



Achim Walter, Bruno Studer, Andreas Hund, Christoph Grieder,
Luisa Last et Beat Keller | ETH Zurich

1^{er} avril 2014

Analyse du contexte de la sélection végétale suisse

Stratégie de sélection végétale 2050

Dossier n° : BLW-551.00-6653/11/2/3/115

Remarque

Le présent document correspond à une traduction automatique légèrement améliorée, susceptible donc de contenir des erreurs de terminologie ou autres. C'est la version allemande qui fait foi.

Cette étude a été commandée par l'Office fédéral de l'agriculture, OFAG pour le projet « Stratégie de sélection végétale 2050 » en 2013 et 2014 et a été éditée par le rédacteur.



Impression

Éditeur

Office fédéral de l'agriculture OFAG
Schwarzenburgstrasse 165
CH-3003 Berne
www.blw.admin.ch

Montage / Édition

Hans Dreyer (OFAG), Peter Latus (OFAG), Christine Zundel (OFAG), Arnold Schori (Agroscope), Michael Winzeler (Agroscope), Benno Graf (Agroscope), Willy Kessler (Agroscope) et Bruno Arnold (Agridea)

Entrepreneur

ETH Zurich
Institut des sciences agricoles (IAS)
Groupe des sciences végétales
Prof. Dr Achim Walter
Rue de l'Université 2
CH-8092 Zurich
Tél. +41 44 632 32 72
achim.walter@usys.ethz.ch

Auteurs

Prof. Dr Achim Walter | ETH Zurich, Chaire de phytotechnie
Prof. Dr. Bruno Studer | ETH Zurich, Chaire de génétique des plantes fourragères
PD. Dr. Andreas Hund | ETH Zurich, Crop Science Group
Dr. Christoph Grieder | ETH Zurich, Crop Science Group
Dr. Luisa Last | ETH Zurich, Groupe des sciences végétales
Beat Keller | ETH Zurich, Groupe des sciences végétales

Table des matières

Liste des figures	7
Liste des tableaux	8
Glossaire	9
1 Introduction	12
1.1 Dynamique générale de la sélection et de la production végétale	12
1.2 Motivation, objectif, conditions cadres et contenu de cette analyse du contexte	12
2 Situation de la production agricole végétale aujourd'hui et à l'avenir	14
2.1 Aperçu des principales cultures (monde, UE, Suisse)	14
2.2 Production et sécurité alimentaires	15
2.2.1 <i>Intensité de la production</i>	16
2.2.2 <i>Qualité des aliments et santé</i>	16
2.3 Cultures sélectionnées ayant une importance pour la Suisse	17
2.3.1 <i>Céréales</i>	17
2.3.2 <i>Légumineuses</i>	20
2.3.3 <i>Oléagineux</i>	22
2.3.4 <i>Cultures fourragères</i>	25
2.3.5 <i>Fruits</i>	26
2.3.6 <i>Légumes</i>	27
2.3.7 <i>Pommes de terre</i>	29
2.3.8 <i>Plantes médicinales et aromatiques</i>	29
2.3.9 <i>Viticulture</i>	30
2.4 Cultures énergétiques	31
2.5 Cultures alternatives	32
2.6 Prévision du développement futur	32
3 Stratégies de sélection existantes et futures et principaux programmes de sélection	34
3.1 Qu'est-ce que la reproduction ?	34
3.2 Stratégies de sélection au niveau européen	35
3.3 Stratégies d'sélection au niveau national	36
3.3.1 <i>Allemagne</i>	36
3.3.2 <i>France</i>	39
3.3.3 <i>Italie</i>	41
3.3.4 <i>Suisse</i>	41
3.4 Les cultures importantes et leur sélection	43
3.4.1 <i>Sélection du blé</i>	43
3.4.2 <i>Sélection de plantes fourragères</i>	48
3.4.3 <i>Sélection du soja</i>	50
3.4.4 <i>L'sélection des pommes</i>	52
3.4.5 <i>Culture de légumes</i>	53
3.4.6 <i>Sélection des pommes de terre</i>	55
3.4.7 <i>Sélection de plantes médicinales</i>	55

3.4.8	<i>Sélection des oléagineux</i>	56
3.4.9	<i>Sélection de cultures énergétiques</i>	57
3.4.10	<i>Sélection biologique</i>	58
3.5	Méthodes de sélection.....	61
3.6	Programmes achevés – Expérience.....	64
3.6.1	<i>Étude de cas sur la sélection du blé en Angleterre</i>	64
3.7	Conclusions	65
4	Écoefficacité	67
4.1	Mesurer l'écoefficacité	67
4.2	Efficacité grâce aux pratiques de gestion.....	68
4.2.1	<i>Agriculture de précision</i>	68
4.2.2	<i>Cultures mixtes</i>	68
4.2.3	<i>Engrais vert</i>	68
4.2.4	<i>Production biologique et conventionnelle</i>	68
4.3	Recyclage de la biomasse.....	69
4.3.1	<i>Fumier de ferme</i>	69
4.3.2	<i>Gaspillage alimentaire</i>	69
4.3.3	<i>Application de compost contre les maladies fongiques transmises par le sol</i>	69
4.4	Efficacité des nutriments et sélection	70
4.4.1	<i>Azote</i>	70
4.4.2	<i>Phosphore</i>	71
4.4.3	<i>Des symbioses pour une meilleure efficacité des nutriments</i>	71
4.4.4	<i>Sélection et utilisation de variétés efficaces</i>	71
4.4.5	<i>Sélection de la résistance</i>	72
4.4.6	<i>Recherche sur les racines</i>	72
4.5	Conclusion.....	73
5	Le défi du changement climatique	75
5.1	Prévisions régionales pour la Suisse.....	75
5.1.1	<i>Suisse septentrionale</i>	76
5.1.2	<i>Suisse méridionale</i>	76
5.2	Conséquences pour les cultures	77
5.2.1	<i>Nord-est de la Suisse</i>	77
5.2.2	<i>Suisse occidentale</i>	78
5.3	Zones climatiques comparables	79
5.4	Cultures tolérantes à la sécheresse	80
5.5	Maladies, ravageurs et insectes utiles.....	80
5.6	Conséquences pour l'agriculture suisse.....	80
6	Développement technologique dans la culture et la transformation	82
6.1	Développement des machines	82
6.1.1	<i>Semis direct</i>	82
6.1.2	<i>Irrigation</i>	83

6.1.3	<i>Récolte automatisée</i>	83
6.1.4	<i>Le compactage du sol</i>	84
6.2	Traitement des aliments	84
6.2.1	<i>Protéines pour la qualité de la cuisson</i>	84
6.2.2	<i>Traitement des produits à base de pâte</i>	85
6.2.3	<i>Utilisation des nanotechnologies</i>	85
6.3	Récupération des nutriments : Exemple de recyclage des phosphates	85
7	Développement des marchés agricoles	86
7.1	La culture de l'avenir	86
7.2	Développement des surfaces cultivées mondiales et régionales	87
7.2.1	<i>Commerce international</i>	87
7.2.2	<i>Évolution des prix des denrées alimentaires</i>	88
7.2.3	<i>Viande</i>	88
7.2.4	<i>Lait</i>	88
7.2.5	<i>Légumineuses</i>	88
7.3	Rôle de l'agriculture suisse	88
7.4	Développement du secteur de la production biologique	90
7.5	Conclusion pour la sélection végétale	90
8	Consommation et pouvoir d'achat	91
8.1	L'évolution du pouvoir d'achat en Suisse	91
8.2	Comportement des consommateurs	91
8.3	Production et autosuffisance alimentaires	92
8.4	Ce qui est important pour le consommateur suisse	93
8.4.1	<i>Confiance et prix</i>	93
8.4.2	<i>Les consommateurs et la chaîne de valeur</i>	94
8.4.3	<i>Consommateurs et santé</i>	94
8.5	L'avenir de la consommation alimentaire en Suisse	95
9	Modèles de coopération en matière de sélection	96
9.1	Programmes de recherche	97
9.2	Plateformes d'innovation et de technologie	97
9.3	Transfert de connaissances et de technologies	98
9.4	Utilisation des synergies par la coopération	98
9.4.1	<i>Exploitation des synergies par l'échange de matériel de reproduction</i>	98
9.4.2	<i>Exploiter les synergies grâce à des laboratoires de biotechnologie communs</i>	99
9.4.3	<i>Utilisation des synergies par le biais d'un marketing conjoint</i>	99
9.5	Plateformes de connaissances et d'éducation	100
9.6	La sélection participative	100
9.7	Formation en sélection végétale	101
9.8	Du modèle de coopération au centre de compétences intégré	101
10	Synthèse	102
11	Bibliographie	104

12	Annexe I : Liste des personnes interrogées.....	124
13	Annexe II : Aperçu des projets relatifs au blé	126

Liste des figures

Figure 1 Parts de surface en pourcentage des principales cultures au niveau mondial, dans l'Union européenne (UE) et en Suisse	14
Figure 2 : Évolution relative de la surface cultivée des principales cultures en Suisse, France, Allemagne et Italie depuis 1961 (légumineuses Suisse par rapport à 1973)	15
Figure 3 : Superficie des céréales en Suisse par rapport à 1961 (triticale par rapport à 1987) et en chiffres absolus (source des données : FAOSTAT (2012)).....	18
Figure 4 : Superficie des légumineuses en Suisse par rapport à 1990 (lupin par rapport à 2006) et en valeur absolue (données manquantes pour la féverole de 1996 à 2008) (source des données : FAOSTAT (2012)).	21
Figure 5 : Développement des performances de rendement et des variétés de colza (<i>Brassica napus</i>) en Allemagne (Source : Brauer (2012))	24
Figure 6 : Représentation schématique du cycle d sélection (représentation propre).....	35
Figure 7 : Représentation schématique des stratégies de recherche (« Horizon 2020 » et « Bioéconomie ») et des programmes de financement qui influencent la sélection et permettent des innovations technologiques via des « partenariats public-privé » (PPP).....	37
Figure 8 Part des priorités de sélection dans le financement de la recherche en Allemagne (6,7 millions d'euros par an) (Source : « PLANT 2030 » et « Wheat Initiative »).....	44
Figure 9 : Part des méthodes utilisées dans le financement de la recherche en Allemagne (6,7 millions d'euros par an) (Source : « PLANT 2030 » et « Wheat Initiative »)	44
Figure 10 : Noms des institutions de sélection ou de maintien et nombre de variétés de trèfle rouge inscrites sur la liste de l'CPVO (Office communautaire des variétés végétales). En outre, 31 autres institutions ont enregistré moins de 3 variétés depuis 2000.....	49
Figure 11 : Noms des institutions de sélection ou de maintenance et nombre de variétés de ray-grass italien inscrites sur la liste de l'CPVO (Office communautaire des variétés végétales). En outre, 35 autres institutions ont moins de 5 variétés enregistrées.	50
Figure 12 : Noms des institutions de sélection ou de maintenance et nombre de variétés de colza enregistrées sur la liste de l'CPVO (Office communautaire des variétés végétales). En outre, 19 autres institutions ont enregistré moins de dix variétés depuis 2000.	57
Figure 13 : Les outils de sélection et leur influence sur le processus de sélection (Représentation personnelle).....	61
Figure 14 : Changements prévus des températures et des précipitations dans le nord-est de la Suisse par rapport aux valeurs de 1980-2009 selon les trois scénarios climatiques A2, A1B et RCP3PD (source : CH2011 (2011)).....	76
Figure 15 : Sans application d'herbicide, le semis direct est appliqué dans un mélange d'engrais verts sur pied (Source : Dierauer et Böhler (2012)).	83
Figure 16 : Un jet d'eau coupe la laitue, après quoi la laitue est évacuée sur un tapis roulant (source : ramsayhighlander.com).....	83
Figure 17 : Croissance des principaux produits agricoles de base de 2005/2007 à 2050 (Source : Alexandratos et Bruinsma (2012)).....	87
Figure 18 : Évolution de la consommation moyenne des différents groupes d'aliments entre 1980 et 2008 en Suisse. Chiffres en kg par habitant et par an, y compris l'évolution en pourcentage. (Source des données : OFSP (2012)).	92
Figure 19 : Représentation schématique de la forme et du contenu des modèles de coopération réussis dans le domaine de la sélection végétale.	96

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre de projets établis, investissements annuels résumés ainsi que les approches de recherche poursuivies et les projets individuels les plus importants pour les domaines de recherche les plus importants dans la sélection du blé.....	46
Tableau 2 : Résultats de l'enquête d'un panel d'experts sur l'utilisation des technologies modernes de sélection dans la sélection végétale.....	63
Tableau 3 : Principaux défis dans le domaine de l'écocoefficacité et du changement climatique et approches pour les résoudre dans le domaine de la technologie (voir également le chapitre 5) et de la sélection.	74
Tableau 4 : Changements attendus du climat suisse d'ici 2050 et leurs effets sur les rendements des cultures (Sources : CH2011 (2011), Torriani, Calanca et al. (2007a), Finger et Schmid (2008), Finger, Lazzarotto et al. (2010), Lehmann, Briner et al. (2013))	79

Glossaire

AFSPA	Association fédérale des sélectionneurs de plantes allemands e.V.
AGSB	Analyse du génome dans le système biologique végétal
ANR	Agence Nationale de la Recherche
APSV	Association pour la promotion de la sélection végétale privée allemande e. V.
AWEL	Office des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air
BBSRC	Biotechnology and Biological Sciences Research Council [Conseil de la recherche en biotechnologie et en sciences biologiques]
CAMEL	Camomille, valériane et mélisse
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo [Centre international d'amélioration du maïs et du trigo (CIAMT)]
CIRC	Crop Improvement Research and Technology Club
CMS	Cytoplasmatic male sterile
COBRA	Coordinating organic plant breeding activities for diversity
CPVO	Community Plant Variety Office
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
DEFRA	Department for Environment, Food, and Rural Affairs
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DOC	Dynamique, organique, conventionnel
DSP	Semences et plantes Delley SA
dt/ha	Décitonne par hectare
ETP	European Technology Plattform [Plate-forme technologique européenne]
FACCE – JPI	Joint Programming Initiative on Agriculture, Food Security and Climate Change
FAO	Organisation pour l'alimentation et l'agriculture
FEA	Fondation Ecologie & Agriculture
FiBL	Institut de recherche sur l'agriculture biologique
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
FNS	Fonds national suisse de la recherche
FP7/RP7	Septième programme-cadre/Seventh Framework Programme
FSOV	Fonds de soutien à l'obtention végétale
GIS BV	Groupe d'intérêt scientifique « Biotechnologies végétales
GWP	Global Warming Potential [Potentiel de réchauffement de la planète]
GZPK	Sélection de céréales Peter Kunz
ha	Hectare

HOLL	High Oleic Low Linolenic
ILVO	Institut de recherche sur l'agriculture et la pêche
INBA	Institut national de botanique agricole
INRA	Institut national de la recherche agronomique
IPK	Institut Leibniz de génétique végétale et de recherche sur les plantes cultivées
ISP	Protéines antigél
JGI	Joint Genome Institute
JKI	Institut Julius Kühn
LCA	Life Cycle Assessment
LfL	Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft [Centre de recherche agricole de l'État de Bavière]
MAP	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
MAS	Sélection assistée par marqueur
MFAAPC	Ministère fédéral de l'alimentation, de l'agriculture et de la protection des consommateurs
MFER	Ministère fédéral de l'éducation et de la recherche
Mia.	Milliard
Mio.	Million
N	Azote
NordGen	Centre nordique de ressources génétiques
NUE	Efficacité de l'utilisation de l'azote, Efficacité de l'utilisation de l'azote
OFAG	Office fédéral de l'agriculture
OGM	Organisme génétiquement modifié
P	Phosphore
PAB	Programme fédéral pour l'agriculture biologique et d'autres formes d'agriculture durable
PAN	Plan d'action national
PBI	Institut de l'amélioration des plantes
PGREL	Ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture
PINA/PINB	Puroindoline a et b
PLANT-KBBE	Transnational Plant Alliance for Novel Technologies – Vers la mise en œuvre de la bioéconomie fondée sur la connaissance en Europe et au-delà
PME	Petites et moyennes entreprises
PNR	Plan national de recherche
PPP	Partenariats public-privé
QTL	Quantitative Trait Loci

R&D	Recherche et développement
RAPP	Réseau allemand de phénotypage des plantes
REDES	Efficience des ressources au service de la sécurité alimentaire
SAP	Société pour l'amélioration des plantes e.V.
SNP	Single Nucleotide Polymorphism
SOLIBAM	Strategies for Organic and Low-input Integrated Breeding and Management
SSR	Single Nucleotide Polymorphism
SVI	Sélection végétale innovante dans le système de culture
t	Tonne
TILLING	Targeting Induced Local Lesions in Genomes
UE	Union européenne
UFOP	Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V.
UFS	Union Française des Semenciers
USB	United Soybean Board
USDA	United States Department of Agriculture
WISP	Wheat Improvement Strategic Programme
WYC	Wheat Yield Consortium
ZUEFO	Züchtung feuerbrandrobuster Obstsorten [Sélection de variétés fruitières résistantes au feu bactérien]

1 Introduction

1.1 Dynamique générale de la sélection et de la production végétale

L'importance des différentes espèces cultivées dans la production agricole actuelle peut changer très rapidement. Ceci est dû à une variété de facteurs qui ont des effets spatiaux et temporels différents. Par exemple, la demande d'ingrédients spécifiques, la fréquence des cultures ou la distribution de certaines cultures peuvent changer. Les progrès technologiques ouvrent également de nouvelles possibilités pour la culture de plantes qui n'étaient pas envisagées auparavant, mais qui présentent un intérêt économique (Stamp, Messmer et al. 2012). En outre, la sélection continue de nouvelles variétés ou les réglementations politiques, par exemple les paiements directs, le soutien des prix du soja ou la réglementation du génie génétique, ont une forte influence sur la fréquence de culture d'une culture (Schori, Charles et al. 2003). On peut citer à titre d'exemple la sélection pour l'adaptation au froid du soja aux conditions climatiques locales ou l'essor du colza, qui est devenu une culture importante en Europe en l'espace de 50 ans seulement. Toutefois, des investissements à long terme sont nécessaires, car il faut au moins 25 ans pour adapter une culture de niche aux conditions de production modernes (Stamp, Messmer et al. 2012).

1.2 Motivation, objectif, conditions cadres et contenu de cette analyse du contexte

Cette analyse du contexte de la sélection végétale suisse a été préparée dans le cadre de la « Stratégie suisse de sélection végétale », un projet de l'unité de direction Moyens de production agricole (UD MP) de l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) à Berne. La « Stratégie suisse pour la sélection végétale » doit contribuer à une économie agricole et alimentaire durable en Suisse à l'horizon 2050.

L'objectif de cette analyse de contexte est de décrire la situation actuelle et future de la sélection végétale dans l'environnement national et international. Il met en évidence les plus importants programmes de sélection végétale en Europe et dans d'autres régions pertinentes pour la Suisse et montre en particulier les interactions entre les acteurs. Il souligne également les développements techniques, climatiques, économiques, sociaux et institutionnels qui sont pertinents et doivent être pris en compte dans le cadre de la « Stratégie suisse pour la sélection végétale ».

L'élaboration suivante de l'analyse du contexte tient compte de ces développements sur la base du cadre politique actuel de la production agricole et de la sélection végétale en Suisse et en Europe. Il convient de souligner explicitement que ce cadre politique peut changer considérablement en peu de temps en raison de facteurs individuels. En ce qui concerne la sélection végétale, il convient de souligner ici la position particulière de l'Europe et de la Suisse en matière de culture et d'utilisation de plantes génétiquement modifiées (OGM). Le renoncement à l'utilisation de cette technologie, pour des raisons politiques, distingue nettement la Suisse (et l'Europe) du reste du monde. La levée de l'interdiction pourrait modifier considérablement l'environnement de la sélection européenne en Suisse.

Le travail qui s'ensuit est basé sur le contenu de plus de 40 entretiens avec des experts et 300 études de la littérature et est divisé en chapitres suivants : Après une introduction à la situation et aux tendances actuelles de la culture de plantes importantes (chapitre 1), la question se pose de savoir quelles sont les principales stratégies de sélection (chapitre 2) poursuivies par un État ou même une entreprise. Celles-ci prennent en compte les besoins des cultures futures, en tenant compte d'autres facteurs, tels que la rareté des ressources, l'amélioration de l'efficacité ou de la qualité, et les adaptations climatiques. Ces stratégies sont très variables et incluent la manière dont la reproduction ou les progrès de la reproduction sont réalisés. L'écocoefficacité de la production végétale est une

question importante, surtout si l'on considère la rareté des ressources tout en s'efforçant d'augmenter les rendements (chapitre 3). Outre l'augmentation de l'efficacité, une approche prudente du contexte, par exemple la réduction de l'impact environnemental de la production agricole, est également devenue un point central de l'agriculture durable. À long terme, la préservation et l'expansion de l'agrobiodiversité sont nécessaires à une production alimentaire durable et sont également souhaitées par une partie de la population (Pretty 2008). Le changement climatique (chapitre 4) peut et va également avoir une influence sur la sélection et la culture d'un large éventail de plantes en Suisse, selon la région. Des changements importants dans les objectifs de sélection et la fréquence de culture se produisent également à la suite de l'évolution technique des techniques de culture, de transformation et de production, qui nécessitent des caractéristiques de sélection différentes ou l'adaptation de la culture à son environnement (chapitre 5). Un facteur qui influence également la sélection au niveau mondial est le développement des marchés agricoles (chapitre 6). Des changements tels que l'ajustement des prix aux niveaux européens sont également pertinents dans le contexte de la sélection (Lehmann, Briner et al. 2013). A cela s'ajoutent les besoins et les possibilités financières (pouvoir d'achat) des consommateurs (chapitre 7), qui contribuent à une certaine dynamique de la sélection végétale et de la production alimentaire par leur comportement de consommation et d'alimentation. Au chapitre 8, les modèles de coopération seront présentés et expliqués. La conclusion de cette étude constitue une synthèse des points les plus importants, qu'il convient de souligner une fois encore dans le contexte de cette étude.

2 Situation de la production agricole végétale aujourd'hui et à l'avenir

Pour que l'agriculture contribue de manière significative à l'approvisionnement du pays, elle doit être disponible quantitativement et qualitativement et exploiter son potentiel. La sélection et le développement de systèmes de production ont un rôle clé à jouer à cet égard (Kopainsky, Flury et al. 2013). Il sera inévitable à l'avenir d'accroître l'efficacité en choisissant et en sélectionnant les bonnes espèces et en les intégrant dans des systèmes de production adaptés. Cela est d'autant plus important que l'on prévoit une nouvelle diminution des terres agricoles et de la production domestique d'ici 2050, une augmentation des pertes d'azote et des émissions d'ammoniac (Kopainsky, Flury et al. 2013) et l'influence du changement climatique (Mba, Guimaraes et al. 2012).

Dans le chapitre suivant, la situation de la production végétale actuelle sera présentée. Sur la base de chiffres clés importants tels que les surfaces cultivées et la valeur ajoutée, la situation des différentes cultures dans le monde, dans l'UE et en Suisse sera présentée. En outre, les domaines problématiques généraux pour les cultures et les domaines problématiques spécifiques à la Suisse sont énumérés. Lorsque des tendances se dessinent, des prévisions sont faites pour l'avenir.

2.1 Aperçu des principales cultures (monde, UE, Suisse)

Au niveau mondial, sur les 1'216 millions d'hectares de terres arables, 58 % sont cultivés en céréales, suivies par les oléagineux (23 %) et les légumineuses (6,5 %). Dans l'Union européenne (UE-27), les terres arables représentent 80 millions d'hectares, dont 70,8 % sont cultivés en céréales et 21,3 % en oléagineux (Fig. 1). En Suisse, 72 % des 0,204 million d'hectares sont cultivés en céréales et 13,2 % en oléagineux. En comparaison avec l'UE et le monde, une plus grande proportion de la surface en Suisse est cultivée en légumes (7,6 %) et en racines et tubercules (5,4 %) (FAOSTAT 2012).

