des rendements (Bhullar *et al.* 2009). Mais la voie menant à des résistances stables doit être plus rapide. Pour cela, le génie génétique, devenu beaucoup plus performant ces dernières années, offre de nouvelles méthodes cis-génétiques. Si une pyramidalisation d'allèles importants au sein d'une variété n'est pas possible, divers allèles de résistance d'un gène pourraient aussi être placés dans des lignées isogéniques d'une même variété de départ, qui seraient ensuite mélangées pour la culture. Cette stratégie permettrait une renaissance des mélanges de variétés d'orge brassicole, si fructueux dans l'ex-RDA, avec le niveau de connaissances actuel (Narziss et Back 2012). Une gestion des cultures durable demandant peu de protection, avec une qualité standardisée, notam-

ment pour le blé panifiable, serait ainsi rendue possible (Fried et Winzeler 1990).

Biodiversité au niveau du champ

Selon la Bible, le champ est un endroit particulier: «Il produira pour toi épines et chardons et tu mangeras l'herbe des champs (Genèse 3)». Malheureusement, nous ne connaissons que mal les interactions entre plantes adventices et plantes cultivées. Dans le cadre de nos propres recherches, nous avons étudié ces relations à l'exemple du système racinaire il y a quelques années (fig. 1 et 2, Britschgi *et al.* 2013). La présence de plantes adventices perturbait plus fortement le système racinaire que la croissance des parties aériennes des plantes de maïs. Par contre, les adventices étaient capables de maintenir leur production racinaire malgré la concurrence. La baisse de biodiversité au sein de la flore adventice soulève la question de savoir dans quelle mesure leur présence était liée à la diversité des rotations, qui n'est plus compatible avec l'agriculture moderne. Les adventices peuvent contribuer de façon positive à la protection des plantes cultivées, en aidant des parasitoïdes à atteindre l'intérieur de la culture au moyen d'adventices fleuries jouant le rôle de «station-service à nectar» (Hausmann *et al.* 2005). Cependant, les hauts rendements actuels ne sont possibles que si les cultures sont protégées de la concurrence dans leur phase juvénile, et qu'elles dominent ensuite toute concurrence ultérieurement, durant la phase de croissance principale.

Chez les céréales à petit grain, les mélanges les plus proches des populations sauvages sont ceux qui ont été adaptés parfaitement à la concurrence avec leurs plus

proches parents au cours de leur évolution. Leur rendement est plus sûr, mais le rendement récoltable est en moyenne plus faible. L'association de cultures était encore chose courante en Allemagne et en Suisse dans les années 50, avec pour composantes le seigle de printemps, l'avoine de printemps, la féverole et le pois. C'était une assurance de rendement pour les années humides comme pour les années sèches. Mais aujourd'hui, les connaissances fondamentales sur les exigences des différentes espèces et la gestion spécifique des cultures sont si grandes et la mécanisation, des récoltes notamment, est tellement avancée que les associations d'espèces au champ font exception.

Les cultures intermédiaires sont depuis des décennies un élément écologique important des grandes cultures. Avec une planification judicieuse, l'effet phytosanitaire de rotations déséquilibrées peut être atténué et les pertes d'éléments nutritifs minimisés. A l'ETH Zurich, de nombreuses thèses de doctorat traitant de l'impact des cultures intermédiaires ont été réalisées en collaboration avec Agroscope au cours des 25 dernières années. Par exemple, le comportement de concurrence du maïs sur un ensemencement dans un couvert végétal vivant de raygras italien a été étudié selon la méthodologie exposée dans la figure 1. Cette concurrence a très fortement retardé le développement racinaire du maïs, mais la relation entre densité racinaire et surface foliaire, organes d'assimilation des éléments nutritifs et du carbone, est restée la même (Faget *et al.* 2012). Le bilan général de cette période de recherche est mitigé. La couverture

du sol le protège de l'érosion et du lessivage des fertilisants et polluants. Toutefois le surcroît de travail de culture est important et la gestion de l'eau et de l'azote dans le cycle annuel devient complexe. En outre, notre climat maritime limite fortement la modélisation et la généralisation des résultats, car les essais de grandes cultures avec cultures intermédiaires sont très coûteux et peuvent rarement être conduits sur plusieurs années et à plusieurs endroits. La pratique internationale d'évaluation variétale, avec l'étude sur plusieurs années et à différents endroits de chaque nouvelle variété, pourrait constituer un modèle pour la planification coordonnée de recherches sur l'aptitude des cultures intermédiaires à l'avenir. En regard du choix variétal, la sécurité de décision de l'agriculteur est très limitée pour les cultures intermédiaires.