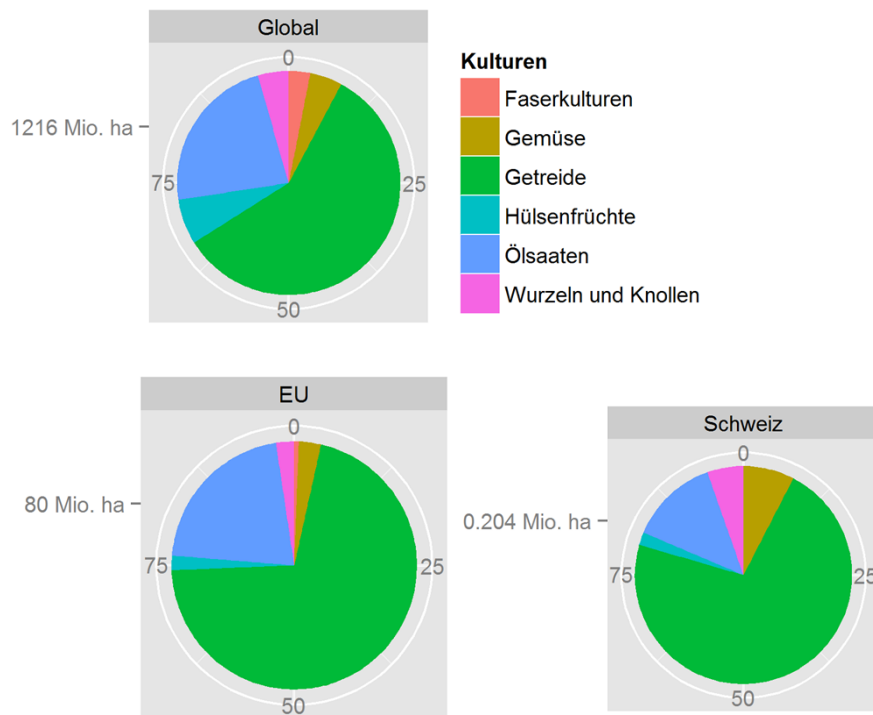


Figure 1 Parts de surface en pourcentage des principales cultures au niveau mondial, dans l'Union européenne (UE) et en Suisse

Afin de pouvoir se prononcer sur la situation et l'évolution future, il convient d'examiner l'évolution des principaux groupes de cultures dans le passé (Fig. 2). De manière générale, la Suisse a suivi la tendance des pays voisins : légère réduction des surfaces en céréales (avec une production en hausse), forte diminution des surfaces en racines et tubercules et augmentation des oléagineux (FAOSTAT 2012). En termes relatifs, la Suisse a surtout augmenté la production de légumes et de légumineuses sur de petites surfaces. L'expansion de la production d'oléagineux s'est faite principalement au détriment de la production céréalière (LID 2010, FAOSTAT 2012).

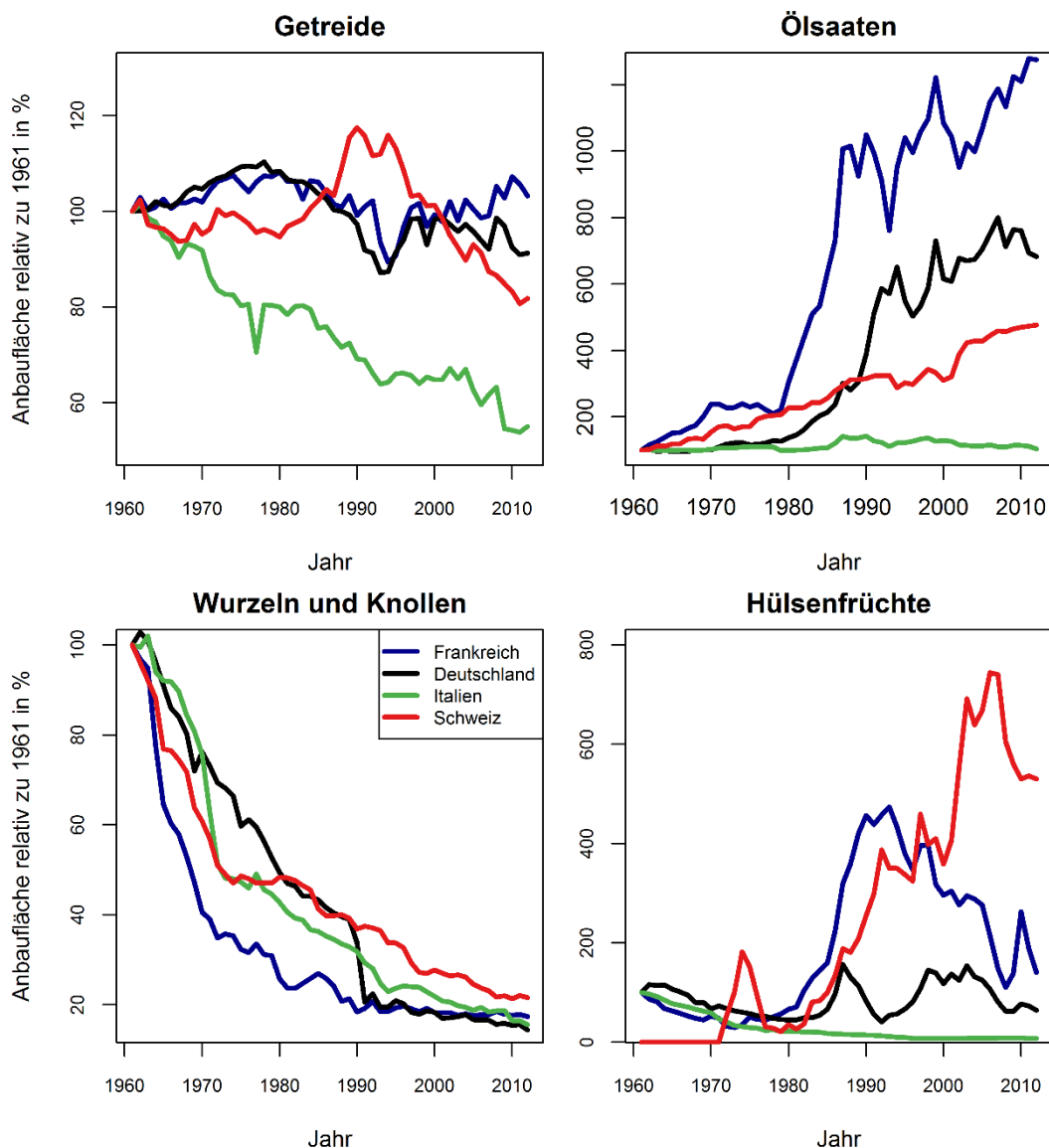


Figure 2 : Évolution relative de la surface cultivée des principales cultures en Suisse, France, Allemagne et Italie depuis 1961 (légumineuses Suisse par rapport à 1973)

2.2 Production et sécurité alimentaires

La tâche la plus importante de l'agriculture est la production de nourriture pour assurer l'alimentation de la population. Pour survivre à l'avenir, la production agricole doit pouvoir faire face à une population croissante, à une évolution de la demande ainsi qu'à de nombreux aspects sociaux, économiques et écologiques.

Les différents aspects ne peuvent pas toujours être pondérés de manière égale. Par exemple, la surface agricole de la Suisse (1'051'063 ha, 2012) a diminué d'environ 6 % au cours des 20 dernières années, au détriment de la surface d'habitat. Alors que les terres arables ouvertes (-7,9 %), les prairies permanentes (-3,9 %), les vignobles (-0,9 %) et les cultures fruitières (-6,5 %) affichent une tendance à la baisse depuis le début du millénaire, les terres agricoles telles que les prairies temporaires (+15,6 %), les prairies extensives (+3,4 %), la litière et les tourbières (+10,1 %) et les autres terres cultivées (+24,8 %) ont augmenté (OFS 2012). La population augmente et la pression sur la biodiversité et les sols cultivés s'accroît. En outre, une stagnation des rendements des principales cultures a été observée dans divers pays européens depuis 2000 (Kirschke, Häger et al. 2011). Le taux d'autoapprovisionnement actuel de la Suisse, qui est de 60 % brut (y compris la production basée sur les aliments importés) et de 54 % net, devrait donc continuer à diminuer (OFAG 2010, Kopainsky, Flury et al. 2013).

2.2.1 Intensité de la production

Au cours des 50 dernières années, la production mondiale des principales cultures (céréales, racines et tubercules, légumineuses et oléagineux) est passée de 1,8 milliard à 4,8 milliards de tonnes par an (+162 %). L'augmentation relative était généralement plus élevée dans les régions en développement (par exemple, en Afrique +303 % et en Asie +254 %) que dans les pays développés (Europe +34 %), la production ayant même légèrement diminué en Suisse (-0,3 %) (FAOSTAT 2012). Si l'on inclut le déclin ou l'expansion des terres agricoles et que l'on tient compte des rendements à l'hectare, on obtient une augmentation de près de 150 % pour l'Asie, de plus du double pour l'Amérique du Nord et de 82 % pour l'Europe. Dans chaque cas, les rendements ont été calculés en moyenne sur 3 ans. Avec une augmentation du rendement par surface de 90 % au cours des 50 dernières années, la Suisse se situe légèrement au-dessus de la moyenne européenne (FAOSTAT 2012). Par conséquent, les augmentations de production dans les pays industrialisés ont été réalisées principalement par des augmentations de production, tandis que dans les pays en développement, elles ont été réalisées par l'expansion des terres. La consommation d'engrais azotés, un indicateur important de l'intensité de la production, a augmenté de plus de 20 % au niveau mondial entre 2002 et 2010. Toutefois, cette augmentation a été plus faible dans les pays industrialisés dont l'intensité de production est déjà élevée, comme l'Europe et l'Amérique du Nord (FAOSTAT 2012). En Suisse, la consommation a augmenté de 25 % au cours de cette période la plus récente, alors qu'elle a diminué de 20 % par rapport à 1990 (FAOSTAT2012).

2.2.2 Qualité des aliments et santé

Les produits de haute qualité, fabriqués de manière durable et sûrs doivent continuer à être au centre de la production en Suisse (OFAG 2010, OFAG 2012). La prévention et l'influence positive sur l'évolution des maladies liées à l'alimentation, comme le diabète, les allergies, le cancer et les maladies cardiovasculaires, devraient jouer un rôle important dans la production alimentaire dès le début (MFER 2010, OFAG 2012)¹². Pour les substances qui, aujourd'hui, ont de plus en plus un effet allergène sur les consommateurs (par exemple le gluten), l'utilisation de cultures alternatives (par exemple des pseudo-céréales comme le sarrasin ou l'amarante) devrait constituer une option de remplacement. Les cultures alternatives telles que les différentes pseudo-céréales peuvent également avoir des

¹ <http://www.plantetp.org> (consulté le 20/10/2013).

² <http://www.plantetp.org> (consulté le 20/10/2013).

niveaux plus élevés d'ingrédients secondaires (polyphénols, phytostérols, anthocyanines, ...), qui peuvent avoir une influence positive sur la santé (prévention du cancer, maladies cardiovasculaires, etc.) (Stintzing).) (Stintzing et Carle 2004, Alvarez-Jubete, Arendt et al. 2010, Fiorda, Soares et al. 2013, van Dam, Naidoo et al. 2013, Venskutonis et Kraujalis 2013). Cependant, les effets bénéfiques des ingrédients secondaires, notamment dans les études à long terme, n'ont pas encore été confirmés.

L'amélioration génétique permet d'augmenter spécifiquement l'avantage nutritionnel de la plante en produisant certains constituants (MFER 2010, OFAG 2012)³. Dans le même temps, une meilleure aptitude au stockage et une réduction des toxines et autres composants dangereux pour la santé sont souhaitables (OFAG 2012). Les possibilités sont surtout offertes par les méthodes biotechnologiques relatives à la modification des protéines, des hydrates de carbone, des acides gras et des vitamines. A cela s'ajoute la sélection et le traitement biotechnologique de la teneur en antioxydants et en minéraux, ainsi que la réduction des substances allergènes (Uncu, Doganlar et al. 2013). Par exemple, dans le colza, le soja et le maïs génétiquement modifiés, les dénaturases des graisses et la production d'acides gras oméga-3 ainsi que d'acides gras insaturés plus longs (Kinney, Cahoon et al. 2002, Napier et Graham 2010) ont rendu l'huile produite plus précieuse pour l'alimentation humaine. Un autre exemple est la variété de pomme de terre « Innovator », qui a été spécifiquement développée pour répondre aux exigences de qualité des frites et qui n'est produite que dans le cadre de l'agriculture contractuelle pour McDonalds.⁴ Outre les améliorations de la sélection, la technologie des procédés et l'optimisation de la cultivabilité et de la maniabilité, par exemple, des pseudo-céréales, des cultures de niche ou même des cultures spécialisées jouent également un rôle important.

2.3 Cultures sélectionnées ayant une importance pour la Suisse

En Suisse aussi, les succès de la sélection et le contrôle politique entraînent une dynamique de la culture. Alors que les prix des oléagineux ont tendance à augmenter, ils stagnent pour les protéagineux et les céréales (depuis 2009) (Swissgranum 2012). Cela se reflète également dans la superficie cultivée.

2.3.1 Céréales

Au cours des 20 dernières années, la superficie mondiale consacrée à la culture des céréales a fluctué entre 660 et 707 millions d'hectares, mais le tonnage produit a constamment augmenté (FAOSTAT 2012). Les raisons de l'augmentation des rendements sur des terres à peu près identiques peuvent être, d'une part, l'amélioration constante de la culture par la sélection, mais aussi une gestion plus intensive ou plus efficace des terres agricoles. L'augmentation de la population, la production de carburants à base de céréales et la demande accrue d'aliments pour animaux en raison de la hausse de la consommation de viande font augmenter la demande de céréales dans le monde entier.

En Suisse, la surface cultivée en céréales a diminué de 26 % depuis 1996 pour atteindre environ 145'000 ha (Fig. 3). Cela s'explique notamment par la libéralisation du marché et la baisse des prix qui en a résulté en 2001 (SGPV 2013). En 2011, 16'000 ha de maïs (hors maïs d'ensilage), 83'000 ha de céréales panifiables et 63'000 ha de céréales fourragères étaient encore cultivés (FAOSTAT 2012, OFS 2013). Les céréales d'automne, avec une part de 90,5 % des ventes de céréales de semence, représentent la majorité de la production. En général, les céréales d'automne dominent, tandis que les

³ <http://www.plantetp.org> (consulté le 20/10/2013).

⁴ http://www.fenaco.com/deu/meldung_26321.shtml (consulté le 25/11/2013).

céréales de printemps représentent 4,5 % des ventes de céréales de semence (communication personnelle de Meinrad Müller, swisssem).

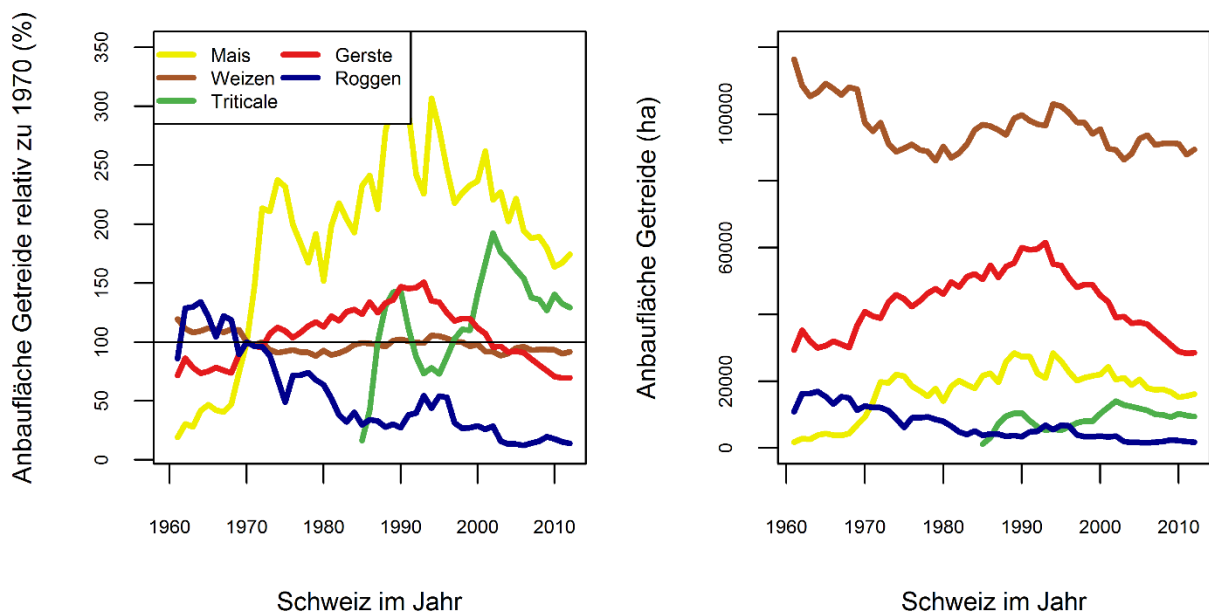


Figure 3 : Superficie des céréales en Suisse par rapport à 1961 (triticale par rapport à 1987) et en chiffres absolus (source des données : FAOSTAT (2012))

La valeur de production du secteur agricole suisse (valeur de tous les biens et services produits dans l'agriculture aux prix courants) était de 9,9 milliards de francs suisses en 2012 (bfs 2012). CHF (OFS 2012). La part de la production céréalière était de 3,7 % ou 372,6 millions de francs. La plus grande part de cette valeur ajoutée est à nouveau générée par la culture du blé (58,1 %), suivie de l'orge (19,4 %), du maïs grain (11 %), du triticale (6,4 %) et des autres céréales (4 %) (OFS 2012). Il convient toutefois de noter que la valeur de la production agricole ne tient pas compte de la valeur ajoutée des produits transformés (par exemple, le pain produit à partir de céréales) et que, par conséquent, l'importance des céréales en tant que matière première pour l'ensemble de l'industrie alimentaire augmente à nouveau.

2.3.1.1 Blé

Comme c'est le cas pour toutes les cultures céréalières, la superficie mondiale consacrée au blé est restée relativement stable entre 1960 et 2012, tandis que la quantité produite a augmenté régulièrement, passant de 222 millions de tonnes à 674 millions de tonnes. Aujourd'hui, les plus grandes surfaces cultivées se trouvent en Inde (29,9 millions d'hectares), en Chine (24,1 millions d'hectares) et en Russie (21,2 millions d'hectares) (FAOSTAT 2012). La surface de culture du blé en Suisse est également restée relativement constante au cours des 50 dernières années (Fig. 3). La part moyenne des races suisses dans le blé meunier est de 92 %. La part varie entre les groupes de qualité et est de 100 % pour les classes Top (environ 8'500 t) et 1 (5'870 t), et d'environ 30 % pour la classe 2 (1'537 t) (CPVO 2013). En revanche, toutes les variétés de blé fourrager (1'700 t) proviennent de l'étranger (communication personnelle Meinrad Müller, swisssem). Cela est dû au fait qu'en Suisse (par l'intermédiaire d'Agroscope), on sélectionne principalement des variétés à haute qualité boulangère et sans blé fourrager.

2.3.1.2 Orge

La superficie mondiale cultivée a atteint un pic à la fin des années 1970 avec environ 83 millions d'hectares et aujourd'hui, avec environ 49 millions d'hectares, elle est même inférieure au niveau d'il y a 50 ans (54 millions d'hectares, 1961). Néanmoins, une productivité plus élevée est atteinte aujourd'hui sur des terres comparativement moins importantes (132 millions de tonnes, 2012). Les plus grandes superficies cultivées aujourd'hui se trouvent en Russie (15,5 %), en Australie (7,5 %) et en Ukraine (6,7 %) (FAOSTAT 2012). Conformément à la tendance mondiale, on cultive aujourd'hui un peu moins d'orge en Suisse (environ 28'000 ha) qu'il y a 50 ans, bien que la production ait doublé (environ 184'000 t, 2012). La majeure partie de l'orge produite est consommée comme aliment pour animaux et seule une proportion marginale est utilisée comme orge de brasserie. Comme il n'y a pas de sélection d'orge en Suisse, la plupart des variétés figurant sur la liste des variétés recommandées pour 2013 proviennent des pays voisins, des entreprises de sélection KWS et Limagrain (Agroscope 2012).

2.3.1.3 Maïs

La superficie mondiale consacrée à la culture du maïs n'a cessé d'augmenter, passant d'environ 105 millions d'hectares (1961) à 178 millions d'hectares (2012). Au cours de la même période, la quantité produite a plus que quadruplé pour atteindre aujourd'hui 884 millions de tonnes. Les plus grandes surfaces cultivées en maïs se trouvent aux États-Unis (environ 35 millions d'hectares), en Chine (environ 35 millions d'hectares), au Brésil (environ 14 millions d'hectares) et en Inde (8,4 millions d'hectares) (FAOSTAT 2012). Le maïs est non seulement un élément important de l'alimentation humaine, mais il constitue également une base importante de l'alimentation animale sous forme de maïs grain (aliments concentrés) et de maïs d'ensilage. Bien que le maïs soit aujourd'hui également largement promu en tant que culture énergétique, il apparaît de plus en plus clairement qu'il ne constitue pas une source de production d'énergie durable en raison de ses besoins élevés en azote, de sa forte sollicitation des sols et de la nécessité de recourir à des pesticides⁵.

Les surfaces de maïs en Suisse se composent de maïs grain (2012, 16'162 ha) et de maïs d'ensilage (46'783 ha). Depuis 2005, on observe une augmentation constante des surfaces de maïs d'ensilage, alors que les surfaces de maïs grain ont diminué sur la même période (OFS 2012). Dans le cas du maïs d'ensilage, environ 10 % des semences proviennent de la sélection nationale de Delley Samen und Pflanzen AG (DSP) (communication personnelle de Meinrad Müller, swisssem). Les autres variétés de maïs d'ensilage recommandées pour 2013 proviennent de la sélection étrangère, par exemple des entreprises Limagrain (FR), KWS (DE) ou RAGT (FR). Aucune des variétés de maïs grain recommandées pour 2013 n'est issue de la sélection nationale (Agroscope 2013).

2.3.1.4 Triticale

Depuis son introduction, la superficie mondiale consacrée au triticale n'a cessé d'augmenter, passant de 467 ha (1975) à 3,7 millions d'ha (2012). Les plus grandes surfaces cultivées en triticale aujourd'hui se trouvent en Pologne (991'797 ha), au Belarus (409'478 ha) et en France (415'719 ha). La quantité produite est également passée de 1'200 t à 13,7 millions de t entre 1975 et 2012 (FAOSTAT 2012). En Suisse, les surfaces ont fluctué entre 10'000 et 14'000 ha au cours des 10 dernières années (FAOSTAT 2012). Près d'un tiers des ventes de grains de triticale proviennent des sélections suisses d'Agroscope Changins-Wädenswil (ACW)/ Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) et DSP (communication personnelle de Meinrad Müller, swisssem). Les autres variétés recommandées sont celles de Pflanzenzucht Oberlimburg (DE), KWS Lochow (DE) ou Saatbau Linz (AT). Le programme de sélection du triticale de l'ACW, vieux de 40 ans, a été repris en 2011/2012 par la Getreidezüchtung

⁵ http://www.bund-niedersachsen.de/service/bundmagazin/22005/mais_keine_energiepflanze_der_zukunft/ (consulté le 30/10/2013).

Peter Kunz, qui sélectionne aujourd'hui principalement des variétés à longue paille et stables pour la culture biologique et extensive, ainsi que des variétés à haut rendement pour la culture intensive.⁶

2.3.1.5 Les problèmes

La qualité des récoltes de céréales est hétérogène, car les parcelles cultivées sont petites. C'est un problème particulier dans le cas du blé panifiable, dont la teneur en protéines varie fortement selon la région et la culture, et dont la qualité boulangère ne peut pas toujours être garantie. Un groupe de travail composé de représentants de la sélection, du commerce et de la transformation tente actuellement d'analyser ce problème plus en détail. En culture, les problèmes liés au *Fusarium* et aux mycotoxines prévalent, ce qui rend indispensable une sélection ciblée pour la résistance, notamment pour le blé. Cependant, plusieurs études ont trouvé des marqueurs génétiques pour la résistance au *Fusarium* dans le blé et leur utilisation dans la pratique devrait accélérer les progrès de la sélection. La résistance génétique permet non seulement d'améliorer la qualité et la quantité des récoltes de grains, mais aussi de réduire l'utilisation de produits phytosanitaires.

Les produits transformés utilisant des matières premières suisses bénéficient d'une promotion des exportations grâce à la « loi Schoggi ». Par exemple, 45 000 tonnes de farine sont exportées chaque année. Cette loi pourrait être abolie à l'avenir, en même temps qu'une réduction de la protection des frontières. En outre, il est à craindre que la politique agricole de 2014 ait un impact négatif sur la production de céréales. La concurrence croissante pour la farine et les produits de boulangerie produits dans le pays provient de l'importation de pâtons et de produits de boulangerie finis de l'étranger (SGPV 2013). Les importations de produits de boulangerie ont augmenté de 175 millions de francs entre 2002 et 2012 (OFAG 2013).

2.3.2 Légumineuses

Les légumineuses constituent une base importante de l'industrie de l'alimentation animale. En Suisse aussi, les pois protéagineux, les féveroles, les lupins et le soja constituent une part croissante de l'approvisionnement en protéines du bétail. Cependant, la part des protéagineux dans la valeur de la production agricole n'est que de 0,09 % (OFS 2012).

⁶ http://www.getreidezuechtung.ch/index.php?article_id=3 (consulté le 9/11/2013).

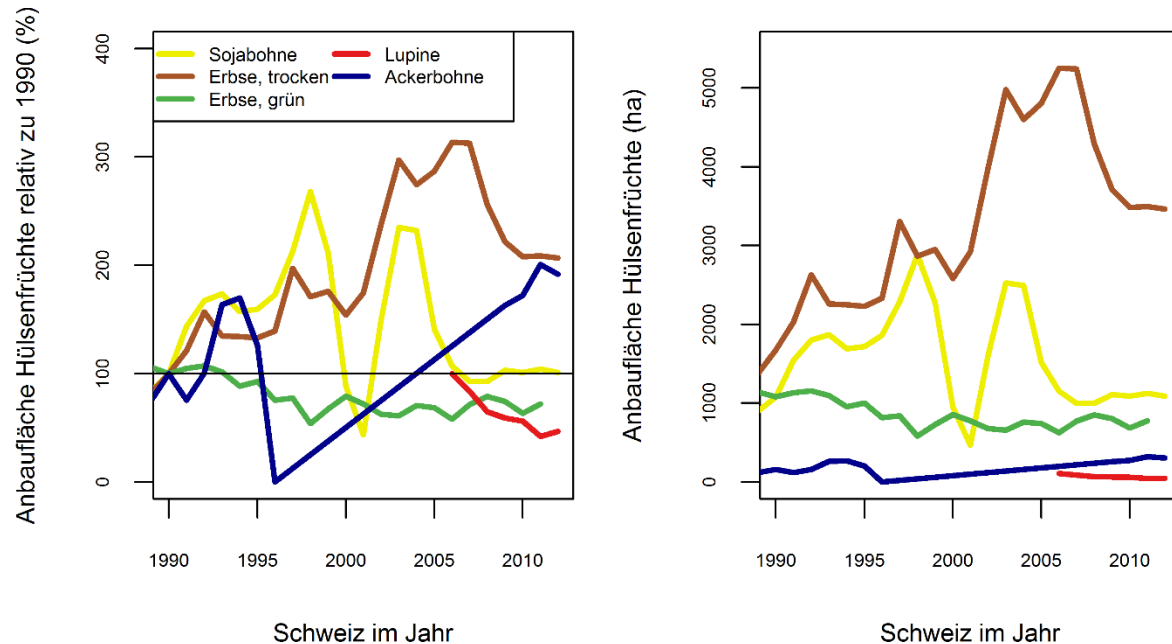


Figure 4 : Superficie des légumineuses en Suisse par rapport à 1990 (lupin par rapport à 2006) et en valeur absolue (données manquantes pour la féverole de 1996 à 2008) (source des données : FAOSTAT (2012)).

2.3.2.1 Soja

Dans le monde, environ 253 millions de tonnes de soja ont été cultivées sur une superficie de 107 millions d'hectares en 2012, les États-Unis (28,9 %), le Brésil (23,4 %), l'Argentine (18,1 %) et l'Inde (10,1 %) ayant les plus grandes parts de superficie (FAOSTAT 2012). En 2011, on estimait qu'environ 75 % de la surface cultivée dans le monde était plantée avec des variétés génétiquement modifiées (MFAAPC 2012). La majeure partie de la récolte mondiale est destinée à la production d'huile (huile comestible ou biodiesel). La matière résiduelle (tourteau de soja) qui y est produite est utilisée pour 98 % de l'alimentation animale (Hartman, West et al. 2011). Une petite partie de la production de soja est utilisée pour la consommation humaine directe, par exemple sous forme de tonyu, tofu ou lait de soja (ACW 2012).

Si la surface cultivée en soja en Suisse a connu de fortes fluctuations au cours des deux dernières décennies, elle est restée stable au cours des cinq dernières années et se maintient autour de 1000 ha et 3000 tonnes produites en 2012 (Fig. 4). La libéralisation des prix des oléagineux a entraîné un effondrement des prix en 2000 et l'effondrement de la production de soja, qui ne se redresse que légèrement grâce aux mesures de soutien des prix (Schori, Charles et al. 2003). Les variétés utilisées pour la production sont pour la plupart issues de la sélection suisse (voir chapitre 2). En raison de l'interdiction de nourrir les animaux avec des farines, les importations annuelles de farine de soja ont été multipliées par dix depuis 1990 pour atteindre 250'000 t (Baur 2011, FAOSTAT 2012). Les importations de soja, en revanche, ont fortement diminué.

Avec des taux de protéines allant jusqu'à 50 % (Schori, Bétrix et al. 2013), le soja produit au moins deux fois plus de protéines par ha que toute autre grande culture⁷.

⁷ http://www.nsrli.uiuc.edu/soy_benefits.html (consulté le 12/9/2013).

Afin d'augmenter l'autosuffisance en protéines, la Bosnie-Herzégovine, la Croatie, l'Autriche, la Serbie, la Slovénie, la Hongrie et la Suisse ont signé, début 2013, la Déclaration du soja du Danube pour promouvoir la culture du soja. Elle définit les conditions cadres pour les programmes de culture de soja sans OGM dans la région du Danube. L'objectif est d'étendre la surface cultivée de un à cinq millions d'hectares, en substituant 17 % de la surface cultivée en maïs (Schori, Bétrix et al. 2013, SOJA 2013). Diverses organisations, comme le Sojaförderring en Allemagne⁸, encouragent la culture et la recherche sur le soja au niveau national.

Pour l'alimentation humaine, diverses propriétés positives sont attribuées au soja, comme la teneur élevée en acides aminés essentiels, en acides gras insaturés, en fibres alimentaires, en vitamines et en minéraux (Sacks, Lichtenstein et al. 2006). Cela les rend particulièrement intéressants pour les régimes sans viande (Esteves, Duarte Martino et al. 2010). D'autres ingrédients secondaires (par exemple les isoflavines) peuvent avoir des effets positifs sur la santé, mais leurs effets sont encore controversés (Sacks, Lichtenstein et al. 2006, Lee, Ahn et al. 2007, EFSA 2010, Paucar-Menacho, Amaya-Farfan et al. 2010).

2.3.2.2 Pois protéagineux, féveroles, lupins

En termes de culture, le pois protéagineux reste la légumineuse la plus importante en Suisse (figure 4), mais les importations sont en baisse (FAOSTAT 2012). En raison de l'absence de programmes correspondants, aucun pois protéagineux n'est cultivé à partir de la sélection suisse (CPVO 2013), mais un programme de sélection de pois à la Getreidezüchtung Peter Kunz (GZPK) est en cours (analyse actuelle). Pour les féveroles, seules trois variétés d'Allemagne et de France sont recommandées pour la culture (Agroscope 2012). Pour les lupins, deux variétés recommandées sont disponibles, également en provenance d'Allemagne et de France.

2.3.2.3 Les problèmes

Outre les problèmes naturels tels que les mauvaises herbes ou les infestations de maladies et de parasites du soja, ce sont surtout les processus économiques et politiques qui contrôlent la culture du soja en Suisse. D'une part, les zones de culture en Suisse sont limitées par les contrats de culture. D'autre part, la demande de soja par les huileries est orientée vers des quantités qui ne peuvent être constamment satisfaites que par des importations étrangères de soja (Baur 2011). En outre, la culture du soja n'est actuellement intéressante pour les agriculteurs que grâce à un soutien supplémentaire des prix (Schori, Charles et al. 2003). Les pois protéagineux et les fèves des champs ont des teneurs en protéines comparativement faibles, des niveaux élevés d'azote non protéique (peu adaptés aux animaux monogastriques) et des profils d'acides aminés en partie insatisfaisants et des ingrédients indésirables (Baur 2011), ce qui les rend moins intéressants pour la culture et l'utilisation. En raison du faible niveau de sélection et donc de ses propriétés désavantageuses, le lupin n'est pas encore une alternative en culture.

2.3.3 Oléagineux

2.3.3.1 Étude de cas Colza

La superficie mondiale consacrée au colza est passée de 6,3 à 34,2 millions d'hectares entre 1960 et 2012, l'UE-27 (30 %), le Canada (24 %) et la Chine (21 %) étant les principaux producteurs (FAOSTAT 2012). En Suisse, la surface cultivée a presque quadruplé entre 1960 (5'600 ha) et 2012 (22'000 ha) (FAOSTAT 2012), la production ayant été multipliée par 8 grâce à l'amélioration des variétés et des techniques culturales (9'100 t en 1960, 68'977 t en 2012). Les prix à la production sont d'environ

⁸ <http://www.sojafoerderring.de/pages/forschung.php> (consulté le 12/9/2013).

200 CHF/dt avec un objectif de rendement de 20-25 dt/ha⁹. La Suisse ne disposant pas de sélection étatique ou privée de colza, la culture polyvalente dépend des importations et des stocks de semences étrangers¹⁰, les variétés recommandées pour 2011-2014 provenant exclusivement des voisins européens (D, F, A, S).

Le colza oléagineux est un bon exemple pour illustrer l'influence des technologies clés et des objectifs politiques sur la diffusion d'une culture. La fourniture de variétés exemptes d'acide érucique (« colza 0- », années 1970) et la réduction de la teneur en glucosinolates (« colza 00- », années 1980) ont joué un rôle important. Ces deux événements techniques clés ont permis d'utiliser l'huile, *auparavant non comestible*, pour l'alimentation humaine et le tourteau de pressage pour l'alimentation animale. Grâce à sa teneur élevée en acide linoléique (acide gras oméga-6) et en acide alpha-linolénique (acide gras oméga-3) ainsi qu'en vitamine E, l'huile de colza est aujourd'hui l'une des huiles alimentaires les plus saines ayant un effet positif sur le système cardiovasculaire¹¹. Les variétés HOLL (High Oleic Low Linolenic) récemment développées, dont l'huile est plus stable à la chaleur, augmenteront encore le potentiel d'utilisation de l'huile de colza. Bien que l'introduction des nouveaux caractères de qualité ait toujours été accompagnée d'une baisse des performances, cette perte a été compensée par la reproduction après moins de cinq ans (Gallais 2011). Une autre technologie clé est l'introduction d'un mécanisme hybride (années 1990), car la sélection de variétés hybrides a permis d'augmenter à nouveau les niveaux de rendement (Fig. 5).

L'introduction de nouveaux caractères de qualité a donc considérablement augmenté le domaine d'application et les ventes de colza. Outre les besoins en huiles et tourteaux de colza, la demande croissante de biodiesel a contribué à l'augmentation de la culture du colza (13 % de la production mondiale d'oléagineux). Comme la sélection hybride a également permis de mieux exercer les droits des obtenteurs (pas de réplique possible), les investissements dans la sélection sont devenus plus rentables et le colza s'est hissé en quelques années au rang des cultures les plus importantes. Le colza génétiquement modifié joue un rôle important, notamment en Amérique du Nord et en Australie, mais il ne sera cultivé que de manière limitée dans l'UE à l'avenir.¹²¹³¹⁴ l'huile de colza proposée en Suisse a été produite à 84 % à partir de colza suisse (OFAG 2012). En 2012, 6'828 t supplémentaires d'huile de colza ont été importées pour la consommation et 39'595 t supplémentaires sous forme de farine de colza (Swissgranum 2012).

⁹ <http://www.agrigate.ch/de/pflanzenbau/ackerbau/835/836/844/> (consulté le 6 septembre 2013).

¹⁰ http://www.parlament.ch/d/suche/seiten/geschaeft.aspx?gesch_id=20114202 (consulté le 6 septembre 2013).

¹¹ <http://www.bdp-online.de/de/Branche/> (consulté le 7 septembre 2013).

¹² <http://www.transgen.de/zulassung/gvo/> (consulté le 6 septembre 2013).

¹³ http://www.transgen.de/anbau/eu_international/199.doku.html (consulté le 6 septembre 2013).

¹⁴ <http://www.biosicherheit.de/forschung/rapraps/276.zulassungen-anbau.html> (consulté le 6 septembre 2013).

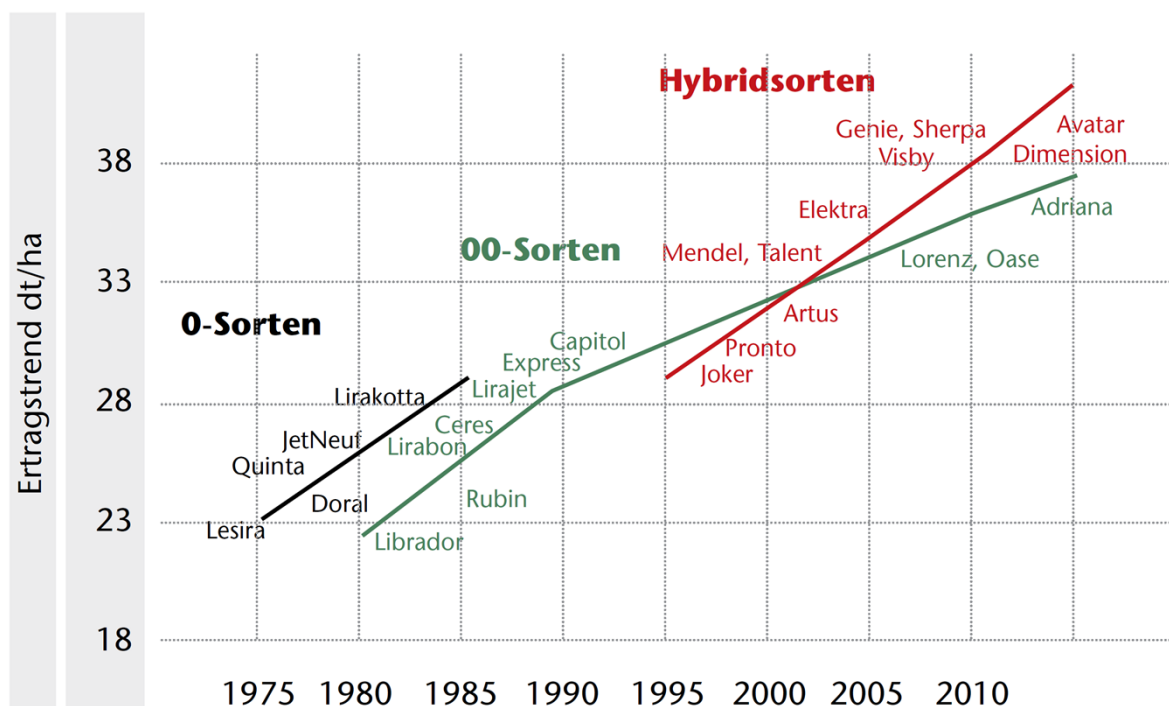


Figure 5 : Développement des performances de rendement et des variétés de colza (*Brassica napus*) en Allemagne (Source : Brauer (2012))

2.3.3.2 Autres oléagineux

La citrouille est une autre culture oléagineuse. Cependant, avec un faible intérêt économique et une petite surface cultivée (412 ha), la culture en Suisse a presque doublé depuis 2000 (+45,1 %) (FAOSTAT 2012). Pour la production d'huile à partir de citrouilles, cela représente 46 ha (OFAG 2013). Riches en vitamines A, C, D et E ainsi qu'en potassium, calcium et zinc, les citrouilles sont de plus en plus populaires. La teneur élevée en acides gras insaturés (acides gras oméga-9, oméga-6 et oméga-3) fait de l'huile de courge une huile de cuisson populaire¹⁵.

Les graines de lin sont cultivées sur 160 ha, ce qui représente une augmentation de 17,6 % depuis 2000 (FAOSTAT 2012). En Suisse, l'association Tradilin soutient la culture de la graine de lin principalement pour l'alimentation animale¹⁶. Cependant, le rendement en grains et le prix à la production sont nettement inférieurs à ceux du colza. En outre, l'huile de lin a une mauvaise durée de conservation et un goût inhérent intense (Frick 2005). Comme pour le colza, il existe cependant une variété cultivée de graines de lin qui a été optimisée pour la production d'huile (Linola™)¹⁷.

La part des oléagineux et des fruits oléagineux dans la valeur de la production agricole est respectivement de 0,9 % et de 90 millions de francs (OFS 2012).

¹⁵ <http://www.pflanzenoel.ch/speiseoel/oelsorten/kuerbiskernoel> (consulté le 12/3/2013).

¹⁶ <http://www.tradilin.ch/chapitre/5/50/TradiLin-Produkte> (consulté le 25 novembre 2011).

¹⁷ <http://www.dpi.vic.gov.au/agriculture/grain-crops/crop-production/growing-linseed-linola> (consulté le 28/11/2013).

2.3.3.3 Les problèmes

Les problèmes naturels de la culture du colza sont principalement la sensibilité aux maladies fongiques qui attaquent les racines et les tiges (König, Steck et al. 1999). En raison de l'auto-incompatibilité conditionnelle, des pauses de culture d'au moins trois ans sont nécessaires, ce qui minimise la surface de culture théorique. L'hivernage, le gel et les parasites animaux peuvent causer des dommages plus importants dans certaines situations (König, Steck et al. 1999)¹⁸¹⁹. En ce qui concerne les huiles comestibles de haute qualité, il faut maintenir des circuits de production et de transformation proprement séparés afin d'éviter tout mélange entre les variétés HOLL et les variétés conventionnelles (Scheuner 2013).

L'un des problèmes politiques de la culture du colza est la politique agricole actuelle et future, car un soutien fédéral adéquat (par exemple, des contributions individuelles aux cultures) est nécessaire pour rester compétitif (Scheuner 2013). Toutefois, les prix internationaux du pétrole, qui rendent la culture du colza plus ou moins intéressante pour les producteurs suisses d'oléagineux, et l'accès futur à des semences sans OGM provenant de l'étranger ont également une influence importante. Il y a ici une dépendance à 100 % des semences étrangères, qui augmentera à l'avenir en raison de l'utilisation accrue de variétés hybrides (communication personnelle de Jürg Hiltbrunner, Agroscope).

De nombreuses options pour les grandes cultures (protection des plantes, fertilisation) ayant été épuisées, les progrès en matière de rendement du colza dépendront davantage de la sélection de variétés plus performantes et du traitement des semences. Cependant, comme le colza est aujourd'hui une culture attrayante grâce à une large gamme d'applications (rendue possible par des étapes de sélection telles que le colza 00 ou HOLL), un processus de sélection d'hybrides existant et des conditions de marché favorables (subventions pour les oléagineux en Suisse, subventions pour les bioénergies dans l'UE), de nouveaux investissements dans des variétés améliorées seront rentables pour les sélectionneurs.

2.3.4 Cultures fourragères

2.3.4.1 Culture de plantes fourragères Suisse

En Suisse, un peu moins de 70 % de la surface agricole (1'051'063 ha) est constituée de prairies, mais cette proportion peut atteindre 98 % dans les cantons de montagne (OFS 2012). La proportion de prairies artificielles (actuellement 133'564 ha) et de prairies extensives (actuellement 92'097 ha) a augmenté dans la « Suisse des pâturages » depuis 2000, tandis que les autres prairies et pâturages permanents (519'135 ha) continuent de diminuer. La superficie consacrée au maïs d'ensilage est de 46'782 ha et celle des betteraves fourragères de 712 ha (OFS 2012).

En plus de servir d'habitat aux animaux et aux plantes, les prairies jouent un rôle important dans l'attrait paysager et touristique de la Suisse et constituent la base de l'industrie du bétail et de la viande, la plus importante source de revenu agricole (OFAG 2012). La valeur de la production de l'agriculture fourragère s'élève à environ 900 millions de francs par an, les prairies (86 %) représentant la plus grande part, avec le maïs fourrager (13,0 %) et les plantes racines (0,5 %) (OFS 2012). Le fourrage vert issu de la production de fourrages pérennes sur les prairies et les pâturages est la principale

¹⁸ http://www3.syngenta.com/country/de/de/Kulturen/Raps/Seiten/Unkraeuter_Krankheiten_und_Schaedlinge.aspx (consulté le 6 septembre 2013).

¹⁹ <http://www.rapool.de/> (consulté le 6 septembre 2013).

source de fourrage pour les animaux et fournit jusqu'à 70 % de la matière sèche, 70 % de l'énergie brute et environ 2/3 des protéines brutes pour l'alimentation animale (Baur 2011, OFS 2012).

La production nationale totale de semences de graminées et de trèfle pour la production de fourrage est de 200 t (140 t de graminées, 60 t de trèfle). En outre, environ 1 000 t de semences de gazon produites à l'étranger sont importées. Dans 80-90 % des mélanges de semences de la production fourragère suisse, au moins une variété suisse est incluse (analyse IST, sélection de plantes fourragères, Beat Boller, Franz Schubiger et Willy Kessler). Les principales plantes fourragères cultivées en Suisse sont le ray-grass bâtard, le ray-grass anglais, le ray-grass italien, le dactyle, la fétuque élevée, la fétuque rouge, le pâturin et la fétuque des prés, ainsi que le sainfoin, le trèfle rouge, le trèfle des gousses et le trèfle blanc.

2.3.4.2 Les problèmes

Un problème spécifique à la production fourragère suisse est la divergence constante entre la sélection des animaux et des plantes fourragères. L'augmentation des performances, par exemple des vaches laitières, nécessite une utilisation croissante de concentrés (principalement des protéines) importés, ce qui réduit l'offre de la production nationale d'aliments pour animaux et accroît la dépendance vis-à-vis de l'étranger. Pour contrer cette tendance, on pourrait, d'une part, augmenter la teneur en protéines et en énergie des cultures fourragères domestiques par la sélection, mais cela ne suffirait pas pour suivre les progrès de la sélection animale. D'autre part, la sélection pourrait réagir en sélectionnant des races adaptées aux conditions locales. Cela permettrait d'exploiter plus efficacement les aliments locaux, de gérer les sites avec soin, d'éviter la surproduction (p. ex. lait) et de réduire l'importation d'aliments pour animaux (communication personnelle Beat Boller, Agroscope).

Les maladies sont également un problème dans la production de cultures fourragères. Des maladies telles que l'anthracnose du trèfle rouge ou le flétrissement bactérien du ray-grass pourraient également causer des difficultés majeures dans la production de cultures fourragères en Suisse. Cependant, les variétés actuelles et les projets de sélection de résistance sont actuellement très bien positionnés et permettent de comprendre ces maladies et de contrer des pertes plus importantes (communication personnelle Beat Boller, Agroscope) (Jacob, Hartmann et al. 2013, Kölliker, Wichmann et al. 2013). La concurrence accrue des mauvaises herbes et les pertes de rendement dues à la sécheresse en raison du changement climatique sont d'autres domaines d'action (Zwicke, Alessio et al. 2013).

2.3.5 Fruits

La culture mondiale des plantes fruitières, y compris celles cultivées en Suisse, n'a cessé d'augmenter au cours des 50 dernières années. Par exemple, la superficie des cultures de pommes est passée de 1,5 à 6,05 millions d'hectares, celle des cultures de poires d'environ 500 000 à 1,6 million d'hectares, celle des cultures de prunes d'environ 400 000 à 2,5 millions d'hectares, celle des cultures de cerises de 160 000 à 605 000 hectares et celle des cultures d'abricots d'environ 213 000 à 490 000 hectares. La quantité produite a également augmenté régulièrement au cours de cette période (pomme : de 17 à 75 millions de tonnes ; poire : de 5 à 24 millions de tonnes ; prune : de 6 à 11 millions de tonnes ; abricot : de 1,3 à 4 millions de tonnes, et cerise : de 1,8 à 3,5 millions de tonnes).

En Suisse, les cultures fruitières ont été pratiquées sur un total de 6'544 ha en 2012. Plus des deux tiers (4'137 ha) des cultures fruitières étaient à nouveau des pommes, suivies des poires (791 ha,

12 %), des abricots (694 ha, 11 %), des cerises (530 ha, 8 %) et des prunes (332 ha, 5 %) (OFAG 2012). Malgré la prédominance de la culture des pommes, on observe depuis 1997 une tendance à délaisser les fruits à pépins au profit des fruits à noyau et des petits fruits (Bravin, Leumann et al. 2008, OFAG 2012).