Biodiversité au niveau de la bordure du champ

Autrefois, les haies en bordure de champ jouaient un rôle agro-forestier important, en fournissant du bois de feu, des noix, des baies, etc. Aujourd'hui, la signification écologique des bordures de champ occupe le premier plan, car elles constituent des éléments importants de la politique agricole axée sur la durabilité. Les surfaces étant majoritairement petites en Suisse, ces bordures représentent un grand pourcentage de la surface de terres cultivées. Elles peuvent entre autres offrir des zones de refuge pour de nombreux organismes utiles, mais aussi nuisibles pour les cultures. C'est pourquoi l'évaluation bénéfique/dommages dépend aussi très fortement de

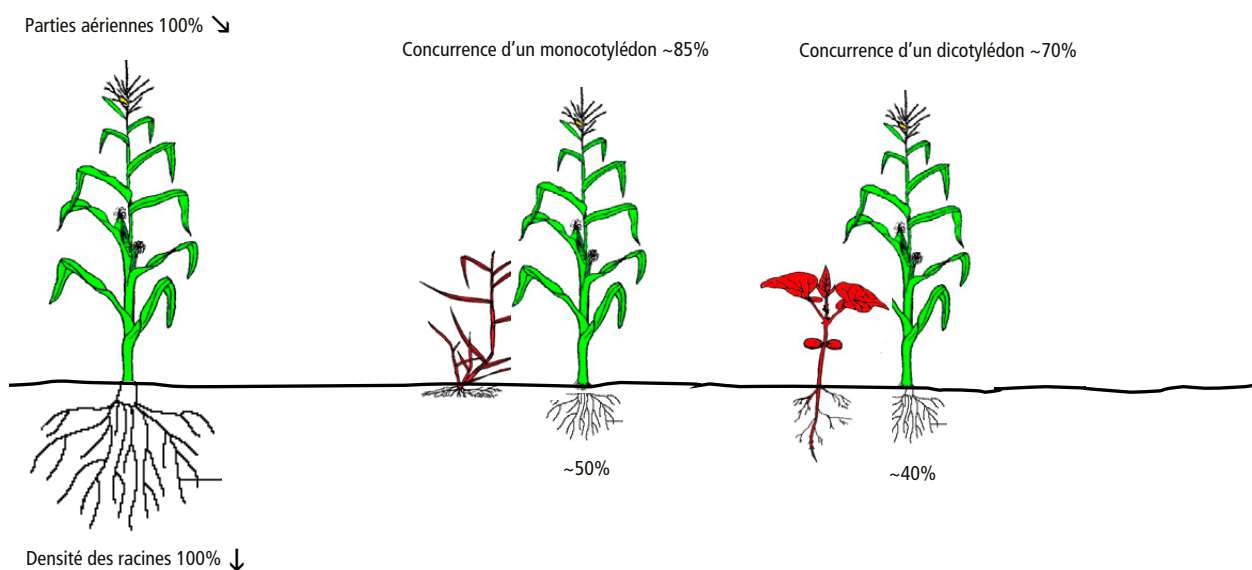


Figure 2 | Volume des parties aériennes et densité des racines de maïs en concurrence avec des adventices monocotylédones (panis pied-de-coq, souchet comestible) et dicotylédones (chénopode blanc, amarante réfléchie).

quelle manière et à quelle distance les organismes utiles, nuisibles et leurs parasitoïdes pénètrent dans un champ. Les conflits d'objectifs entre biodiversité et protection des cultures doivent être analysés et résolus, comme par exemple la possibilité d'une infestation de limaces, d'une présence accrue d'ergot du seigle ou de chardon vulgaire, etc. (Rucht et Studer 2015). La bordure de champ, en tant que composante écologique, pourrait théoriquement servir de lieu de refuge pour la flore et la faune autrefois plus présentes dans les habitats pauvres. Mais dans l'agriculture intensive des dernières décennies, ces bordures ont été compactées comme voies de circulation et rarement ménagées lors de l'application d'engrais et de pesticides. Les champs devenant de plus en plus grands, la question se pose de savoir si la bordure du champ doit être aménagée de façon absolue ou relative par rapport à la surface entourée. Malheureusement, pour les petites surfaces, les bordures sont traditionnellement presque absentes. Pour les grandes surfaces, le champ est souvent délimité uniquement par la topographie et il y a encore la place pour des mesures permettant de relier champs et paysages environnants de façon adéquate.