Les variétés club, c'est-à-dire une variété de fruit soumise à un contrôle central et commercialisée uniquement par un nombre limité de producteurs (le « club ») sous leur propre marque, gagnent en importance. Depuis 2007, on observe une augmentation de la culture de ces variétés et, en 2012, elles étaient cultivées sur 8,4 % de la surface fruitière suisse totale (Stehr, Guerra et al. 2011, OFAG 2012). Cette tendance peut être observée dans toute l'Europe (Schwartau 2010). La culture de variétés de club nécessite une licence payante. L'objectif est la production limitée de pommes de qualité dans un segment de prix plus élevé (Helfenstein 2005, Schwartau 2010).

La part de la culture fruitière dans la valeur de la production agricole est d'environ 5,3 % et se situe donc juste au-dessus de celle de la culture céréalière (OFS 2012).

2.3.5.1 Les problèmes

En raison de la longue période de reproduction des cultures fruitières, les objectifs de sélection doivent être conçus pour le très long terme. Des maladies telles que le feu bactérien peuvent affecter la production de fruits, les variétés résistantes prenant généralement plus de temps à fournir. Les changements d'habitudes de consommation peuvent également avoir un impact rapide sur la culture (Bravin, Leumann et al. 2008) et il est difficile de les anticiper suffisamment tôt en termes d'adaptation de la sélection.

2.3.6 Légumes

La superficie mondiale consacrée à la culture de légumes a doublé au cours des 50 dernières années (56,7 millions d'hectares en 2011), tandis que la quantité produite a été multipliée par cinq (environ 1 milliard de tonnes en 2011). Les plus grandes superficies cultivées se trouvent en Chine (42,9 %), en Inde (13,3 %) et au Nigeria (3,2 %). En Europe, l'Italie (environ 508'000 ha), l'Espagne (environ 338'000 ha) et la Roumanie (environ 263'000 ha) sont les plus grands producteurs. Les plus grandes surfaces de production de légumes en Europe sont utilisées pour la production de tomates (environ 278'000 ha), d'oignons (environ 187'000 ha) et de choux (environ 170'000 ha) (FAOSTAT 2012).

En Suisse, la culture de légumes a augmenté au cours des 50 dernières années, passant de 8 000 (FAOSTAT 2012) à environ 14'500 ha (dont 4'500 ha par culture multiple²⁰) en 2012, ce qui correspond à un volume de production de 400'000 t de légumes, réparti en 66 % de légumes frais, 22 % de légumes stockés (tels que pois, haricots, épinards) et 12 % de légumes transformés (tels que carotte, oignon, céleri)²¹. Environ 400 ha de légumes sont cultivés dans des tunnels en verre ou en hauteur²². La culture en plein air, en particulier, est en constante augmentation (OFS 2013), la surface cultivée

²⁰ <http://www.gemuese.ch/de/markt-politik/statistik/anbauflaechen> (consulté le 25/10/2013).

²¹ <http://www.szg.ch/kulturen/gemuese/ueberblick/> (consulté le 25/10/2013).

²² <http://www.gemuese.ch/de/markt-politik/statistik/anbauflaechen> (consulté le 25/10/2013).

(sans les surfaces supplémentaires dues à la polyculture) correspondant actuellement à environ 1 % de la surface agricole suisse.

Les principales cultures de plein air en Suisse sont les carottes (environ 1'400 ha), les épinards (environ 1000 ha), les pois (environ 1000 ha), suivis des haricots (800 ha)²³. En termes de légumes frais, les tomates (38'000 t) et les carottes (19'000 t) sont les plus produites (LID 2010). Près de 55 % de la demande intérieure est couverte par la production suisse²⁴. Les importations de légumes proviennent principalement de l'UE (Espagne, Italie et Pays-Bas)²⁵.

La culture maraîchère représente 1,4 milliard de francs suisses de la valeur de la production agricole. 1,4 milliard de francs, dépassant ainsi la production de fourrage malgré la faible surface cultivée (OFS 2012). Avec 714,7 millions de francs, la valeur ajoutée des produits de l'horticulture dépasse de peu celle des légumes frais, qui s'élève à 673,7 millions de francs (OFS 2012).

2.3.6.1 Les problèmes

La sélection végétale publique et privée a été gravement négligée en Suisse au cours des 20 à 30 dernières années, ce qui a entraîné une perte de connaissances et de compétences en matière de sélection. Les dépenses consacrées à la recherche sur les légumes ont également été réduites, et les experts recommandent de soutenir et de maintenir au moins les compétences existantes dans la recherche sur les légumes suisses grâce à une utilisation ciblée des fonds. Cette approche est soutenue et coordonnée, par exemple, par le « Vegetable Research Forum »²⁶.

Néanmoins, les maraîchers suisses disposent aujourd'hui de très bonnes variétés, qui sont principalement sélectionnées et commercialisées par des entreprises privées étrangères. Toutefois, le secteur des cultures maraîchères suit avec inquiétude les discussions sur le brevetage des semences, qu'il considère comme une menace pour le libre choix des variétés de différents fournisseurs par le producteur à l'avenir. Dans le secteur biologique, la disponibilité de lignées de sélection sans CMS sera un défi.

Avec le changement climatique, il faut également s'attendre à une augmentation de l'infestation par les ravageurs et de la pression exercée par les mauvaises herbes, dont l'ampleur concrète est toutefois encore difficile à évaluer. Les maladies transmises par les semences représentent un autre défi qui n'est pas encore pris en compte dans la législation suisse en matière de qualité des semences. En raison d'exigences plus strictes en matière d'autorisation, on observe également une tendance à la baisse de la disponibilité de produits phytosanitaires adéquats, qui sont également de moins en moins bien acceptés par les consommateurs. La disponibilité de variétés multirésistantes devient donc de plus en plus importante pour l'avenir (communication personnelle de Simone Meyer, Association des producteurs suisses de légumes).

En général, les conditions (prix, qualité, forme) sont imposées aux producteurs de légumes par les grands distributeurs, entre autres (communication personnelle Amadeus Zschunke, Sativa Rheinau), ce qui fait que la pression sur les prix s'est intensifiée (LID 2010). Si le cycle de Doha est conclu, la

²³ <http://www.gemuese.ch/de/markt-politik/statistik/anbauflaechen> (consulté le 25/10/2013).

²⁴ <http://www.szg.ch/kulturen/gemuese/ueberblick/> (consulté le 25/10/2013).

²⁵ <http://www.gemuese.ch/de/markt-politik/statistik/importe> (consulté le 25/10/2013)

²⁶ <http://www.szg.ch/dienstleistung/forum-forschung-gemuese/> (consulté le 12/3/2013).

protection aux frontières pour les légumes devrait être fortement réduite (OFAG 2010), ce qui entraînera une pression supplémentaire sur les prix pour la production de légumes.

2.3.7 Pommes de terre

Au niveau mondial, la culture de la pomme de terre a été relativement stable, variant entre 18 et 20 millions d'hectares au cours des 20 dernières années, la Chine (28,1 %) et la Russie (11,4 %) ayant les plus grandes superficies cultivées en 2012 (FAOSTAT 2012). La surface cultivée en Suisse a fortement diminué au cours des dernières décennies, mais est restée stable depuis 2010 (FAOSTAT 2012). La superficie cultivée actuelle de 11'000 ha est fondamentalement suffisante pour assurer l'autosuffisance. La consommation par habitant est également relativement stable depuis 1997. Les pommes de terre de table et les pommes de terre destinées à la transformation représentent la majeure partie de l'utilisation de la récolte suisse²⁷.

Les importations de pommes de terre varient entre 25'000 t (2001) et 65'000 t (2013) (accès minimal au marché depuis 2000 = 22'250 t). Environ 70 % des pommes de terre importées sont utilisées pour la consommation ou la transformation, 20 % sont des pommes de terre de semence ou sont utilisées pour la production de produits finis. Les 10 % restants sont constitués de produits semi-finis importés contenant des pommes de terre²⁸.

Avec 180 millions de francs, la culture de la pomme de terre représente environ 1 % de la valeur de la production agricole (OFS2012).

2.3.7.1 Les problèmes

Les changements climatiques (augmentation de l'irrigation nécessaire) et les maladies (virus) sont les principaux défis de la culture de la pomme de terre. Dans le cas des pommes de terre, il pourrait devenir difficile à l'avenir de trouver des variétés adaptées à la Suisse. D'une part, l'adaptation au climat suisse n'est peut-être pas optimale, mais le problème le plus important est l'octroi de droits exclusifs sur les variétés nouvellement développées à des entreprises privées (communication personnelle Meinrad Müller, swisssem). La variété « Innovator », qui est produite sous contrat pour McDonald's, en est un exemple²⁹. Aujourd'hui déjà, toutes les variétés figurant sur la liste des variétés recommandées sont issues de la sélection européenne (Agroscope2013).

2.3.8 Plantes médicinales et aromatiques

Environ 50 000 à 70 000 plantes médicinales et aromatiques sont utilisées dans le monde. Ce n'est que depuis 1981 que de petites surfaces en Suisse sont à nouveau cultivées en plantes aromatiques, médicinales ou médicinales, mais aussi en plantes destinées à la production d'huiles essentielles et de cosmétiques. Depuis la Seconde Guerre mondiale, la chute des prix, la synthétisation et la couverture à moindre coût de la demande par la production étrangère avaient pratiquement paralysé la production suisse (Agroscope 2004). L'énorme potentiel de la Suisse pour la culture de diverses plantes aromatiques/médicinales (herbes Ricola, etc.) est bien connu, mais n'est que marginalement exploité. Il

²⁷ <http://www.kartoffel.ch/index.php?id=76&L=0> (consulté le 25/10/2013).

²⁸ <http://www.blw.admin.ch/themen/01423/01433/01506/index.html?lang=de> (consulté le 25/10/2013).

²⁹ http://www.fenaco.com/deu/meldung_26321.shtml (consulté le 25/11/2013).

existe une demande croissante de la part de l'industrie pharmaceutique et cosmétique³⁰. Actuellement, ces cultures ne sont pratiquées que sur environ 250 ha et gérées par 150 producteurs. À titre de comparaison : en Autriche, la culture est pratiquée sur 6000 ha (communication personnelle Bernd Büter, breeding botanicals international AG) ; en Allemagne sur 13'000 ha³¹³².

Pour retrouver l'accès au marché international, la rentabilité et la qualité des produits de ces plantes doivent être améliorées par des travaux de recherche et de développement, et la culture doit être intensifiée. Des³³³⁴entreprises telles que Ricola ou Mediplant apportent un soutien financier et culturel à cet effet. Les plantes médicinales et aromatiques peuvent être utilisées de nombreuses façons. Par exemple, dans l'alimentation (thé, épices, bonbons, etc.), les cosmétiques et la parfumerie, la médecine humaine (produits pharmaceutiques, phytothérapie, homéopathie, aromathérapie), le bien-être (huiles de massage, additifs pour le bain) et également la médecine vétérinaire.

2.3.8.1 Les problèmes

Pour la culture en Suisse, ce ne sont pas seulement les coûts élevés de la main-d'œuvre et la rentabilité qui jouent un rôle important, mais aussi l'adaptation aux conditions climatiques locales (par exemple, la résistance à l'hiver). Comme pour toutes les cultures, les maladies, les ravageurs et les mauvaises herbes provoquent également des pertes de production dans la culture des plantes aromatiques et médicinales. Comme ce secteur est encore très petit, il est difficile, voire impossible, d'obtenir des produits phytopharmaceutiques approuvés. Les industries pharmaceutiques et des épices sont très demandeuses de bonnes matières premières provenant de diverses plantes médicinales et à épices. Pour assurer l'homogénéité de grandes quantités d'un produit, on utilise les moyens suivants

z. Par exemple, en Allemagne, les contrats de culture et de fourniture avec de grandes exploitations sont privilégiés. Si la récolte mécanique nécessite souvent une adaptation des équipements conventionnels, il faut également prévoir des équipements supplémentaires pour le traitement (par exemple, le séchage, le nettoyage)³⁵.

2.3.9 Viticulture

Dans le monde, 69 millions de tonnes de raisin sont cultivées sur une superficie d'environ 7 millions d'hectares. Les plus grandes parts de superficie sont en Espagne (13,6 %), en France (10,8 %) et en Italie (10,3 %), mais les plus grands producteurs de vin (part de t produite dans la production mondiale) sont la Chine (13,3 %), l'Italie (10,3) et les États-Unis (9,8 %). Au cours des vingt dernières années, la superficie viticole mondiale a diminué de 800'000 ha, même s'il existe des différences régionales : par exemple, la superficie dans l'UE a diminué d'un million d'hectares, mais au cours de la même période, elle a quadruplé en Chine pour atteindre 600'000 ha (FAOSTAT 2012).

En Suisse, la surface viticole n'a pratiquement pas changé et s'élève aujourd'hui à 14'915 ha (OFAG 2013). La viticulture biologique est pratiquée sur environ 2 % des surfaces. Le fait que 85 % soit en

³⁰ <http://www.agroscope.admin.ch/agrimontana/00069/04221/04223/index.html?lang=de> (consulté le 31 octobre 2013).

³¹ http://www.europam.net/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=11 (consulté le 31 octobre 2013).

³² <http://veranstaltungen.fnr.de/arzneipflanzen2013/> (consulté le 11/4/2013).

³³ <http://www.mediplant.ch/en/welcome> (consulté le 31 octobre 2013).

³⁴ <http://www.agroscope.admin.ch/baies-plantas-medicinales/01297/index.html?lang=de> (consulté le 31 octobre 2013).

³⁵ <http://www.lfi.bayern.de/ipz/heilpflanzen/030497/index.php> (consulté le 31 octobre 2013).

« production intégrée », c'est-à-dire en production quasi naturelle, est unique au monde (communication personnelle Olivier Viret, Agroscope). La superficie des vignes blanches (6'200 ha) est plus importante que celle des vignes rouges (8'600 ha) (OFS 2012). Les cépages rouges les plus importants de la viticulture suisse sont le Pinot Noir (Pinot Noir, Clevner, Pinot Noir), le Gamay et le Merlot. Les variétés blanches les plus importantes sont le chasselas (Fendant, Gutedel), le Müller-Thurgau (Riesling-Sylvaner) et le Sylvaner (Johannisberg, Rhin, Grüner Silvaner) ³⁶. La taille des vignobles varie d'environ 5000 ha dans le canton du Valais, les Grisons ou la région de Lavaux sur le lac Léman, à de petites parcelles isolées de quelques ha dans le canton d'Uri. Au total, une quarantaine de cépages différents sont cultivés par pas moins de 6 500 exploitations ou vigneronns³⁷³⁸. Le cépage le plus répandu est le Pinot Noir avec environ 4'300 ha. 80 % de la surface viticole suisse est plantée à elle seule avec les cépages Pinot Noir (29 %), Chasselas (27 %), Gamay (10 %) et Merlot (7 %) (OFAG2013).

La part de la viticulture dans la valeur de la production agricole est d'environ 6,3 %. Sur ce total, environ 2 % sont représentés par la production de raisins de table et 4 % par la production de vin (OFS 2012).

2.3.9.1 Les problèmes

Une extension de la surface viticole en Suisse n'est pas envisageable à l'avenir. Les zones de culture supplémentaires, qui garantissent des conditions climatiques de culture optimales, ne seront pas non plus disponibles à l'avenir. Les zones de culture sont limitées au niveau cantonal par le cadastre viticole. À cela s'ajoutent une population en constante augmentation et une demande croissante de zones résidentielles, qui occupent souvent et volontiers les belles pentes des régions viticoles. La viticulture suisse est également soumise à la concurrence nationale, mais surtout internationale. La pression sur les prix due à l'augmentation de la production bon marché à l'étranger s'accroît. Outre les limitations topographiques et liées à la culture, ce sont également les structures de production très fragmentées qui entraînent des coûts élevés et renforcent la concurrence de la production étrangère. La particularité de la viticulture suisse est sa diversité. En cultivant des cépages différents et uniques, la viticulture suisse parvient à suivre le rythme de la mondialisation (communication personnelle Olivier Viret, Agroscope).

2.4 Cultures énergétiques

Aujourd'hui, la production agricole végétale n'est plus seulement la base de la production de denrées alimentaires ou d'aliments pour animaux. Aujourd'hui, les produits agricoles et forestiers sont de plus en plus utilisés dans le secteur non alimentaire. D'une part, ces produits végétaux sont utilisés comme matériaux, par exemple pour produire des composites en fibres naturelles, des matériaux d'emballage biodégradables, des matériaux de construction et d'isolation écologiques ou des liants naturels. D'autre part, ils sont utilisés à des fins énergétiques, par exemple pour la production de bioénergie neutre en CO₂. L'extraction de matières premières renouvelables dans la production de cultures agricoles offre de nouveaux débouchés pour l'agriculture, l'artisanat et l'industrie de transformation.

La production d'énergie au moyen de cultures énergétiques se fait par l'utilisation partielle ou totale de la culture (Meyer, Rösch et al. 2010). Dans le cas d'une utilisation partielle de la culture, seule une partie de la biomasse est utilisée (par exemple, la graine oléagineuse du colza), tandis que dans le

³⁶ <http://www.swisswine.ch/german/cepap/principaux.asp> (consulté le 25/10/2013).

³⁷ http://www.weinlandschweiz.ch/index.php?article_id=34&clang=0 (consulté le 25/10/2013).

³⁸ <http://www.landwirtschaft.ch/de/wissen/pflanzen/rebbau/bedeutung/> (consulté le 25/10/2013).

cas d'une utilisation totale de la culture, la totalité de la biomasse est utilisée (par exemple, le maïs, les céréales, les prairies ou les espèces d'arbres à croissance rapide) (Meyer, Rösch et al. 2010). Outre l'utilisation traditionnelle de la bioénergie (combustion du bois, du charbon de bois, des résidus biogènes et du fumier, 90 % de l'utilisation de la bioénergie dans le monde) et l'utilisation des déchets et résidus biogènes, la culture de plantes énergétiques n'est qu'un sous-secteur (WBGU 2008).

Aux États-Unis, environ 40 % de la récolte de maïs est convertie en biocarburants aujourd'hui, et même dans les prochaines décennies, pas plus de 10 % de la demande de carburant pourrait être couverte³⁹. En Allemagne, près des trois quarts de la récolte de colza constituent la base de la production de biodiesel⁴⁰. En comparaison avec de nombreux pays européens, la culture de plantes pour la production d'énergie n'est pas encouragée en Suisse. L'injection de cultures énergétiques dans les installations de biogaz est limitée par la rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC). Il n'existe pas d'approche de promotion spéciale pour soutenir la culture de plantes pour la production d'énergie⁴¹.

Même à l'avenir, l'extraction d'énergie à partir de cultures énergétiques ne contribuera pas de manière significative à un approvisionnement énergétique stable et également durable pour la population suisse. Malgré la hausse des prix de l'exploration et de l'extraction des combustibles fossiles, l'utilisation de l'énergie provenant des cultures énergétiques ne sera qu'une « technologie de transition » vers un futur système plus durable (WBGU 2008). Les sources d'énergie renouvelables seront probablement le vent, le soleil ou l'eau, qui non seulement représentent un potentiel de conflit moindre en ce qui concerne l'utilisation des sols (sécurité alimentaire, habitat, protection du paysage (espèces, écosystèmes)), mais peuvent également contribuer à la protection du climat.

2.5 Cultures alternatives

Les pseudo-céréales comme le sarrasin, le quinoa ou l'amarante peuvent être utilisées pour la production d'amidon alternatif ou d'engrais vert. Dans le même temps, la rotation des cultures est assouplie. Des cultures telles que le lin et le chanvre peuvent être utilisées comme cultures oléagineuses et fibreuses. Le millet ainsi que le sorgho présentent une grande efficacité d'utilisation de l'eau et pourraient bénéficier du changement climatique.

2.6 Prévision du développement futur

La propagation et la sélection d'une culture sont mutuellement dépendantes. Plus une culture est répandue et plus l'obtenteur perçoit ses droits sur la variété qu'il a créée, plus il est intéressant pour lui de créer des variétés améliorées qui rendent la culture à nouveau attrayante. Une telle situation prévaut actuellement pour le maïs, où les progrès de la sélection sont encore de 2 % par an. Néanmoins, il est également possible que des cultures *jusqu'alors* peu utilisées puissent acquérir une position importante en peu de temps. L'exemple du colza en est une bonne illustration : grâce à la recherche fondamentale financée par des fonds publics, des innovations telles que le « colza 00 » ont permis de nouvelles orientations d'utilisation, ce qui a rendu la plante très attrayante pour la culture et donc aussi pour la sélection privée. En outre, l'exemple du colza montre également à quel point la

³⁹ <http://www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/bioenergy/background.aspx#.UmYTsndYWZV> (consulté le 21/10/2013).

⁴⁰ <http://www.energie-pflanzen.info/pflanzen/raps/> (consulté le 9/11/2013)

⁴¹ <http://www.biomasseschweiz.ch/index.php/de/biomassenenergie-de/produktion-de> (consulté le 13 septembre 2013).

culture dépend du contexte politique : ainsi, la surface cultivée a de nouveau fortement augmenté suite à la production de biodiesel subventionnée par l'État en Allemagne. Tant les innovations techniques possibles que l'environnement politique sont très difficiles, voire impossibles, à prévoir, ce qui rend très difficile la réponse à la question de savoir quelles cultures ont un potentiel commercial pour l'avenir. Cela est particulièrement vrai en Suisse, où les prix des cultures sont généralement supérieurs au niveau du marché mondial et où les cultures dépendent principalement de la protection des frontières ou des mesures de soutien. Néanmoins, certaines tendances générales peuvent être dégagées :

- Le niveau élevé de sensibilisation des consommateurs aux produits d'origine suisse (voir également le chapitre 7) présente un potentiel pour les cultures qui servent directement à l'alimentation humaine, comme le blé panifiable, les légumes et les fruits.
- La forte demande d'aliments sains et de haute qualité présente un fort potentiel pour des investissements comparativement élevés dans la production et la transformation de végétaux dans le secteur de l'alimentation humaine et animale.
- Plus les organismes génétiquement modifiés seront cultivés dans le monde, plus il sera difficile d'obtenir des produits bruts sans OGM pour la Suisse sur le marché mondial. Cela accroît la dépendance de la Suisse à l'égard des protéines importées. Il en résulte un potentiel croissant pour les légumineuses domestiques.

3 Stratégies de sélection existantes et futures et principaux programmes de sélection

La sélection végétale est influencée directement ou indirectement par l'État dans l'environnement international. L'influence directe se limite au maintien des programmes de sélection de l'État, comme ceux du Centre de recherche agricole de l'État de Bavière (LfL) pour ⁴²blé et de l'université de Stuttgart-Hohenheim pour le blé, le blé dur, le ⁴³seigle, le triticale, le soja⁴⁴ et le tournesol pour la production de biogaz⁴⁵.

Indirectement, la sélection végétale est soutenue par le financement de programmes de recherche publics. Dans l'environnement européen, ceux-ci sont principalement régis par des programmes-cadres et des stratégies de recherche. Les dépenses publiques de recherche et développement (R&D) dans le secteur agricole sont en baisse depuis les années 1970 dans les pays industrialisés et se détournent de plus en plus de la productivité au profit de domaines plus larges comme l'écologie (Pardey et Pingali 2010, Kirschke, Häger et al. 2011). Dans l'ensemble, les dépenses publiques de R&D, du moins pour l'Allemagne, ont stagné depuis 2000 (Noleppa et von Witzke 2013). Les dépenses de l'industrie privée, en revanche, sont en hausse et, en 2006, elles représentaient déjà plus de 50 % des coûts de la R&D dans l'ensemble du secteur agricole des pays industrialisés (Pardey et Pingali 2010). Monsanto, par exemple, a investi 1,2 milliard de dollars US en 2007 et se positionne devant le gouvernement américain en termes de dépenses de R&D, qui a investi environ 1,1 milliard de dollars US dans la recherche agricole la même année. dollars US⁴⁶ pour la recherche agricole la même année.

Une résolution sur l'avenir de la sélection végétale dans l'optique de la sécurité alimentaire et du développement durable a récemment été déposée au Parlement européen. Des ressources financières doivent être mises à disposition pour maintenir et promouvoir une recherche structurée en matière de sélection végétale au niveau européen. L'objectif est de disposer d'un secteur de la sélection végétale efficace, capable de garantir des variétés adaptées et tolérantes au stress ainsi que la diversité pour l'avenir (UE 2013).

3.1 Qu'est-ce que la reproduction ?

La sélection décrit le processus d'amélioration génétique ciblée des plantes cultivées en ce qui concerne une variété de caractères. Quels que soient les caractères, le type de culture et la méthode de sélection utilisée, le schéma de base reste le même dans tous les cas (Fig. 6). A partir d'une population initiale, le sélectionneur doit d'abord caractériser le matériel pour l'ensemble de ses caractères d'apparence (phénotype) et éventuellement aussi pour ses caractères héréditaires (génotype). Les données recueillies sont ensuite traitées à l'aide de diverses méthodes afin de sélectionner les plantes présentant les meilleures caractéristiques. Les plantes sélectionnées peuvent conduire directement à une nouvelle variété améliorée ou servir de parents (éventuellement avec du nouveau matériel introduit dans le cycle) de nouveaux croisements et donc de base pour le cycle suivant.

⁴² <http://www.lfl.bayern.de/ipz/getreide/024940/index.php> (consulté le 10/10/2013).

⁴³ <https://www.uni-hohenheim.de/news/fleckige-nudeln-ohne-biss-forscher-nehmen-hartweizen-gene-unter-die-lupe-2> (consulté le 10/10/2013).

⁴⁴ <https://www.uni-hohenheim.de/projekt/ausweitung-des-sojaanbaus-in-deutschland-durch-zuechterische-anpassung-und-pflanzenbauliche-optimierung> (consulté le 10.10.2013).

⁴⁵ <https://www.uni-hohenheim.de/einrichtung/lsa-arbeitsgebiet-sonnenblumen-u-leguminosen> (consulté le 10/10/2013).

⁴⁶ <http://www.nature.com/news/2010/100728/full/466548a.html> (accessed 11/8/2013).

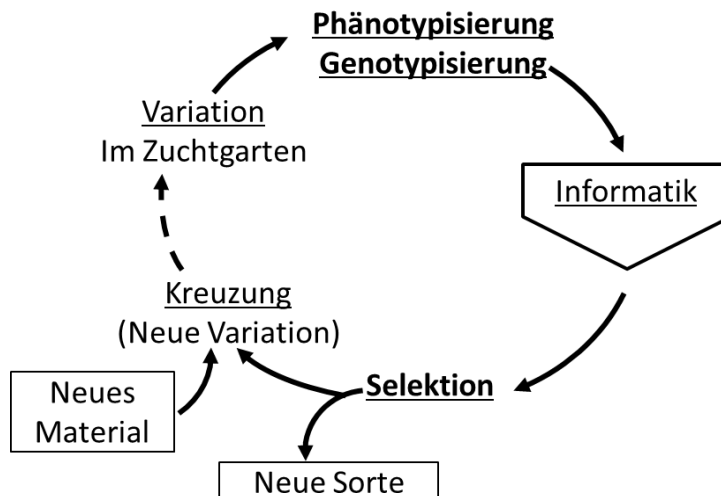


Figure 6 : Représentation schématique du cycle d'sélection (représentation propre)

3.2 Stratégies de sélection au niveau européen

Les stratégies de sélection peuvent être définies et poursuivies à différents niveaux internationaux et nationaux, ainsi qu'entre ou par différents partenaires. Cette forme de stratégie est poursuivie, par exemple, par le forum des parties prenantes « Plate-forme technologique européenne » (ETP). Celle-ci regroupe 1 000 entreprises industrielles (dont Nestlé, KWS et Limagrain), 270 institutions scientifiques et 76 associations agricoles ainsi que plus de 40 000 coopératives agricoles. La PTE vise à renforcer l'innovation et la recherche stratégique dans le domaine de la sélection végétale. Un agenda de recherche à l'horizon 2025 a été lancé au Parlement européen en 2007 et comprend les objectifs⁴⁷ suivants :

- Créer une diversité alimentaire en maintenant les espèces et les variétés de cultures (dans les 5 ans), en améliorant les cultures et les variétés par le phénotypage et le génotypage (dans les 10 ans) et en assurant leur diversité (dans les 15 ans).
- Augmenter la qualité du produit en améliorant la teneur en nutriments et en énergie ainsi que la facilité de transformation.
- Créer une agriculture durable par la sélection de résistances, l'exploitation d'interactions symbiotiques et d'autres méthodes.

Toutefois, ces stratégies doivent être comprises davantage comme la définition d'objectifs fondamentaux que comme des approches précises de recherche ou de sélection. Concrètement, l'agenda de recherche élaboré doit être mis en œuvre au niveau national par la création de plateformes technologiques⁴⁸. En outre, le ETP est membre de l'Initiative de programmation conjointe sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et le changement climatique (FACCE JPI) (FACCE-JPI2012), qui vise⁴⁹, entre autres, à parvenir à une agriculture durablement intensifiée dans le cadre de la stabilité actuelle et future du climat et de la disponibilité des ressources. Par exemple, le FACCE JPI a lancé un financement de projet international de 19 millions d'euros. Les projets interdisciplinaires et

⁴⁷ <http://www.plantetp.org> (consulté le 20/10/2013).

⁴⁸ <http://www.plantetp.org/index.php/activities-54/atnationallevel/nationaltps> (consulté le 23/10/2013).

⁴⁹ <http://www.faccejpi.com/About-Us/What-is-FACCE-JPI> (consulté le 27/11/2013).

innovants sur l'adaptation au changement climatique seront soutenus. Le Fonds national suisse de la recherche (FNS) soutient cet appel à projets à hauteur de 700 000 euros (FACCE-JPI2013).

Les stratégies de sélection sont souvent définies indirectement par les programmes de recherche. Un exemple est le nouveau programme-cadre Horizon 2020 de l'Union européenne (UE), qui s'attaque également aux défis futurs tels que les énergies renouvelables, la sécurité alimentaire et la nutrition⁵⁰. Dans le cadre d'Horizon 2020, la ETP a plaidé pour des fonds dans le domaine de la sécurité alimentaire au sein de l'agriculture durable (ETP 2013) et l'UE a alloué 4,1 milliards d'euros pour la période 2014 à 2020 (ETP 2013). Euro pour la période 2014 à 2020 (Horizon2020 2013). La Suisse participe également à ce programme de l'UE qui, après le FNS, est la plus importante source indépendante de financement de la science suisse⁵¹.

3.3 Stratégies d'sélection au niveau national

3.3.1 Allemagne

L'association allemande des sélectionneurs de plantes (AFSPA) représente les intérêts de 130 entreprises, dont 60 maintiennent des programmes de sélection originaux (18 en cultures fourragères, 39 en céréales, 9 en légumes) (AFSPA 2013). En Allemagne, le nombre de petites entreprises de sélection a été fortement réduit, les entreprises restantes ayant tendance à se concentrer davantage sur des marchés de niche (Franck 2007).

La part de la recherche et du développement dans le chiffre d'affaires des entreprises est supérieure à 16 % (enquête interne auprès des membres de la AFSPA en 2010, citée dans Noleppa et von Witzke (2013)). Les investissements privés et publics dans la sélection végétale s'élèvent ensemble à environ 200 millions d'euros et stagnent depuis le début du millénaire. Selon les experts, la part de la recherche publique est d'environ 50-75 % (Noleppa et von Witzke 2013). Toutefois, la part du financement privé augmente généralement : dans les initiatives « AGSB » (analyse du génome dans le système biologique végétal) et leur successeur « PLANT 2030 », par exemple, elle est passée au fil des ans de 15 % en 2004-2007 (projets « AGSB 2 ») à 23,5 % actuellement (Conseil de la bioéconomie 2012).

3.3.1.1 Stratégies de sélection des plantes

Les stratégies qui donnent une orientation générale à la sélection végétale sont principalement établies indirectement au niveau national. Par exemple, le ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche (MFER) et le ministère fédéral de l'alimentation, de l'agriculture et de la protection des consommateurs (MFAAPC) fournissent des fonds pour couvrir et soutenir certains segments de la recherche végétale. Les institutions de recherche, les entreprises de sélection ou les coopératives peuvent demander ces fonds avec les projets correspondants (Fig. 7). Les programmes et objectifs les plus importants sont brièvement expliqués ci-dessous.

⁵⁰ http://ec.europa.eu/research/horizon2020/index_en.cfm?pg=h2020 (consulté le 24/10/2013).

⁵¹ https://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/130911_horizon_2020_mm/index (consulté le 9/12/2013).

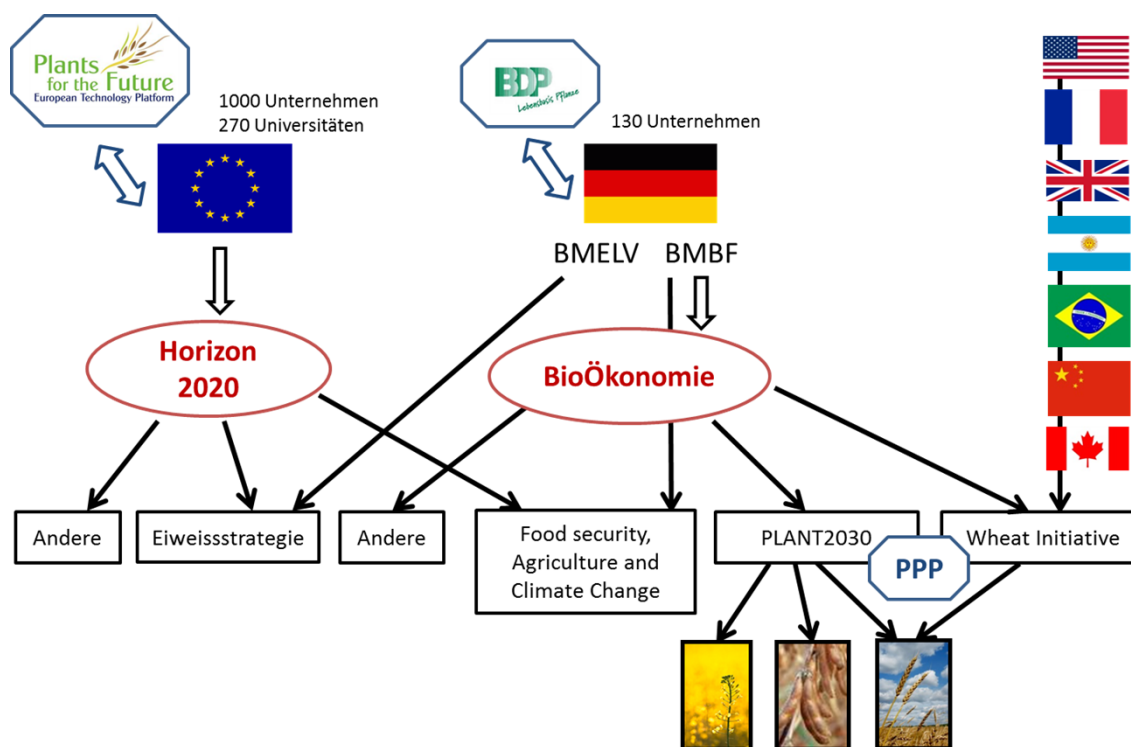


Figure 7 : Représentation schématique des stratégies de recherche (« Horizon 2020 » et « Bioéconomie ») et des programmes de financement qui influencent la sélection et permettent des innovations technologiques via des « partenariats public-privé » (PPP).

PLANT 2030

Les projets « PLANT 2030 » ont été lancés en 2011 dans le cadre de la phase de financement « Biotechnologie végétale de l'avenir » du MFER. Ce programme, qui succède à « AGSB », réunit 68 institutions publiques et 44 partenaires commerciaux. Il est doté d'un financement de 51,7 millions d'euros. 12,3 millions d'euros, soit 23,8 % de ces fonds, sont apportés par l'industrie (BioÖkonomieRat 2012). Les objectifs sont ⁵² :

- Augmentation du potentiel de rendement.
- Améliorer la tolérance au stress biotique et abiotique.
- Optimisation de l'architecture des plantes, de la qualité et des ingrédients.
- Augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments.
- Conservation de la biodiversité dans les agro-écosystèmes.

Les projets « PLANT 2030 » comprennent le programme « Transnational Plant Alliance for Novel Technologies – Towards Implementing the Knowledge-Based Bio-Economy in Europe and beyond » (« PLANT-KBBE »). De 2008 à 2010, 54 alliances transnationales ont été établies dans le cadre de trois appels à propositions jusqu'à présent, qui ont été soutenus par environ 68 millions d'euros de financement public (MFER 2012).

⁵² <http://www.bmbf.de/foerderungen/14639.php> (consulté le 27/11/2013).

Bioéconomie 2030

Avec la stratégie nationale de recherche « BioEconomie 2030 », le MFER vise à jeter les bases d'une bioéconomie durable et, entre autres, à se concentrer sur la sélection privée et publique. Le programme dispose de 2 milliards Euro, durera 6 ans et couvre les domaines de la sécurité alimentaire, de l'agriculture, de la santé et de l'énergie. Dans le cadre de la « Bioéconomie 2030 », les objectifs suivants sont formulés pour la sélection végétale, entre autres :

« La sélection végétale a pour objectif principal d'accroître le potentiel de performance des plantes cultivées et de stabiliser les rendements grâce à une meilleure résistance aux agents pathogènes et aux tolérances, par exemple à la chaleur, à la sécheresse, au froid et à la salinisation, ainsi qu'à l'adaptation à des formes de culture durables » (MFER 2010).

En outre, il convient de préserver les variétés adaptées aux conditions locales et d'élargir la gamme des plantes cultivées, ce qui s'applique également aux espèces concernées dans les pays en développement (MFER 2010). Dans le domaine de la sélection végétale, les mesures suivantes sont notamment prévues :

- Utilisation de la biotechnologie végétale moderne et son transfert à la sélection.
- Adaptation régionale des variétés à l'agriculture des pays en développement par la sélection participative.
- Utilisation et développement des technologies de phénotypage.
- La diversité génétique des organismes agricoles et des proches parents sauvages devrait fournir des informations sur les caractères potentiellement importants.
- Promotion de nouvelles techniques de culture.
- Promotion des cultures à caractères nouveaux.
- Recherche de concepts internationaux pour la protection du climat, de la nature, du sol, de l'eau, de l'air et des nutriments importants ainsi que du service écosystémique de la biodiversité.

Les objectifs coïncident fondamentalement avec ceux formulés par la GVP (GVP 2011). Des priorités de sélection élaborées sont définies dans le cadre des initiatives « Promouvoir la sécurité alimentaire mondiale » (GlobE), « Innovative Plant Breeding in Cropping Systems » (SVI), « German Plant Phenotyping Network » (RAPP), « Animal Welfare and Animal Health » (ANIHWA) et par le biais du FACCE-JPI (BioEconomyCouncil 2013). Par exemple, de nouvelles innovations en matière de sélection végétale dans différents systèmes de culture sont étudiées⁵³ dans le cadre des « projets SVI ».

Matières premières renouvelables

Dans le programme de financement « Ressources renouvelables » du MFAAPC, l'accent est mis sur l'augmentation de l'efficacité de la production d'amidon, de sucre et d'huile/graisse à partir de cultures énergétiques et protéiques. Le spectre des protéagineux en Europe doit être globalement élargi, notamment en ce qui concerne la résistance à l'hiver et l'aptitude à servir de culture dérobée hivernale (MFAAPC 2011).

⁵³ <http://www.ptj.de/biooekonomie> (consulté le 2 septembre 2013).

Promotion des légumineuses

En Allemagne, les programmes de sélection pour les pois ont été largement abandonnés⁵⁴. Maintenant, avec le soutien du MFAAPC, les désavantages concurrentiels des protéagineux indigènes doivent être à nouveau réduits, par exemple par des améliorations de la stabilité et de la valeur alimentaire (Specht 2010). Cela comprend la définition d'objectifs de sélection appropriés, la recherche appliquée et fondamentale en matière de culture, l'amélioration de l'ensemble de la chaîne de valeur, ainsi que l'évaluation et la mise en œuvre de mesures de politique agricole dans le cadre de la « stratégie pour les protéagineux ». Le programme financé par le gouvernement « Legume-Supported Cropping Systems for Europe » (Legume Futures) vise à améliorer les systèmes de culture pour les légumineuses à grains et fourragères (MFAAPC 2012). La culture et l'utilisation des légumineuses doivent également être soutenues par le MFAAPC au niveau international dans le cadre d'Horizon 2020 (MFAAPC 2012). L'Union pour la promotion des plantes oléagineuses et protéagineuses (UFOP) soutient également des projets de recherche. (UFOP) soutient également des projets de recherche en Allemagne (Specht 2010, UFOP 2012). Les objectifs de la « stratégie pour les cultures protéiques » dans les domaines de la féverole, du pois fourrager, du lupin, du soja, du trèfle et de la luzerne sont les suivants (MFAAPC 2012) :

- Élargir la base génétique pour de nouvelles combinaisons de caractères.
- La mise en place de programmes de pré-sélection.
- Développer des hybrides et augmenter la tolérance au stress des formes hivernales.
- Augmentation des rendements par la sélection de la tolérance au stress, de la résistance et des caractéristiques agronomiques.
- Développement de méthodes d'analyse non destructive des ingrédients.
- L'évolution des haploïdes doubles et l'identification des marqueurs moléculaires.

Promotion de l'innovation

Le MFER maintient également un programme de promotion de l'innovation, qui concerne en partie la sélection végétale. L'objectif est de développer des méthodes et des procédures de sélection et d'assurer l'approvisionnement et la qualité à long terme des cultures dans des conditions climatiques et de site changeantes (MFER2012).

3.3.2 France

Le principal organisme national regroupant la sélection végétale, la production et la commercialisation des semences en France est l'Union Française des Semenciers (UFS). Elle réunit 67 obtenteurs et producteurs de plantes et de semences français et représente leurs intérêts au niveau national et international⁵⁵. Il existe une stratégie gouvernementale du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP) pour une agriculture durable (MAP 2007, MAP 2009). Les objectifs sont, par exemple, de doubler la superficie des légumineuses entre 2007 et 2020 pour atteindre environ 1 million d'hectares ou de réduire de 50 % l'utilisation des produits phytosanitaires d'ici 2018 (MAP 2009). Les instruments

⁵⁴ <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/eiweisspflanzen/futtererbsen-sv-2012.htm> (consulté le 2 septembre 2013).

⁵⁵ <http://www.ufs-semenciers.org/quisommesnous/Lists/pages/chiffrescles.aspx> (consulté le 25/10/2013).

importants sont la politique agricole et les instituts de recherche de l'État (MAP 2009). Par exemple, l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) coordonne de nombreux projets⁵⁶.

3.3.2.1 Stratégie en matière de sélection végétale

La sélection végétale est directement soutenue par l'État à travers le programme « Ecophyto » (40,5 millions d'euros par an⁵⁷). Ce programme vise à réduire l'utilisation des pesticides, mais la sélection de plantes résistantes n'y joue qu'un rôle mineur (MAP 2008, INRA 2010). La sélection végétale publique-privée est largement organisée par la plate-forme technologique nationale du groupe d'intérêt « Biotechnologies végétales » (GIS BV). GIS BV est un partenariat d'institutions publiques (par exemple l'INRA) et privées (par exemple Syngenta et Biogemma)⁵⁸ dont les projets ne sont pas cofinancés par le Ministère français de l'Agriculture (MAAPRAT) (PNACC 2012).

Agence Nationale de la Recherche (ANR)

L'Agence nationale de la recherche (ANR) vise à donner un nouvel élan au secteur de la recherche. Il organise un plan d'action 2014 pour le compte du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Cet engagement s'inspire d'« Horizon 2020 » et soutiendra principalement des projets dans les domaines de la sécurité alimentaire et des défis démographiques, de la santé et de l'adaptation au changement climatique⁵⁹.

Fonds de soutien à l'obtention végétale (FSOV)

L'OFSV finance des programmes de recherche spécifiques pour une agriculture durable en termes d'efficacité des ressources. Les projets doivent être orientés vers le développement de variétés commerciales et doivent nécessairement impliquer une coopération entre les entreprises et les institutions publiques de recherche. Les objectifs sont la sélection et le développement de variétés efficaces en azote, la tolérance au froid, la résistance aux maladies et l'amélioration de la qualité des produits⁶⁰. Entre 2012 et 2014, des projets d'une valeur d'environ 19 millions d'euros seront soutenus, qui serviront principalement à atteindre les objectifs d'« Ecophyto » (sélection de résistance, 9 millions d'euros) et d'adaptation au changement climatique (OFSV 2012).

Plate-forme SIG

L'objectif est de développer des technologies et d'acquérir des connaissances pour une sélection végétale innovante (GIS 2013). Divers projets ont déjà été planifiés ou lancés et visent à introduire l'écophysiologie ainsi que les méthodes modernes de phénotypage et de génotypage dans la sélection, en plus des principes génétiques (génétique classique, génie génétique). Les trois plus grands projets SIG sont « AMAIZING », « BREEDWHEAT » (34 millions d'euros (WheatInitiative 2012)) et « Phénome » (56 millions d'euros (WheatInitiative 2012)). Dans le projet « Phénome », par exemple, 5 plateformes de phénotypage à haute performance sont en cours de construction, développant également des logiciels et du matériel (par exemple des capteurs) pour les entreprises

⁵⁶ <http://www4.clermont.inra.fr/umr1095/Equipes/Recherches/Rendement-et-Adaptation-du-Ble-aux-Contraintes-Abiotiques/Projets-de-recherche> (consulté le 12/6/2013).

⁵⁷ <http://agriculture.gouv.fr/budget-ecophyto-2013-ccg> (consulté le 21/10/2013).

⁵⁸ <http://gisbiotechnologiesvertes.com/en/presentation-du-gis-bv/8-presentation-of-the-gis-bv/3-members.html> (consulté le 18 septembre 2013).

⁵⁹ <http://www.agence-nationale-recherche.fr/en/funding-opportunities/major-societal-challenges/> (consulté le 11/7/2013).

⁶⁰ <http://www.fsov.org/fsov-recherche-varietes-agriculture-durable.html> (consulté le 31 octobre 2013).

semencières, les institutions techniques et les groupes de recherche publics (GIS 2013). La plateforme GIS BV a formulé les quatre principaux objectifs stratégiques suivants qui guident ses projets⁶¹ :

- Adaptation des cultures au changement climatique.
- Augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments.
- Augmenter le rendement et la qualité tout en tenant compte des aspects de durabilité.
- Nouvelles applications des produits végétaux.

Des objectifs spécifiques au sein de la plateforme SIG ont été définis dans trois documents de synthèse en 2012 et 2013 et comprennent :

- Atteindre la fixation de l'azote pour les céréales grâce au génie génétique (GIS2013).
- Optimisation de la photosynthèse grâce à une meilleure position des feuilles, à de nouveaux systèmes agronomiques (par exemple, les microalgues), ou à l'efficacité métabolique de la fixation du CO₂ (Zhu, Long et al. 2010, GIS2013).
- Recherche sur les racines en matière d'architecture, d'interactions rhizosphériques et de phénotypage non destructif (GIS2012).

3.3.3 *Italie*

En Italie, il n'y a pas de sélection étatique significative et plus de grands sélectionneurs (communication personnelle Elisabetta Frascaroli, Université de Bologne). Des institutions publiques telles que l'université de Bologne mènent des recherches sur la sélection⁶² et sont censées faire office de plateformes technologiques nationales dans ce domaine⁶³. En outre, des multinationales privées telles que Monsanto et Pioneer maintiennent des stations expérimentales en Italie. Ces sites ne servent pas tant de siège pour la sélection, mais permettent plutôt aux entreprises d'effectuer les essais spécifiques nécessaires de leurs variétés en Europe. La plupart des sélections ont lieu dans le Midwest des États-Unis, où règnent des conditions climatiques similaires.

Néanmoins, il existe de petits sélectionneurs privés qui se concentrent sur les spécialités italiennes, comme le blé dur pour la production de pâtes. Ces programmes de sélection sont moins soutenus par l'État que par l'industrie alimentaire. La coopération entre le producteur de pâtes Barilla et la « Società Produttori Sementi » en est un bon exemple⁶⁴. Il convient également de noter que les sous-régions indépendantes au sein de l'Italie poursuivent des politiques quelque peu différentes. Par exemple, la région du Trentin-Haut-Adige encourage la culture des pommes, car cette culture y joue un rôle très important (communication personnelle Elisabetta Frascaroli, Université de Bologne). Une partie des travaux de séquençage du génome de la pomme (Velasco, Zharkikh et al. 2010) s'y est déroulée, entre autres.

3.3.4 *Suisse*

En Suisse, une grande partie des travaux de sélection est réalisée par Agroscope. On y cultive 12 espèces de graminées fourragères, du blé, du soja, des pommes, des abricots, des vignes et des plantes médicinales et aromatiques (sauge, thym, hysope, mélisse, etc.) (analyse de la situation

⁶¹ <http://gisbiotechnologiesvertes.com/en/presentation-du-gis-bv.html> (consulté le 18 septembre 2013).

⁶² http://www.almafood.unibo.it/AlmaFood/Research/Plant_food_production.htm (consulté le 24/10/2013).