Biodiversité au niveau du paysage agricole

En Europe centrale, quand on parle de paysages naturels ou semi-naturels, les spécialistes sont conscients du fait que l'agriculture et la sylviculture ont façonné chez nous (presque) toutes les surfaces. Le professeur Hugo Steinhauser, économiste agricole, a tenu en 1987 à Munich une conférence clairvoyante devant des spécialistes en production végétale: «Vom Landwirt zum Landschaftswirt» («Du paysan au paysagiste»). Une des missions de l'agriculture et de la société est d'atteindre un équilibre entre biodiversité et production qui ne soit pas seulement muséal, mais qui intègre les évolutions en sciences agronomiques et environnementales. C'est la seule manière de garantir la biodiversité directement dans ou à côté des agro-écosystèmes productifs. Beaucoup de sols acides ou pauvres ont été amendés chimiquement au cours des 150 dernières années, les zones humides ont été drainées. Un renversement de ces conditions est très difficile, au plan technologique et juridique. Les surfaces cultivées font partie du paysage, mais leurs composantes déterminent si, par exemple, les arbres sont appréciés comme lieux de nidification pour les oiseaux chanteurs et les rapaces ou si des vols d'oiseaux sont craints après le semis ou avant la récolte. La protection d'éléments du paysage est importante, mais aussi onéreuse, et ne doit pas être à la charge de l'agriculteur seul.

Productivité et biodiversité

Contrairement aux cultures fourragères, l'objectif des grandes cultures est la récolte d'un organe défini de la plante cultivée qui – même dans le cas le plus simple de la betterave – doit être produit en plusieurs phases avant de pouvoir stocker des assimilats et leurs dérivés. Ces étapes de développement peuvent être optimisées par diverses techniques culturales afin de garantir une réalisation élevée du rendement génétique maximal ainsi qu'une qualité de production optimale. L'association de cultures ou la coexistence d'adventices – principalement sans produits phytosanitaires chimiques – peuvent très bien permettre de minimiser les risques d'épidémie (maladies, ravageurs) et d'atténuer l'impact de conditions météorologiques extrêmes (trop chaud et sec, trop humide et froid). Toutefois, nos cultivars modernes sont les héritiers des meilleurs allèles des variétés locales pour la résistance et la tolérance dans «toutes les situations» et sont de véritables merveilles de flexibilité, livrant en permanence de très hauts rendements à la fin de leur période de croissance. On peut donc s'attendre à ce qu'en règle générale les monocultures d'espèces cultivées présentent une exploitation maximale du rendement réalisable. Bien sûr, on peut renoncer au potentiel de rendement maximal pour permettre à d'autres objectifs de dominer; par exemple, l'utilisation minimale de ressources non renouvelables – une option d'avenir avec des phosphates naturels se faisant rares – ou le renoncement aux produits chimiques potentiellement nocifs pour l'environnement.

Conclusions

Nous avons besoin d'un équilibre entre qualité du paysage et taille des exploitations. Il faut pour cela clarifier quels types de paysages la société souhaite à l'avenir, et lesquels sont possibles pour des grandes cultures modernes économiques et écologiques. Pour nos paysages, marqués le plus souvent par des petites structures et diversifiés, dans des terrains topographiquement très exigeants, se pose la question de savoir si, avec des exploitations plus grandes, l'entretien du paysage doit devenir une tâche publique. Si cela n'est pas souhaité ou finançable, alors la taille des exploitations doit rester raisonnable. Les exploitations de grandes cultures pures devraient être soumises à une limitation de surface, afin de «garder les pieds sur terre». Sinon, les mesures en faveur de la biodiversité sont trop exigeantes pour les agriculteurs. ■