⁶³ <http://www.plantetp.org/index.php/activities-54/atnationallevel/nationaltps> (consulté le 24/10/2013).

⁶⁴ <http://www.prosementi.com/news/psb-e-barilla-puntano-allinnovazione> (consulté le 24/10/2013).

actuelle). Agroscope travaille en coopération avec le DSP. Pour le blé et en partie pour les plantes fourragères et le soja, la DSP est responsable des essais de variétés, de la production de semences de base, de la sélection conservatrice et de l'enregistrement des variétés. L'entreprise DSP cultive elle-même le maïs grain et le maïs ensilage (DSP 2012). En collaboration avec les producteurs, diverses variétés de légumes sont maintenues pour la culture conventionnelle et biologique. Il s'agit par exemple de variétés d'amarante et de laitue ainsi que de deux variétés de tournesol biologique (DSP 2011) provenant du GZPK (analyse actuelle).

La sélection en Suisse :

- Agroscope (12 espèces de plantes fourragères, soja, blé, pommes, abricots, vignes, plantes médicinales et aromatiques)
- DSP (maïs)
- GZPK (épeautre, pois, maïs, tournesol, triticales et blé)
- Sativa Rheinau AG (douze variétés de légumes)
- Breeding Botanicals International (plusieurs espèces)
- Lubera (fruits, petits fruits)
- Autres producteurs privés (vignes)

Pour la préservation des variétés, Zollinger Samen maintient 350-400 espèces et variétés de plantes⁶⁵. ProSpeciaRara maintient certaines espèces et les met à jour génétiquement pour la culture. En outre, des recherches en matière de sélection sont menées sur le sarrasin, les plantes fourragères (toutes deux à l'ETH Zurich) et le blé (Université de Zurich). Le colza, la pomme de terre et la betterave à sucre ne sont pas cultivés en Suisse.

3.3.4.1 La position de l'OFAG à ce jour sur le développement de la sélection végétale

L'OFAG demande un renforcement des grandes cultures, notamment pour limiter les importations d'aliments pour animaux (OFAG 2010). L'agrobiodiversité doit être davantage encouragée et prendre sa place dans une agriculture suisse durable (OFAG 2010, Kopainsky, Flury et al. 2013). Le « système de connaissances agricoles » devrait être renforcé. À cet effet, les spin-offs, c'est-à-dire les essaimage d'unités commerciales d'entreprises ou d'universités, doivent être soutenus par la mise à disposition de capital-risque (OFAG 2010). Les résultats scientifiques devraient passer plus rapidement dans la pratique et être appliqués.

Les cultures doivent être adaptées au changement climatique et aux systèmes de culture durables. Les méthodes et technologies de sélection, tant conventionnelles que modernes, devraient y contribuer (y compris la sélection assistée par marqueurs (SAM), les doubles haploïdes, la protéomique, la fusion de protoplastes et le génie génétique s'il apporte une valeur ajoutée significative). Le centre d'intérêt ici est, entre autres, l'augmentation de l'efficacité des nutriments des plantes. Un exemple est la prise en compte des symbioses mycorhiziennes dans la sélection et la culture, qui peut contribuer à la réduction des émissions nuisibles au climat (OFAG 2012).

Le stress dû à la chaleur et à la sécheresse des cultures doit être réduit par la sélection afin d'éviter que les changements climatiques ou les événements météorologiques extrêmes n'aient un impact sur la base de la production de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux – l'agriculture (OFAG 2011).

⁶⁵ <http://www.zollinger-samen.ch/de/about/> (consulté le 27/11/2013).

3.3.4.2 L'étude REDES

Selon l'étude de l'OFAG intitulée « L'efficacité des ressources au service de la sécurité alimentaire » (REDES), les gains de productivité jouent un rôle central dans la production et la préservation des ressources. Dans le domaine de la sélection végétale, les augmentations du rendement et de l'efficacité des nutriments ont été identifiées comme importantes (Kopainsky, Flury et al. 2013). On suppose que le taux d'autosuffisance tombera à environ 50 % d'ici 2050. D'ici là, seule l'herbe gagnera en importance. Les légumineuses, les fruits et les céréales fourragères conserveront leur importance. Les céréales, les oléagineux, les légumes et les cultures de racines et tubercules perdront légèrement de leur importance. Un léger transfert de la production végétale vers la sélection est attendu (Kopainsky, Flury et al. 2013).

3.4 Les cultures importantes et leur sélection

Les paragraphes suivants mettent en évidence l'environnement international dans lequel se déroule la sélection pour les cultures importantes, et présentent les objectifs de sélection et les sélectionneurs pertinents pour la Suisse, ainsi que, dans la mesure du possible, leurs méthodes.

3.4.1 Sélection du blé

Contrairement au maïs, la croissance du rendement du blé est en baisse depuis les années 1980 (Long et Ort 2010). On suppose qu'aujourd'hui, les variétés élités de blé apportent un maximum de 60 % de la biomasse dans le grain et peuvent absorber 90 % du rayonnement solaire pendant la période de croissance (Zhu, Long et al. 2010). Par conséquent, la poursuite de l'optimisation pose aujourd'hui des défis à la sélection. L'une des possibilités, l'optimisation de l'appareil photosynthétique, est métaboliquement complexe et difficile à saisir (Zhu, Long et al. 2010, Murchie et Lawson 2013). Une autre possibilité, le développement de blé hybride, n'a pas été poursuivie de manière conséquente à ce jour (Franck 2007).

3.4.1.1 Programmes mondiaux et européens

Aujourd'hui, il n'existe pratiquement aucun programme gouvernemental de sélection ou de stratégie de sélection pour le blé. Au niveau international, le « Wheat Yield Consortium » (WYC) a été créé avec 31 organisations partenaires, dont le « Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo » (CIMMYT) et le « Biotechnology and Biological Sciences Research Council » (BBSRC)⁶⁶. Le WYC vise à relier les plateformes de recherche et à enregistrer leurs activités afin d'aider la recherche sur le blé à avoir plus d'impact (Reynolds, Bonnett et al. 2011). En outre, l'« initiative pour le blé » a été lancée, qui vise à soutenir une augmentation des progrès en matière de rendement, de moins de 1 % par an aujourd'hui à au moins 1,7 %. Pour ce faire, il convient d'exploiter les synergies, par exemple dans la sélection du blé dur et du blé panifiable, et de coopérer au niveau mondial. L'initiative est soutenue par les pays du G20. Les participants du secteur privé de la sélection comprennent Syngenta Crop Protection AG, KWS UK et Monsanto (Wheat Initiative 2012).

En France (GIS Plattfrom et FSOV), en Italie (ISOCM) et en Allemagne (PLANT 2030), divers projets publics-privés existent dans le domaine de la sélection du blé (Annexe II).

3.4.1.2 Allemagne : sélection public et privé

La sélection du blé est pratiquée de manière intensive en Allemagne : 39 entreprises sont actives dans la sélection des céréales (AFSPA 2013) et 20,2 % des surfaces des jardins de sélection (hors plantes fourragères) sont réservées à la sélection du blé (Noleppa et von Witzke 2013). Les projets de

⁶⁶ <http://blog.cimmyt.org/?p=7920> (consulté le 6 septembre 2013).

recherche actuellement en cours en Allemagne comprennent, par exemple, le développement de marqueurs pour des caractéristiques agronomiques importantes du blé (2 projets, 3,5 millions d'euros), la durabilité de l'azote dans les céréales (2 projets, 2,0 millions d'euros), la tolérance au gel (1,1 million d'euros), le blé hybride (2 projets, 3,6 millions d'euros) et la tolérance au stress biotique (3 projets, 5,8 millions d'euros) et abiotique (4 projets, 3,1 millions d'euros)⁶⁷. Un total de 6,7 millions d'euros par an est investi dans ces programmes de recherche (Fig. 8), dont la majeure partie est consacrée à l'application et au développement de méthodes de sélection modernes (Fig. 9). Le APSV a également lancé le programme « ProWheat », qui s'inscrit dans le cadre de l'initiative mondiale en faveur du blé et couvre les thèmes de la sélection hybride, de la physiologie moléculaire du rendement et du phénotypage.

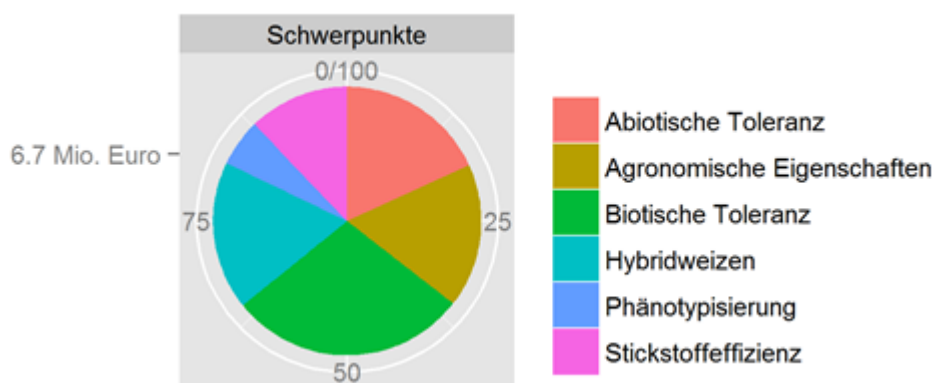


Figure 8 Part des priorités de sélection dans le financement de la recherche en Allemagne (6,7 millions d'euros par an) (Source : « PLANT 2030 » et « Wheat Initiative »)

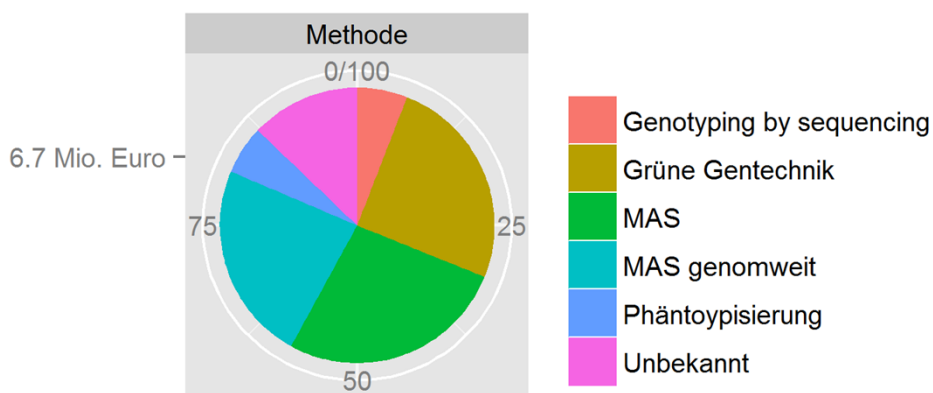


Figure 9 : Part des méthodes utilisées dans le financement de la recherche en Allemagne (6,7 millions d'euros par an) (Source : « PLANT 2030 » et « Wheat Initiative »)

Le LfL maintient un programme de sélection et participe actuellement à des projets tels que « NoSprout » et « EfficientWheat »⁶⁸, qui visent à adapter les variétés de blé au changement climatique, en évitant les pertes de qualité et la résistance aux maladies. L'Université de Hohenheim est principalement active

⁶⁷ <http://www.pflanzenforschung.de/de/plant-2030/fachinformationen/projektdatenbank> (consulté le 6 septembre 2013).

⁶⁸ <http://www.lfl.bayern.de/ipz/getreide/024940/index.php> (consulté le 6 septembre 2013).

dans la sélection du blé dur. Les objectifs de sélection sont d'améliorer le rendement et les caractéristiques de qualité importantes que sont le potentiel de couleur, la teneur en protéines et la fermeté à la cuisson, ainsi que la résistance à l'hiver et au Fusarium. Dans le cadre d'un projet financé par la Fondation allemande pour la recherche (DFG) à hauteur de 265 000 euros sur 3 ans⁶⁹, des outils permettant de sélectionner des variétés de blé dur robustes et résistantes à l'hiver sans compromettre la qualité doivent être développés en appliquant des méthodes modernes.

En Allemagne, 39 entreprises travaillent à la sélection du blé (AFSPA 2013). En Autriche, il y en a quatre⁷⁰, et en Suisse, il y a une seule entreprise. Les objectifs de sélection des entreprises importantes (Saaten Union GmbH, Strube, Deutsche Saatveredelung AG) sont le développement de blé hybride^{71,72}, l'augmentation du rendement, l'optimisation des ingrédients et de la résistance aux maladies^{73,74} ainsi que l'augmentation de la tolérance au stress abiotique^{75,76,77}.

3.4.1.3 Entreprises internationales

Aujourd'hui encore, les grandes entreprises voient un grand potentiel économique dans la sélection du blé. En 2011, par exemple, KWS Lochow a augmenté de 30 % son budget⁷⁸ pour l'amélioration du rendement dans le secteur croissant du blé⁷⁹. Outre l'augmentation des rendements, il s'agit également d'améliorer la résistance aux champignons, par exemple en recourant au génie génétique (KWS 2012). Bayer CropScience a ouvert un nouveau centre de recherche sur le blé à Gatersleben en 2012 et une station de sélection du blé près de Paris en 2013⁸⁰. Plus de 7 millions d'euros seront investis au cours des trois prochaines années⁸¹. Les principaux objectifs de sélection sont l'augmentation des rendements, la qualité des grains, l'utilisation efficace de l'eau, la tolérance à la chaleur et la résistance accrue du blé aux maladies fongiques⁸². En outre, l'efficacité de l'azote et du phosphore, la teneur en protéines et la qualité de la cuisson sont des caractéristiques importantes pour la sélection^{83,84}. Monsanto a également ajouté le blé à son portefeuille de produits en 2009.⁸⁵ Dans le cadre d'une coopération avec BASF, Monsanto travaille principalement sur l'augmentation

⁶⁹ <https://www.uni-hohenheim.de/news/fleckige-nudeln-ohne-biss-forscher-nehmen-hartweizen-gene-unter-die-lupe-2> (consulté le 6 septembre 2013).

⁷⁰ <http://www.saatgut-oesterreich.at/page.asp/1271.htm> (consulté le 6 septembre 2013).

⁷¹ <http://www.saaten-union.de/index.cfm/nav/132.html> (consulté le 9/9/2013).

⁷² <http://www.strube-research.net/Pflanzenzuechtung/?n=7> (consulté le 9/9/2013).

⁷³ <http://www.dieckmann-seeds.de/forschung-entwicklung/zuechtung/> (consulté le 9/9/2013).

⁷⁴ http://www.dsv-saaten.de/unternehmen/innovative_zuechtung/innovative_zuechtung.html (consulté le 9/9/2013).

⁷⁵ <http://www.dieckmann-seeds.de/forschung-entwicklung/zuechtung/> (consulté le 09/09/2013).

⁷⁶ http://www.dsv-saaten.de/unternehmen/innovative_zuechtung/innovative_zuechtung.html (consulté le 9/9/2013).

⁷⁷ <http://www.strube-research.net/Strube%20Research/?n=9> (consulté le 9/9/2013).

⁷⁸ <http://www.kws-lochow.de/qualityplus1.html> (consulté le 10 septembre 2013).

⁷⁹ <http://www.kws.de/go/id/ercu/> (consulté le 10 septembre 2013).

⁸⁰ <http://www.cropscience.bayer.com/en/Magazine/Creating-Tomorrows-Commitment/Creating-Tomorrows-Wheat-Part-2.aspx> (consulté le 10 septembre 2013).

⁸¹ <http://www.cropscience.bayer.com/en/Media/Press-Releases/2013/Bayer-CropScience-opens-Wheat-Breeding-Station-in-Milly-la-Fort-near-Paris-France.aspx?overviewId=D7EED097-06ED-444F-9333-27DCBE3D91F1&language=de-DE> (consulté le 10 septembre 2013).

⁸² <http://www.cropscience.bayer.com/en/Media/Press-Releases/2013/Bayer-CropScience-opens-Wheat-Breeding-Station-in-Milly-la-Fort-near-Paris-France.aspx?overviewId=D7EED097-06ED-444F-9333-27DCBE3D91F1&language=de-DE> (consulté le 9/12/2013).

⁸³ <http://www.cropscience.bayer.com/en/Products-and-Innovation/Key-Crops/Wheat.aspx> (consulté le 9/12/2013).

⁸⁴ <http://www.cropscience.bayer.com/en/Magazine/Creating-Tomorrows-Commitment/Creating-Tomorrows-Wheat-Part-2.aspx> (consulté le 9/12/2013).

⁸⁵ <http://monsantoblog.com/2013/01/14/monsantos-2013-research-pipeline-update/> (consulté le 10 septembre 2013).

des rendements et la tolérance au stress et aux herbicides ⁸⁶ par le biais du génie génétique (CropLife 2012).

3.4.1.4 Principaux domaines de recherche et objectifs de sélection

Les domaines de recherche et les objectifs de sélection les plus importants ainsi que la taille des programmes de recherche correspondants sont résumés sous forme de tableau ci-dessous (Tab. 1). Pour une description détaillée des différents projets, voir l'annexe II.

Tableau 1 : Nombre de projets établis, investissements annuels résumés ainsi que les approches de recherche poursuivies et les projets individuels les plus importants pour les domaines de recherche les plus importants dans la sélection du blé.

Propriété/ Objectif	Nombre de projets	Investisse ments (en millions d'euros)	Approches suivies	Projets importants
Blé hybride	11	1.28	- Utilisation de lignées synthétiques de blé hexaploïde comme parents hybrides - Mécanismes de la stérilité mâle de la mère de la graine - Promet une augmentation du rendement de 3,5 à 30 %.	- Hy-wheat - blé d'Inde
Écoefficacité	6	1.49	- La sélection pour l'efficacité des nutriments - Céréales fixatrices d'azote par génie génétique	- Divers projets FSOV - Nitro Sus
Rendement	6	1.51	- Intensification durable - Augmentation de la capacité et de l'efficacité photosynthétiques et optimisation de la fixation du CO ₂	- SELECT - VALIDE
Résistance biotique	10	7.71	- Évaluation des ressources génétiques - Cartographie de nouveaux gènes de résistance - Utilisation de marqueurs génétiques pour le pyramidage de différentes résistances.	- Programme d'évaluation des ressources phytogénétiques (EVA) - ProtectWheat (UE)
Tolérance abiotique	8	5.58	- Amélioration classique de la tolérance à la sécheresse et au gel - Utilisation des symbioses mycorhiziennes - Identification de marqueurs génétiques pour la tolérance au stress	- BREEDWHEAT - CORNET - Blé roux/NOSPROUT - FroWheat

⁸⁶ <http://monsantoblog.com/2013/01/14/monsantos-2013-research-pipeline-update/> (consulté le 10 septembre 2013).

Qualité	5	1.0	- Amélioration de la qualité des protéines pour les propriétés boulangères du blé tendre - Amélioration de la résistance à la croissance - Amélioration de divers Caractéristiques du blé dur	
Phénotypage général	5	8.82	- description plus précise des plantes par des méthodes non invasives basées sur des capteurs	- PHÉNOME - RAPP

^a le montant total des investissements ne comprend que les projets pour lesquels des données étaient disponibles. Pour la répartition des fonds entre les différents projets, voir l'annexe II.

3.4.1.5 La sélection du blé en Suisse

Depuis les années 1980, la station de recherche ACW a axé la sélection du blé principalement sur la qualité boulangère, la résistance aux maladies et la stabilité des rendements (Fossati et Brabant 2003, OFAG, ACW et al. 2008). Cette démarche s'est avérée fructueuse jusqu'à présent, car les variétés suisses sont très populaires dans les classes de qualité supérieure et dominent le marché suisse (communication personnelle Meinrad Müller, swisssem). En 2007, les variétés suisses étaient cultivées à l'étranger sur environ 110'000 ha, en 2013 même sur environ 130'000 ha, dont plus de la moitié aux USA (Brabant 2008). 20 % des revenus des licences proviennent ainsi de l'étranger (Brabant 2008). Cependant, la sélection étrangère, notamment autrichienne, n'a cessé de rattraper son retard en termes de qualité ces dernières années (communication personnelle Michael Winzeler, Agroscope). Aujourd'hui, les variétés nouvellement développées permettent une augmentation du rendement de +0,24 dt/ha par an.

Les objectifs de sélection de l'ACW dans le blé panifiable sont d'augmenter le rendement, la qualité (aptitude à la panification), la résistance aux maladies (rouille jaune et brune, oïdium, *Septoria nodorum* et *S. tritici*, fusarioses de l'épi) ainsi que la résistance au stockage et au climat⁸⁷.

Les objectifs du GZPK sont la résistance à la carie et à la rouille brune, l'augmentation de la valeur sanitaire (par exemple, le blé pigmenté) et l'amélioration de l'efficacité de l'azote, de la stabilité et de la suppression des mauvaises herbes. La résistance doit être obtenue par une sélection récurrente et un élargissement simultané de la base génétique (Kunz, Becker et al. 2006)⁸⁸. Les anthocyanines ont un effet antioxydant et pourraient donc avoir un effet positif sur la santé (Stintzing et Carle 2004).

3.4.1.6 Conclusions / Tendances

- La recherche publique-privée se concentre sur le rendement et la durabilité grâce au blé hybride et à l'amélioration génétique. Des projets très novateurs sont en cours de réalisation, par exemple « RNAguard ».
- La recherche privée se concentre sur la production d'hybrides et le génie génétique (meilleure protection des droits de propriété (Kloppenburger 2005)).
- Les petites entreprises de sélection se concentrent sur la qualité, la résistance aux maladies et les ingrédients.
- En Allemagne et en France, des projets sont en cours pour introduire les technologies de pointe dans la sélection. Les variétés de blé hybrides devraient générer une forte pression concurrentielle.

⁸⁷ <http://www.agroscope.admin.ch/amelioration-des-plantes/00713/index.html?lang=de> (consulté le 2 septembre 2013).

⁸⁸ http://www.getreidezuechtung.ch/index.php?article_id=3 (consulté le 15/10/2013).

- De grands projets dans des domaines pertinents pour la Suisse existent déjà, par exemple en France pour la sélection de la résistance (FSOV, 3 millions d'euros par an) et pour l'écoefficacité (efficacité de l'azote ou suppression des mauvaises herbes, « FSOV/Ecopyhto », 0,66 million d'euros par an).

3.4.2 Sélection de plantes fourragères

3.4.2.1 Environnement international

Dans le Catalogue commun des variétés des espèces de plantes agricoles de la Commission européenne, près de 6 000 variétés de 39 espèces de plantes fourragères annuelles et pérennes ont été enregistrées au cours des 20 dernières années. Environ 50 % de ces variétés ont été enregistrées il y a moins de 10 ans. Les enregistrements les plus fréquents de plantes fourragères pérennes ont été effectués par l'Allemagne, la France, l'Italie et la Hollande. Au total, nous trouvons 331 obtenteurs ou mainteneurs publics et privés de ces variétés dans le catalogue des variétés de l'UE. Leur nombre par pays est très variable, allant de moins de 10 (Belgique et Grèce) à 127 (Italie). Les variétés les plus enregistrées au cours des 20 dernières années sont le ray-grass anglais (environ 1600), le ray-grass italien (environ 600) et la fétuque rouge (environ 600). Les leaders avec le plus de variétés enregistrées au cours des 20 dernières années sont DLF-Trifolium (1 600 variétés), Barenbrug Holland et Euro Grass Breeding (environ 540 chacun) et RAGT (Julier, Fournier et al. 2014).

3.4.2.2 Méthodes de sélection dans la sélection des plantes fourragères

Dans la sélection des plantes fourragères (en l'occurrence les graminées et le trèfle), les méthodes de sélection dépendent aussi fortement de la taille de l'entreprise. De grandes entreprises telles que DLF-Trifolium (Danemark), qui détiennent jusqu'à 20 % du marché mondial, utilisent à la fois des méthodes conventionnelles et des méthodes basées sur les marqueurs d'ADN pour sélectionner des variétés de graminées et de trèfles. Les méthodes de sélection conventionnelles comprennent les croisements par paire et les croisements en masse (polycrosses), ainsi que la sélection en fonction des différents lieux. Des marqueurs de polymorphisme à nucléotide unique (SNP) et de répétitions de séquences simples (SSR) sont utilisés pour la sélection assistée par marqueurs (MAS) (communication personnelle de Klaus K. Nielsen, DLF-Trifolium). Les méthodes de sélection qui nécessitent une modification génétique de l'organisme ne sont pas utilisées pour des raisons politiques et économiques. Alors que le MAS n'est utilisé que dans une mesure limitée et dans le cadre de recherches spécifiques à un projet, la majorité de la sélection est basée sur des méthodes de sélection conventionnelles (communication personnelle Lukas Wolters, Euro Grass Breeding).