Riassunto**Biodiversità e produzione in campicoltura**

Negli ecosistemi agrari la biodiversità diminuisce in modo preoccupante. Tuttavia, i nostri campi e il loro paesaggio devono coprire gran parte del fabbisogno di alimenti di base della popolazione. Contrariamente a quanto avviene nella foraggicoltura, nella campicoltura l'obiettivo del raccolto è costituito da un determinato organo della pianta, la cui coltura è facilitata da specifiche misure colturali. Perciò le monocolture consentono di sfruttare al massimo il potenziale del raccolto. La ricerca di compromessi sostenibili deve tener conto di ogni livello della biodiversità: varietà, campo, bordi campo e paesaggio. La diversità genetica consente di ridurre la necessità di protezione fitosanitaria di una specie e delle sue varietà, aumentandone la produttività. Tuttavia, i sistemi attuali di uso del terreno limitano le possibilità di ripristinare, su un campo, il livello di diversità di organismi che esisteva agli albori della moderna agricoltura. Le potenzialità esistenti nei bordi dei campi e nel paesaggio circostante sono state identificate e messe in opera mediante programmi finalizzati alla promozione della biodiversità. Le nuove opportunità devono basarsi sulle conoscenze socioeconomiche e scientifiche e richiedono un cambio di mentalità in seno alla società. È il solo modo di creare regole che consentano di aumentare la nostra produzione primaria, di promuovere ecosistemi in grado di autoregolarsi e di garantire la sostenibilità dei paesaggi prevalentemente rurali.

Bibliographie

- Bhullar N.K., Street K., Mackay M. & Keller B., 2009. Unlocking wheat genetic resources for the molecular identification of previously undescribed functional alleles at the *Pm3* resistance locus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **106** (23), 9519–9524.
- Britschgi D., Stamp P. & Herrera J.M., 2013. Root growth of neighboring maize and weeds studied with minirhizotrons. *Weed Science* **61** (2), 319–327.
- Faget M., Liedgens M., Feil B., Stamp P. & Herrera J.M., 2012. Root growth of maize in an Italian ryegrass living mulch studied with a non-destructive method. *European Journal of Agronomy* **36**, 1–8.
- Fried P.M. & Winzeler H., 1990. Variation of characters in near-isogenic lines of wheat with added genes for leaf rust resistance. *Euphytica* **48**, 87–92.
- Hausmann C., Wackers F.L. & Dorn S., 2005. Sugar convertibility in the parasitoid *Cotesia glomerata*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* **60** (4), 223–229.

Summary**Biodiversity and productivity in agriculture**

Concerns exist about the rapid decline of biodiversity in agroecosystems. However, we need arable land and the related landscapes to cover a high percentage of basic food supply in our society. Contrary to feed production in grasslands, arable crops need to develop specified harvestable organs before harvest is possible. Thus, the cultivation of crops in pure stands allows farmers not only to implement supporting production measures but also to reach the highest possible level of the realizable yield potential. In the search for sustainable trade-offs between productivity and biodiversity, all levels of biodiversity must be considered: the crop variety, the field, the field borders, and the landscape. Genetic diversity within variety and species can help minimize the need for plant protection and increase the yield. However, current land use systems limit the potential to maintain the species richness at the level of premodern agriculture. Options were recognized and translated into public programs for a targeted support of biodiversity at the levels of field borders and landscapes. New approaches to agriculture have to be based on knowledge generated in socioeconomy and natural sciences and require a rethinking in our society. Only with the latter can we implement new rules that will increase our primary production, promote ecosystems with high self-regulatory potential, and create sustainable farming-dominated landscapes.

Key words: arable fields, biodiversity, spatial levels from variety to landscape.

- Henle K., Alard D., Clitherow J., Cobb P., Firbank L., Kull T., McCracken D., Moritz R.F.A., Niemelä J., Rebane M., Wascher D., Watt A. & Young J., 2008. Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe – A review. *Agriculture Ecosystems & Environment* **124** (1–2), 60–71.
- Narziss L. & Back W., 2012. Gerstenanbau. In: Die Bierbrauerei Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. Wiley-VCH, 17 ff.
- Ruchti K. & Studer C., 2015. Conflicts d'objectifs entre promotion de la biodiversité et protection phytosanitaire. *Recherche Agronomique Suisse* **6** (4), 174–177.
- Streit B., Rieger S.B., Stamp P. & Richner W., 2003. Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *Weed Research* **43** (1), 20–32.