3.4.2.3 Trèfle rouge : sélectionneurs et variétés

Dans le domaine du trèfle rouge, la sélection suisse d'Agroscope en collaboration avec la DSP est très bien positionnée dans la production nationale et européenne de plantes fourragères (Fig. 10). La liste des variétés recommandées 2013/2014 pour la Suisse est principalement dominée par les variétés Agroscope/DSP (Agroscope 2013). Le trèfle violet recommandé provient exclusivement de sociétés de sélection suisses, le trèfle des champs principalement de sociétés de sélection étrangères, telles que Freudenberger (DE), Agrogen (CZ), EURO GRASS (DE), Carneau (FR), Agri Obtentions (FR), Norddeutsche Pflanzenzucht (NPZ, DE), Centrum výskumu rastlinnej výroby Piešťany (CVRV, SK) et Saatzucht Steinach (DE).

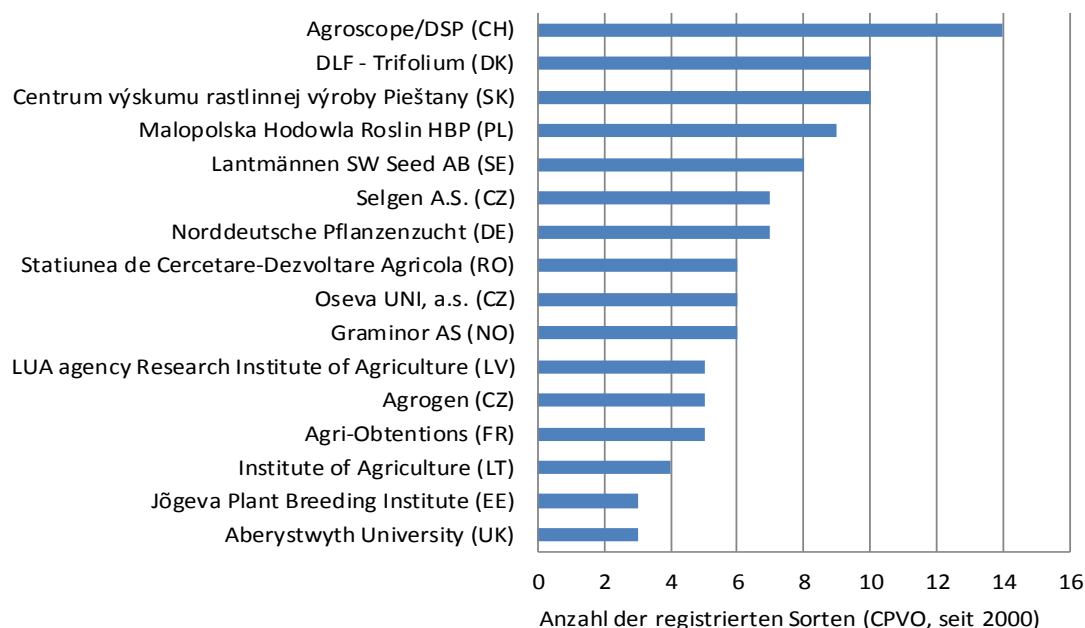


Figure 10 : Noms des institutions de sélection ou de maintien et nombre de variétés de trèfle rouge inscrites sur la liste de l'CPVO (Office communautaire des variétés végétales). En outre, 31 autres institutions ont enregistré moins de 3 variétés depuis 2000.

3.4.2.4 Trèfle rouge : domaines de recherche et objectifs de sélection

Un objectif important de la sélection est d'augmenter le rendement et la qualité. Une appétence élevée et une forte teneur en protéines sont ici au premier plan, la résistance aux maladies, par exemple contre le *Fusarium* ou le *Sclerotinia* (*Sclerotinia trifoliorum*), jouant un rôle important. Une meilleure efficacité de l'eau et des nutriments permet d'utiliser les ressources plus efficacement et de cultiver dans des zones plus sèches. Dans l'ensemble, la sélection de ces variétés vise à ce qu'elles puissent être cultivées dans de nombreux endroits et dans différentes conditions de stress (DLF-Trifolium⁸⁹).

3.4.2.5 Ray-grass italien : sélectionneurs et variétés

Des entreprises de sélection telles que DLF-Trifolium, Euro Grass Breeding, RAGT Seeds, Barenbrug Holland et l'Institut belge de recherche sur l'agriculture et la pêche (ILVO) ont enregistré la plupart des variétés de ray-grass italien figurant sur la liste de l'CPVO depuis 2000 (Fig. 11). Néanmoins, seules quelques-unes de ces variétés sont recommandées pour la culture suisse. Comme pour le trèfle violet, la fétuque des prés et le ray-grass bâtard, les variétés Agroscope/DSP dominent cette liste (2013/2014) (Agroscope 2013). Seules 2 des 13 variétés recommandées sont issues de la sélection d'entreprises étrangères telles que DLF- Trifolium ou d'institutions publiques telles que l'ILVO.

⁸⁹ http://www.dlf.com/R_D/Grass_seeds_Forage_Breeding.aspx (consulté le 13/11/2013).

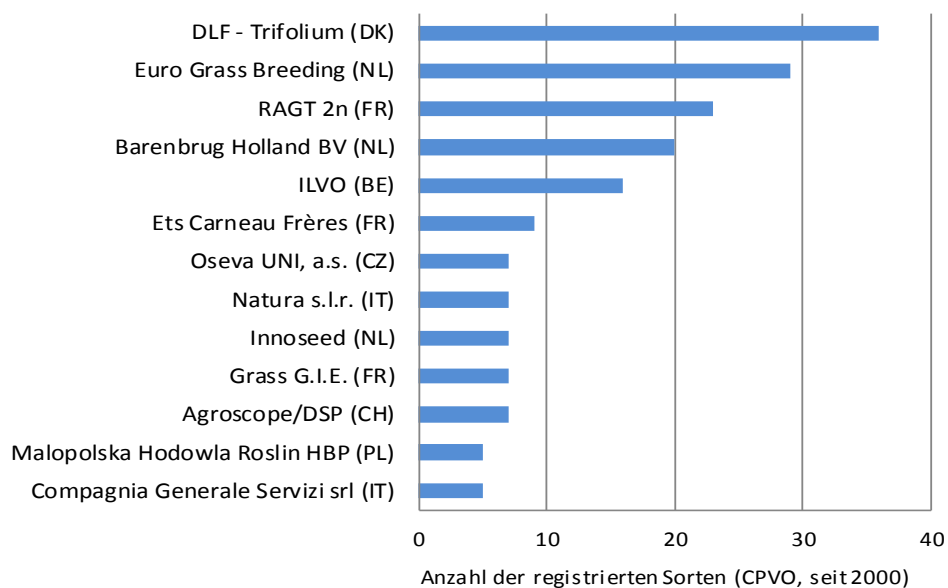


Figure 11 : Noms des institutions de sélection ou de maintenance et nombre de variétés de ray-grass italien inscrites sur la liste de l'CPVO (Office communautaire des variétés végétales). En outre, 35 autres institutions ont moins de 5 variétés enregistrées.

3.4.2.6 Le ray-grass italien : domaines de recherche et objectifs de sélection

Les principaux objectifs de la sélection sont d'augmenter le rendement et la qualité. Une digestibilité élevée ainsi que l'optimisation des ingrédients, par exemple l'augmentation de la teneur en sucre, sont ici au premier plan. Le rendement ainsi que la qualité des plantes fourragères doivent également être assurés en réduisant la sensibilité aux maladies, par exemple le flétrissement bactérien (*Xanthomonas translucens* pv. *Graminis*), la rouille (*Puccinia* spp.) et la moisissure des neiges (*Microdochium nivale*). En outre, on constate une amélioration des cycles de croissance, de la persistance et de la tolérance au gel, ainsi qu'une réduction de la croissance des tiges.

3.4.3 Sélection du soja

3.4.3.1 Environnement international

Le soja est aujourd'hui l'une des cultures fourragères les plus importantes au monde et est largement cultivé dans la principale région productrice, les États-Unis. Les activités de recherche sur le soja sont très prononcées. Aux États-Unis, plus de 700 projets de recherche ont été signalés au United Soybean Board (USB) en 2012/2013 pour un volume de 63 millions de dollars US, qui sont financés par les state checkoff boards (qui prélèvent 0,5 % du prix du marché du soja récolté comme frais de culture) (USB 2013). Par rapport à d'autres cultures, beaucoup d'argent et de temps ont été investis dans le séquençage du génome du soja en un temps très court, qui a été publié en 2008 par le Joint Genome Institute (JGI)⁹⁰. En 2012, les 19 798 accessions de soja de la banque de gènes du ministère américain de l'agriculture (USDA) ont été séquencées avec une puce de 50 000 SNP afin de trouver des

⁹⁰ <http://www.nature.com/news/2008/081210/full/news.2008.1294.html> (accessed 9/23/2013).

marqueurs pour la teneur en huile (Cregan, Song et al. 2012) et de les utiliser ultérieurement dans la sélection.

En Europe, l'Institut agricole d'Osijek en Croatie pratique la sélection au sein des groupes de maturité 00 et II en utilisant des méthodes conventionnelles et assistées par marqueurs (Sudarić et Vratarić 2008). Plus de 100 cultivars des groupes de maturité 0 à III ont été enregistrés par l'Institut des cultures de plein champ et des légumes de Novi Sad (Serbie) (Miladinović, Burton et al. 2011). L'INRA a établi une collection de base de 50 génotypes avec le groupe de maturité 000 à III (Tavaud-Pirra, Sartre et al. 2009).

3.4.3.2 Sélectionneurs et variétés

80 % de la surface cultivée en Suisse est plantée avec des variétés Agroscope (analyse actuelle, (FAOSTAT 2012)). La DSP enregistre une augmentation des ventes à l'exportation de semences d'essai (statistiques internes de la DSP). Outre les variétés Agroscope, les obtenteurs suivants ont recommandé des variétés pour la culture en Suisse : Euralis Saaten GmbH (chiffre d'affaires de 140 millions d'euros dans le secteur des semences), RAGT (chiffre d'affaires de 341 millions d'euros dans le secteur des semences), Saatzucht Donau, Prograin Inc. (actif dans le secteur de la nutrition humaine avec un accent sur la qualité⁹¹ ainsi que dans le secteur des OGM avec un accent sur le rendement). En outre, la sélection du soja existe dans diverses universités telles que Hohenheim (DE), Vienne (AT), Hongrie (KRO), Minnesota (USA), Guelph et Ottawa (Canada) (communication personnelle Claude-Alain Bétrix, Agroscope).

3.4.3.3 Principaux domaines de recherche et objectifs de sélection

Dans le cadre des programmes de financement décrits au chapitre 1, diverses priorités de financement ont été fixées pour les légumineuses en général. Outre le soja, par exemple, le projet « PlantsProFood » : ingrédients alimentaires à base de lupin doux bleu » est financé par le MFER à hauteur de 4,2 millions d'euros (UFOP 2012). Les domaines de recherche les plus importants pour le soja sont :

Maturité précoce et tolérance au froid

Dans le cadre de la stratégie en matière de protéines en Allemagne, un programme de sélection à l'Université de Hohenheim a été financé pour l'expansion de la culture du soja, dans lequel des variétés de soja à maturation précoce, à jour neutre, tolérantes au froid, à haut rendement et de haute qualité sont développées⁹². Ces efforts de sélection doivent être soutenus à l'avenir par des marqueurs moléculaires (Hahn 2012).

Sélection de la résistance

En 2010, un programme de trois ans (1,2 million d'euros) a été conclu avec 12 grands sélectionneurs européens de légumineuses. Il s'agissait, entre autres, de mettre au point des tests de marqueurs d'ADN afin de faciliter le MAS pour les gènes de résistance chez les légumineuses⁹³.

⁹¹ <http://www.semencesprograin.com> (consulté le 24 septembre 2013).

⁹² <https://www.uni-hohenheim.de/projekt/ausweitung-des-sojaanbaus-in-deutschland-durch-zuechterische-anpassung-und-pflanzenbauliche-optimierung> (consulté le 24 septembre 2013)

⁹³ <http://www.pflanzenforschung.de/de/plant-2030/fachinformationen/projektdatenbank/nutzung-genetischer-vielfalt-resistenzgenen-der-important-388> (consulté le 24/09/2013).

Fixation de l'azote

A l'INRA, des recherches⁹⁴ sont menées sur la réduction des émissions de N₂O par des bactéries fixatrices d'azote génétiquement modifiées. La fixation de l'azote en cas de stress dû à la sécheresse⁹⁵ et dans des climats plus froids sont d'autres domaines de recherche dans lesquels l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL) est également impliqué⁹⁶.

3.4.3.4 Méthodes de sélection dans la sélection du soja

Si la sélection génomique est largement utilisée aux États-Unis, la sélection conventionnelle reste prédominante en Europe et la SAM n'est utilisée que dans des cas isolés. En revanche, les méthodes des entreprises privées telles que Euralis Saaten GmbH et RAGT ne sont pas connues.

3.4.4 L'sélection des pommes

La variété de pomme Gala a la plus grande part de surface en Suisse avec 20,8 %, suivie de Golden Delicious (15,9 %) (OFAG 2012). Introduite seulement en 2007, la Braeburn est déjà cultivée sur 8,4 % de la surface en 2012 (Bravin, Leumann et al. 2008, OFAG 2012).

3.4.4.1 Sélectionneurs pertinents pour la Suisse

Les variétés de pommes Agroscope (Maigold, Milwa (Diwa®), La Flamboyante (Mairac®), Galmac et la nouvelle CH101-Galiwa®) sont cultivées en Suisse sur 9 % (371 ha) de la surface totale de pommes (OFAG 2012). Agroscope participe au projet international « FruitBreedomics »⁹⁷, qui utilise des méthodes modernes telles que la cartographie d'association à l'échelle du génome (MAS) pour élargir la base génétique et augmenter la densité des marqueurs dans la cartographie du génome. Dans le même temps, l'écart entre la recherche et l'application sera comblé. En outre, Agroscope collabore avec différents partenaires, par exemple l'Institut Julius Kühn (JKI) pour l'évaluation de la sensibilité des pousses, l'initiative privée « Fruture » en ce qui concerne les ressources génétiques et VariCom⁹⁸, qui est responsable de l'essai des variétés et de leur commercialisation (Kellerhals, Baumgartner et al. 2012). Le JKI travaille sur la pyramidalisation des gènes de résistance en utilisant le MAS⁹⁹. Un nouveau partenariat a récemment été établi avec le Centre expérimental du Tyrol du Sud de Laimburg. Il s'agit notamment de promouvoir l'échange de variétés de sélection et le développement conjoint de méthodes de sélection modernes et de marqueurs moléculaires¹⁰⁰.

Principaux obtenteurs de variétés de pommes cultivées en Suisse

- **Plant & Food Research** : l'institut de recherche gouvernemental de Nouvelle-Zélande héberge la coentreprise Prevar™, ¹⁰¹qui est le principal concurrent d'Agroscope pour la sélection des pommes (communication personnelle Markus Kellerhals, Agroscope). Le

⁹⁴ <http://www.inra.fr/en/Partners-and-Agribusiness/Results-Innovations-Transfer/All-the-news/Legume-inoculants-soil-nitrous-oxide> (consulté le

⁹⁵ [http://www.bioforschung.at/Stickstofffixierung-von-Soja.240.0.html?&L=0&no_cache=1&sword_list\[0\]=soy](http://www.bioforschung.at/Stickstofffixierung-von-Soja.240.0.html?&L=0&no_cache=1&sword_list[0]=soy) (consulté le 25 septembre 2013).

⁹⁶ <http://www.sojainfo.de/849.html> (consulté le 25 septembre 2013).

⁹⁷ <http://www.fruitbreedomics.com/index.php/the-project>

⁹⁸ <http://www.varicom.ch/cms/index.php?kat=29> (consulté le 13/10/2013).

⁹⁹ http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/zuechtung-gartenbau-obst/arbeitsgruppen/apfelzuechtung.html (consulté le 15/10/2013)

¹⁰⁰ <http://www.agroscope.admin.ch/aktuell/00198/05306/index.html> (consulté le 15/10/2013).

¹⁰¹ <http://www.plantandfood.co.nz/growingfutures/horticulture/how-we-deliver/pipfruit> (consulté le 15/10/2013).

programme de sélection des pommes dispose d'environ 3 millions de dollars par an¹⁰². Avec 1,8 % (7,4 ha) de la superficie totale de pommes, la variété club développée, Jazz¹⁰³, détient à peu près la même part de marché que la variété club Agroscope « La Flamboyante » (Mairac®). Il est suivi de près par le Cripps Pink australien (Pink Lady®), qui a été développé en 1973¹⁰⁴ (OFAG 2012).

- **Lubera** : Selon ses propres informations, l'entreprise gère le plus vaste programme privé de sélection de fruits et de petits fruits d'Europe¹⁰⁵.

3.4.4.2 Méthodes et objectifs de sélection

*Prevar*TM a développé des marqueurs pour la chair rouge et la résistance à la tavelure, à l'oïdium (*Blumeria graminis*) et aux pucerons. Une méthode de floraison précoce dans des conditions optimales est utilisée¹⁰⁶. L'augmentation de la qualité, du rendement et de la résistance¹⁰⁷ ainsi que la sélection de certains ingrédients et substances allergènes sont de plus en plus des objectifs de sélection chez Agroscope (communication personnelle Markus Kellerhals, Agroscope). Dans la recherche Agroscope, la MAS est appliquée pour l'amélioration de la résistance au feu bactérien, la floraison précoce grâce à des conditions environnementales optimales et la méthode de génie génétique de la floraison précoce (Kellerhals, Baumgartner et al. 2012). Un premier cultivar de pomme résistant au feu bactérien et à la tavelure a été sélectionné avec succès dans le cadre du projet « ZUEFOS » (Züchtung feuerbrandrobuster Obstsorten) (Leumann, Baumgartner et al. 2013).

3.4.5 Culture de légumes

Dans la sélection de légumes, on observe un fort processus de concentration avec une focalisation sur quelques espèces. Dans le monde, par exemple, il n'y a que quelques sélectionneurs pour le maïs doux (Nickerson, Sativa Rheinau), le chou-rave et les carottes (communication personnelle Amadeus Zschunke, Sativa Rheinau). Dans nos pays voisins, il y a peu de sélection publique dans le domaine des légumes, bien qu'il faille¹⁰⁸ mentionner les activités de l'Université de Hohenheim¹⁰⁹, de l'École nationale d'horticulture et d'agriculture de Hohenheim¹¹⁰ et de l'Université de Göttingen (sélection biologique). D'autres universités^{111,112}, ainsi que le département de modélisation des systèmes de

¹⁰² <http://www.prevar.co.nz/prevar-news/press-releases/the-pipfruit-breeding-equation/> (consulté le 15/10/2013).

¹⁰³ <http://www.plantandfood.co.nz/page/our-research/breeding-genomics/key-crops/pipfruit> (consulté le 15/10/2013).

¹⁰⁴ <http://www.pinklady.ch/Erfolgssstory.aspx> (consulté le 15/10/2013).

¹⁰⁵ <http://www.lubera.com/ch/shop/zuechtung.html> (consulté le 14/10/2013).

¹⁰⁶ <http://www.plantandfood.co.nz/page/our-research/breeding-genomics/key-crops/pipfruit> (consulté le 15/10/2013).

¹⁰⁷ <http://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg-id=50316> (consulté le 14/10/2013)

¹⁰⁸ <http://www.uni-goettingen.de/en/48392.html> (consulté le 19 septembre 2013).

¹⁰⁹ <https://www.uni-hohenheim.de/index.php?sessionid=EBE714C1EB38033AD62F499D4C556757?id=1597&state=wsearchv&search=13&einrichtung.eid=17#sftabs-4> (Zugriff am 19.9.2013)

¹¹⁰ <http://www.staatsschule.uni-hohenheim.de/> (consulté le 19 septembre 2013).

¹¹¹ <http://www.pflanzenforschung.de/de/plant-2030/fachinformationen/projektdatenbank/poptimierung-von-inulinertag-und-degre-de-polymérisation-c-326> (consulté le 19 septembre 2013).

¹¹² <http://www.pflanzenforschung.de/de/plant-2030/fachinformationen/projektdatenbank?suchtext=&p2030=1&bios=1&aktuelle=1&abgelaufene=1&pflanze=5127&programm=leer&anzahlpflanze=1&summevon=0&summebis=0&pfilter=1> (consulté le 19 septembre 2013).

cultures maraîchères de l'université de Hanovre¹¹³, travaillent sur des petits projets isolés dans le domaine de la sélection végétale.

3.4.5.1 Sélectionneurs pertinents, objectifs et méthodes de sélection

Les principaux concurrents privés des variétés suisses (Sativa Rheinau, Zollinger Samen et ProSpeciaRara) viennent des Pays-Bas. En outre, de grandes entreprises multinationales telles que Monsanto et Syngenta ainsi que Nickerson Zwaan (groupe Limagrain) sont¹¹⁴ présentes. En général, les normes technologiques élevées font déjà partie de la vie quotidienne de ces entreprises. Par exemple, l'identification des gènes de résistance et la sélection de la résistance à l'aide de marqueurs sont des pratiques courantes. Les cultures de tissus pour la sélection d'hybrides sont utilisées, par exemple, par les entreprises Rijk Zwaan et Bejo Zaden. Alors que certaines petites entreprises attachent une grande importance au goût en plus de la qualité (communication personnelle Amadeus Zschunke, Sativa Rheinau), d'autres exigent seulement que le goût ne soit pas atypique. Les sélectionneurs importants pour le marché suisse sont :

- **Bejo Zaden** : se concentre sur la sélection de la résistance, la culture de tissus, la biologie cellulaire, la technologie des marqueurs d'ADN et les ingrédients bénéfiques pour la santé. Au total, 70 projets portent à eux seuls sur des travaux de sélection dans le domaine de la résistance. En plus des variétés conventionnelles, l'entreprise propose également une gamme biologique¹¹⁵.
- **Enza Zaden** : sélectionne également des variétés pour la culture biologique en collaboration avec Vitalis¹¹⁶. En termes de biotechnologie, il existe des collaborations avec les entreprises KeyGene et Westcape Biotech Pty. pour pratiquer une sélection innovante avec les méthodes les plus avancées. Le développement de variétés pour la culture hydroponique est récent (Enza2013).
- **Rijk Zwaan** : est actionnaire de KeyGene et applique les haploïdes doubles, le MAS et d'autres technologies modernes pour la détermination des ingrédients. L'entreprise propose également des variétés biologiques¹¹⁷.
- **Sativa Rheinau** : utilisation des MAS dans la sélection de la résistance. Des entreprises externes effectuent l'analyse génétique. Des projets sur l'utilisation des MAS dans la sélection des légumes sont menés en collaboration avec l'Université de Göttingen et le FiBL. Dans le domaine de la sélection des tomates, il existe des collaborations avec des partenaires italiens et dans le domaine du maïs doux avec des partenaires américains. La coopération se poursuit au niveau international, notamment pour le développement de méthodes et l'échange de ressources génétiques (communication personnelle d'Amadeus Zschunke, Sativa Rheinau).

¹¹³ http://www.gem.uni-hannover.de/wir_ueber_uns.html (consulté le 19 septembre 2013).

¹¹⁴ <http://www.nickerson-zwaan.com/site/home-germany-de> (consulté le 20 septembre 2013).

¹¹⁵ <http://www.bejo.ch/> (consulté le 19 septembre 2013).

¹¹⁶ <http://www.biovitalis.eu/> (consulté le 19 septembre 2013).

¹¹⁷ <http://www.rijkszwaan.de/wps/wcm/connect/RZ+FR/Rijk+Zwaan/Company/Activities/Research> (consulté le 20.9.2013)

3.4.6 Sélection des pommes de terre

Les variétés les plus importantes en Suisse présentent la part de surface suivante : Agria 22 % (obteneur : Böhm KG, Allemagne 1988), Charlotte 14 % (obteneur : Germicopa SA, France), Victoria 7 % (obteneur : ZPC, Hollande) et Innovator 6 % (obteneur : HZPC, Hollande) (Agroscope 2013) ¹¹⁸.

3.4.6.1 Sélectionneurs, méthodes et objectifs de sélection pertinents

La Suisse ne dispose d'aucun programme public ou privé de sélection de pommes de terre. Ainsi, toutes les variétés recommandées et cultivées en Suisse proviennent d'autres pays européens (Agroscope 2013). La sélection de pommes de terre pour le climat suisse est principalement pratiquée par des entreprises de taille moyenne en France, en Allemagne et aux Pays-Bas. En termes de technologies, de nombreux sélectionneurs s'appuient sur la sélection conventionnelle de variétés clonales à partir d'un grand nombre de croisements, mais la sélection assistée par marqueurs se développe (par exemple, HZPC, Europlant). La propagation *in vitro* est spécifique à la pomme de terre. Elle est utilisée par exemple par Europlant pour la propagation végétative rapide des variétés. Les sélectionneurs importants pour la Suisse sont.

- **Germicopa** : gère une station de recherche à Châteauneuf-du-Faou (Bretagne, France). Environ 1'500 hybrides sont créés et 70'000 graines sont semées par an. 900 clones et variétés élités sont conservés¹¹⁹ dans la propre banque de gènes.
- **HZPC** : a été créée en 1999 à partir des sociétés Hettema et De ZPC. Le HZPC teste la culture de différentes variétés de pommes de terre dans différentes zones climatiques. L'objectif est d'identifier plus rapidement des caractéristiques spécifiques grâce à l'utilisation du MAS¹²⁰. L'entreprise emploie environ 200 personnes et réalise un chiffre d'affaires d'environ 225 millions d'euros par an¹²¹.
- **Europlant** : est une fusion de Böhm KG avec Nordkartoffel Zuchtgesellschaft GmbH et possède trois stations d sélection en Allemagne, qui évaluent plus de 100 croisements par an. Des technologies telles que la propagation in-vitro de plantes (jusqu'à 450 000 par an par la société BIOPLANT) et la MAS sont appliquées. Des variétés destinées à la culture biologique sont également développées¹²². Europlant emploie 105 personnes et a réalisé un chiffre d'affaires d'environ 131 millions d'euros en 2011 ¹²³Deux nouvelles variétés sont également recommandées pour la culture en Suisse (Agroscope 2013).

3.4.7 Sélection de plantes médicinales

En Suisse, les plantes médicinales et aromatiques sont actuellement cultivées sur environ 120 ha (analyse actuelle).

3.4.7.1 Sélectionneurs, méthodes et objectifs de sélection pertinents

Les objectifs importants de la sélection sont des teneurs et des qualités élevées des ingrédients végétaux actifs (médicaments) ainsi que l'amélioration des propriétés agronomiques. En outre,

¹¹⁸ <http://www.kartoffel.ch/index.php?id=76> (consulté le 20 septembre 2013).

¹¹⁹ <http://www.germicopa.fr/search,our-methods.htm> (consulté le 20 septembre 2013).

¹²⁰ <http://www.hzpc.com/r-d/research---development?stelID=7&catID=819&page=1> (consulté le 20 septembre 2013).

¹²¹ http://de.wikipedia.org/wiki/HZPC_Holland (consulté le 20 septembre 2013).

¹²² <http://europlant.biz/kompetenz/> (consulté le 20 septembre 2013).

¹²³ <http://wer-zu-wem.de/firma/europlant.html> (consulté le 20 septembre 2013).

l'objectif est d'accélérer le processus de sélection et de préserver autant que possible les ressources génétiques (Carlen 2013). La recherche et la sélection internationales dans le domaine des plantes médicinales sont menées à l'aide de technologies de pointe. Actuellement, les transcriptomes séquencés de 10 plantes médicinales sont disponibles, ce qui a permis de nombreuses identifications de marqueurs moléculaires (Hao, Chen et al. 2012). Dans le domaine de l'amélioration des plantes du programme CAMEL (camomille, valériane et mélisse), il existe des projets visant à produire de la mélisse double-haploïde, de la camomille triploïde et à augmenter la qualité pharmaceutique de la valériane, entre autres. Les principaux sélectionneurs sont :

- **Agroscope** : Les plantes médicinales cultivées par Agroscope ne font actuellement l'objet que d'une faible concurrence en Suisse et à l'étranger. Le matériel végétal est échangé avec des sélectionneurs étrangers et il existe des collaborations avec diverses universités (communication personnelle José Vouillamoz, Agroscope). Les progrès sont réalisés en peu de temps grâce à la sélection d'une variabilité génétique élevée. La sélection et la culture de ces plantes peuvent réduire la pression sur les plantes sauvages (Carlen 2013).
- **Breeding Botanicals International** : La société Breeding Botanicals International entretient la sélection d'une variété de plantes médicinales et aromatiques. Par exemple, le *Vitex agnus castus* (poivre de moine) ou le *Coleus forskohlii* (ortie commune)¹²⁴.
- **CAMEL en Allemagne** : En Allemagne, la sélection et l'optimisation de la culture de la camomille, de la valériane et de la mélisse (CAMEL) est financée à hauteur de 1,5 million d'euros par an par le MFAAPC via l'Agence des ressources renouvelables (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.). (FNR). L'objectif est de faire passer la superficie cultivée de 13 000 à 20'000 ha d'ici 2020¹²⁵.

3.4.8 Sélection des oléagineux

Bien qu'aucune variété de colza ne soit sélectionnée en Suisse, il s'agit d'une culture importante. La liste des variétés recommandées montre qu'une importance particulière est accordée aux variétés hybrides (Swissgranum 2012, Agroscope 2013). En Suisse, mais aussi dans d'autres pays européens, l'utilisation d'hybrides se situe désormais entre 55 % (Slovaquie) et 95 % (Bulgarie) (Frauen 2013). Les très bonnes propriétés culturales et les bénéfices élevés générés par la récolte et les prix élevés des oléagineux permettent de récupérer très rapidement les coûts de sélection investis, qui sont continuellement utilisés pour la poursuite de la sélection (communication personnelle Lukas Aebi, FENACO). En comparaison avec d'autres pays d'Europe, la culture des variétés HOLL sur l'ensemble de la surface est déjà très avancée en Suisse (plus de 30 %). Les variétés en ligne figurent toujours dans la liste des variétés recommandées, mais représentent moins de 5 % de la surface totale cultivée en Suisse. Seules quelques variétés de colza sont actuellement enregistrées pour l'examen des variétés en Suisse (communication personnelle de Jürg Hiltbrunner, Agroscope).

3.4.8.1 Sélectionneurs pertinents pour la Suisse

Les variétés de colza enregistrées dans la base de données de l'CPVO après l'an 2000 montrent qu'en dehors des deux grandes sociétés américaines Pioneer (environ 14 % de toutes les variétés enregistrées) et Monsanto (environ 10 %), la majorité des quelque 700 variétés de colza ont été enregistrées par des obtenteurs de colza principalement allemands, par exemple Deutsche Saatveredelung AG (environ 12 %), et français, par exemple SARL Adrien Momont et Fils (environ 10 %) (Fig. 12). Les variétés répertoriées avec une part d'environ 1 % et moins sont également

¹²⁴ <http://www.bb-international.ch/our-plant-materials.html> (consulté le 12/11/2013).

¹²⁵ <http://veranstaltungen.fnr.de/arzneipflanzen2013/> (consulté le 11/4/2013).

originaires d'Autriche, de République tchèque, du Danemark, de Hollande, d'Espagne et de Grande-Bretagne.

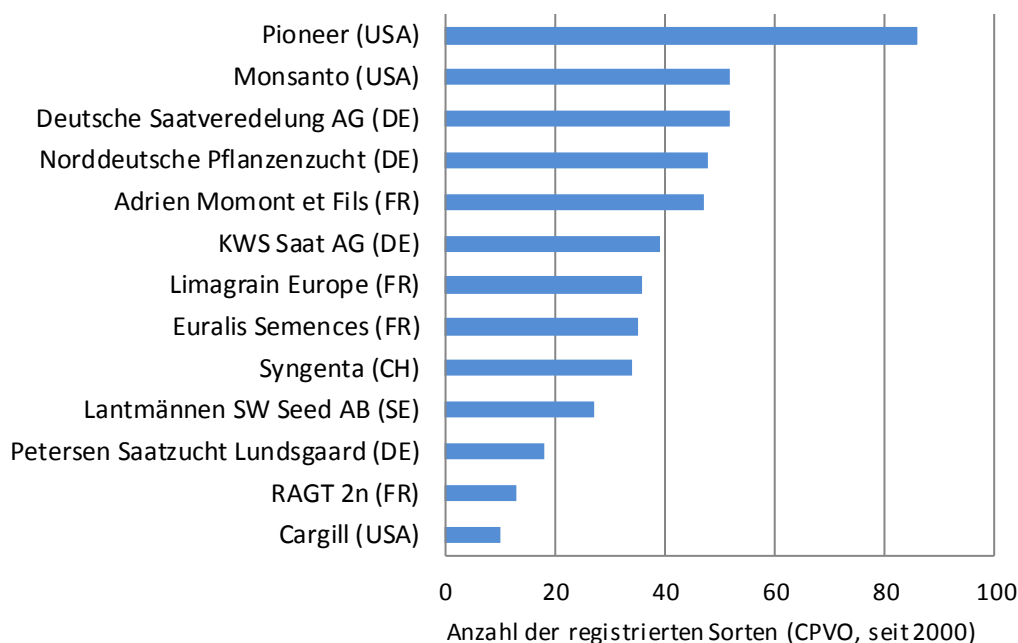


Figure 12 : Noms des institutions de sélection ou de maintenance et nombre de variétés de colza enregistrées sur la liste de l'CPVO (Office communautaire des variétés végétales). En outre, 19 autres institutions ont enregistré moins de dix variétés depuis 2000.

Un autre oléagineux important, le tournesol, est cultivé en Suisse exclusivement selon des méthodes de sélection biologique par le GZPK (analyse actuelle). Les variétés recommandées et donc également cultivées en Suisse ces trois dernières années sont toutes issues de la sélection des entreprises Syngenta, Limagrain, Euralis et Pioneer (Agroscope 2013).

3.4.9 Sélection de cultures énergétiques

Dans le cadre de la réduction des émissions de CO₂, de nombreux pays se concentrent sur l'utilisation de la bioénergie. L'UE, par exemple, a pour objectif de porter à 10 % la part des biocarburants dans les transports d'ici à 2020. Grâce aux différents programmes de soutien, la culture de plantes destinées à la production d'énergie et donc aussi leur sélection spécial deviennent intéressants. Des exemples importants dans le contexte européen sont les oléagineux pour la production de biodiesel (par exemple le colza) et diverses cultures pour la production de biogaz (principalement le maïs d'ensilage, maintenant aussi la betterave à sucre). Le bioéthanol produit à partir de maïs grain et de canne à sucre est principalement importé. En outre, il existe des cultures énergétiques de deuxième génération pour lesquelles le bioéthanol peut être obtenu directement à partir de la biomasse totale (et pas seulement de l'amidon) et qui présentent donc un meilleur bilan écologique.

3.4.9.1 Financement de la Commission européenne

Des fonds importants pour de tels projets ont été mis à disposition par le « Septième programme-cadre » de la Commission européenne (FP7). Les projets importants étaient :

- **Renewall** » (2008-2012 ; 5,7 millions d'euros) : un projet axé sur l'amélioration de l'efficacité énergétique ou de la biomasse, qui sont à la base de la production d'énergie. L'accent a été mis sur l'optimisation des parois cellulaires de *Brachypodium* et de la fétuque élevée pour la production de biocarburants de deuxième génération (bioéthanol)¹²⁶.
- **SWEETFUEL** » (2009-2013 ; 2,9 millions d'euros) est un projet qui étudie¹²⁷ le potentiel du sorgho sucré, une culture énergétique alternative pour la production de bioéthanol, notamment dans les régions tempérées, semi-arides et subtropicales.

3.4.9.2 Subventions en Allemagne

Afin d'exploiter davantage le potentiel de la bioénergie d'origine végétale, la mesure de financement du MFER « BioEnergy 2021 » (27 projets ; 50 millions d'euros) vise à développer et à étendre l'utilisation de la bioénergie dans les différentes chaînes de valeur. Les projets reposant sur des approches de sélection devraient également contribuer à la compréhension des principes fondamentaux et à l'optimisation de la bioénergie à partir de plantes. Parmi les autres mesures prises au niveau fédéral allemand, citons le PME-innovativ¹²⁸, ainsi que les initiatives nationales de financement « Biotechnologie végétale du futur » et « PLANT-KBBE »¹²⁹.

3.4.10 Sélection biologique

3.4.10.1 Stratégie de la sélection biologique

L'évolution positive de la jachère biologique au niveau mondial, européen et aussi national renforce l'agriculture biologique en mettant l'accent sur une production durable, respectueuse de l'environnement et sans OGM selon des directives définies (UE, (UE 2007) ; CH (Confédération), (Conseil fédéral 1997) ; CH (Bio Suisse), (BioSuisse 2013)). Dans ce contexte, la mise en œuvre de la sélection biologique et la certification des produits qui en résultent sont considérées comme une stratégie importante pour maintenir l'accès à des semences sans OGM et adaptées. Ces variétés biologiques, sélectionnées (publiées et commercialisées) selon des directives spécifiques, servent non seulement un marché de niche en pleine croissance (OFAG 2012), mais conduisent également à la différenciation des entreprises et des programmes de sélection via leur propre marché de semences indépendant (FiBL 2011, Messmer, Hildermann et al. 2011).

À l'avenir, il conviendrait de faire davantage de sélection pour des systèmes de culture plus complexes (par exemple, en exploitant le potentiel des cultures mixtes) et pour des systèmes de production entiers (par exemple, en tenant compte de la rotation des cultures) dans des conditions pratiques. La morphologie des racines et les interactions avec la rhizosphère devraient être davantage prises en

¹²⁶ <http://www.renewall.eu/> (consulté le 15 septembre 2013).

¹²⁷ <http://www.sweetfuel-project.eu/> (consulté le 15 septembre 2013).

¹²⁸ <http://www.bmbf.de/de/20635.php> (consulté le 15 septembre 2013).

¹²⁹ <http://www.research-in-germany.de/dachportal/en/Research-Areas-A-Z/Biotechnology/Programmes-and-Initiatives/GABI-FUTURE-and- PLANT-KBBE.html> (consulté le 15/09/2013).

compte. Les approches de sélection participatives (impliquant les producteurs) pourraient également contribuer à accroître les progrès (communication personnelle Monika Messmer, FiBL).

3.4.10.2 Objectifs de la sélection

L'un des objectifs de sélection les plus importants pour le développement de variétés biologiques réside dans la prise en compte des ressources naturelles, c'est-à-dire des ressources végétales, génétiques et pédologiques (fertilité du sol) ainsi que des conditions de culture. Des caractéristiques importantes telles que la résistance aux maladies transmises par les semences, l'efficacité des nutriments ou la capacité de suppression naturelle des mauvaises herbes doivent être prises en compte pour obtenir des rendements stables et de haute qualité (Lammerts van Bueren et Myers 2012, Messmer, Wilbois et al. 2012). Le maintien de l'intégrité des plantes, le maintien ou l'augmentation de la diversité génétique, la prise en compte des barrières naturelles entre les espèces et l'intégration de la plante dans l'habitat et le climat local sont d'autres composantes importantes de la sélection végétale biologique (Vogt-Kaute 2002, FiBL 2011, Messmer, Hildermann et al. 2011). D'autres approches de la sélection biologique comprennent la sélection pour la biodiversité, la sélection de légumineuses sans OGM dans le cadre de la stratégie des protéagineux (MFAAPC 2012) ou la sélection pour l'adaptation aux cultures mixtes (Lithourgidis, Dordas et al. 2011).

3.4.10.3 Approches de promotion de la sélection végétale biologique

Au niveau européen et national, la sélection biologique des plantes est encouragée indirectement par le financement de la recherche (programmes européens ou fédéraux) ou directement par la coopération. La Commission européenne finance des projets internationaux qui, entre autres, se concentrent sur les aspects de la sélection biologique et de l'agriculture durable par le biais du « Septième programme-cadre ». L'un des plus importants projets de l'UE axés sur la sélection biologique est le projet « Strategies for Organic and Low-input Integrated Breeding and Management » (SOLIBAM ; 7,7 millions d'euros, dont 5,9 millions d'euros fournis par l'UE)¹³⁰. En outre, les projets sont directement financés dans le cadre de CORE Organic II ERA NET PLUS' (European Research Area Network), une coopération européenne transnationale en matière de recherche regroupant 26 partenaires et 21 pays de l'UE. Il s'agit, par exemple, du projet « Coordination des activités de sélection végétale biologique pour la diversité » (COBRA)¹³¹. Des institutions de recherche suisses participent à ces deux projets (SOLIBAM, Agroscope ART ; COBRA, FiBL). Dans la plupart des cas, cependant, la sélection biologique est soutenue en Suisse et dans d'autres pays européens par des fondations, par exemple la Fondation Écologie & Agriculture (FEA) ou¹³² le fonds d'amorçage de la banque alternative GLS.

Outre les projets de recherche, la sélection végétale biologique fait également l'objet de congrès internationaux de grandes organisations (EUCARPIA (Goldringer, Dawson et al. 2010), ASA- CSSA-SSSA Organic Symposium 2003 (Lammerts van Bueren et Myers 2012), 7th Organic Seed Growers Conference (USA)), d'institutions de recherche et d'universités. Une autre organisation qui soutient la sélection végétale biologique et contribue à la réglementation du marché européen des semences est l'ECO-PB (Consortium européen pour la sélection végétale biologique)¹³³.

¹³⁰ <http://www.solibam.eu/modules/addresses/viewcat.php?cid=1> (consulté le 12/5/2013).

¹³¹ http://www.organicresearchcentre.com/?go=Research%20and%20development&page=Plant%20breeding&i=projects.php&p_id=42 (consulté le 12/5/2013).

¹³² http://www.soel.de/ueber_die_soel/foerderung/index.html#fg (consulté le 12/5/2013).

¹³³ <http://www.ecopb.org/> (consulté le 12/5/2013).

Les investissements gouvernementaux dans le domaine de la sélection végétale biologique se font également par la création de chaires correspondantes (NL ; Prof. Edith Lammerts van Buren, Université de Wageningen, DE ; Prof. Gunter Backes, Université de Kassel ou PD. Bernd Horneburger, Université de Göttingen).

3.4.10.4 À l'étranger

Aux États-Unis, les programmes de sélection biologique peuvent être financés par un large éventail d'intervenants (par exemple, l'USDA, les agriculteurs, les entreprises d'aliments biologiques, les fondations privées ou les entreprises de semences). Depuis 1996, l'USDA offre un programme de financement de la recherche sur l'agriculture biologique, l'« Organic Agriculture Research and Extension Initiative-OREI » (Alliance 2013, Luby, Lyon et al. 2013).

Outre les subventions de l'UE (par exemple, par le biais de l'ECO-PB), la République fédérale d'Allemagne finance la sélection végétale biologique par le biais du PAB¹³⁴ (budget : 16 millions d'euros par an). Cela permet également de soutenir les projets d'sélection biologique.

3.4.10.5 Suisse

En Suisse, la sélection des variétés biologiques n'est pas soutenue par l'État par rapport aux programmes de sélection conventionnels. Cependant, les surfaces cultivées, y compris dans d'autres pays européens, ne sont pas assez importantes pour financer de manière indépendante la sélection végétale et la production de semences biologiques. Les ressources financières proviennent principalement de fondations, par exemple le Fonds Coop pour le développement durable ¹³⁵ou la Fondation Software AG¹³⁶, et de dons privés. L'association Bioverita¹³⁷, soutenue notamment par Bio Suisse, Demeter CH, le FiBL, Coop, GZKP et Sativa Rheinau, s'engage avant tout pour la commercialisation de semences biologiques via un label de qualité pour la sélection biologique en Suisse. Les programmes de sélection biologique sont très petits par rapport aux programmes conventionnels. Les coûts totaux se situent entre <10'000 et 1 million de CHF par programme de sélection (analyse actuelle ; communication personnelle Markus Johann, Bioverita).

¹³⁴ <http://www.bundesprogramm.de/das-programm/> (consulté le 12/5/2013).

¹³⁵ <http://www.coop.ch/pb/site/nachhaltigkeit/node/64228509/Lde/index.html> (consulté le 12/5/2013).

¹³⁶ <http://www.software-ag-stiftung.com/de/projekte/naturhilfe/biologischer-landbau.html> (consulté le 12/5/2013).

¹³⁷ <http://www.bioverita.ch/> (consulté le 12/5/2013).

3.5 Méthodes de sélection

Afin de rendre le processus d'amélioration des plantes (Fig. 6) plus efficace et d'obtenir ainsi des progrès annuels plus importants en matière de sélection, divers outils biotechnologiques sont désormais à la disposition du sélectionneur. La figure 13 donne une vue d'ensemble des outils les plus importants et de l'endroit où ils peuvent être utilisés.

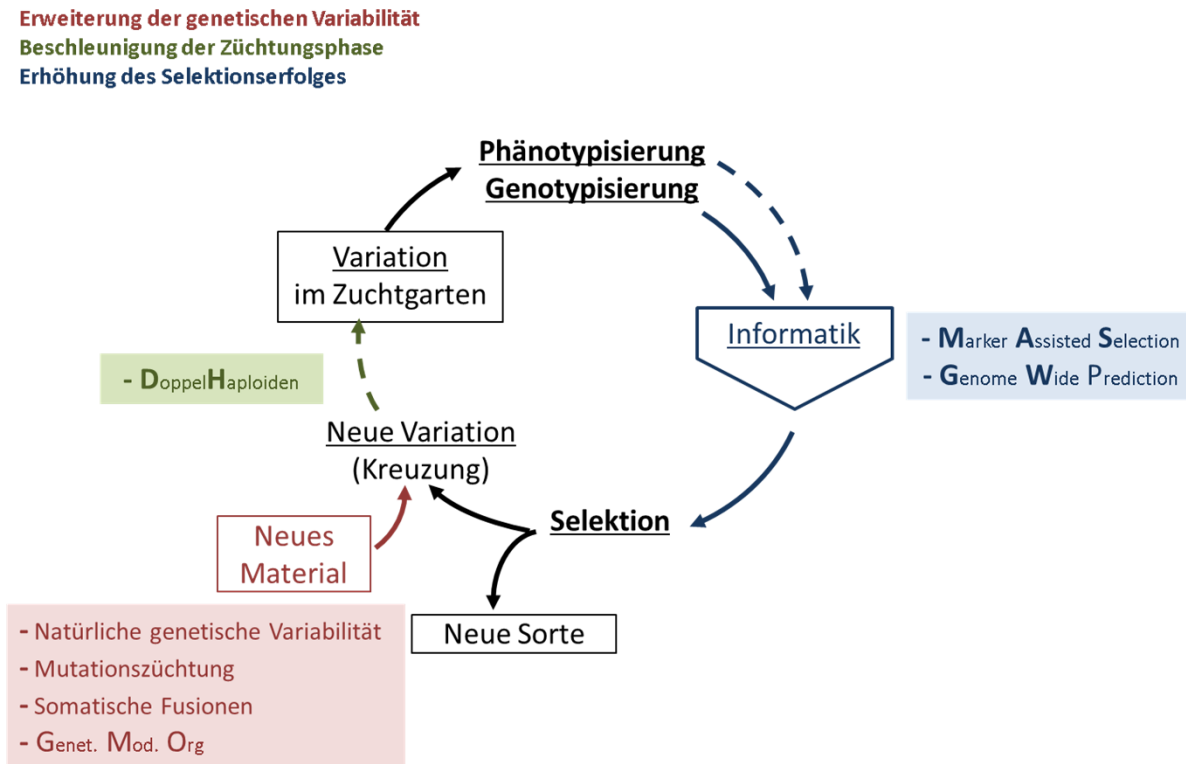


Figure 13 : Les outils de sélection et leur influence sur le processus de sélection (Représentation personnelle)

Catégories de sélection : Les espèces cultivées peuvent être très différentes dans leur forme génétique naturelle. On distingue principalement les autopollinisateurs (génétiquement purs grâce à la consanguinité naturelle, par exemple le blé) et les allogames (non purs, par exemple le seigle, le maïs). Le sélectionneur a maintenant le choix entre reproduire la culture sous sa forme naturelle (par exemple, variétés population pour le maïs, variétés ligne pour le blé) ou changer de catégorie de sélection. L'exemple le plus important est celui de la sélection hybride, illustré par l'exemple du maïs (qui est naturellement une variété de population) : à partir de deux bassins divergents, des lignées parentales pures sont produites par consanguinité artificielle, dont la descendance directe (les hybrides) présente de meilleures performances grâce au phénomène d'hétérosis. Les systèmes hybrides sont également possibles dans les cultures autogames comme le blé. Cependant, le problème se pose ici lors de la création des hybrides, car la fécondation croisée doit maintenant être forcée d'une lignée parentale par l'autre. Cependant, différentes approches sont testées dans de nombreuses cultures et on peut s'attendre à l'avenir à d'autres systèmes hybrides dans d'autres cultures.

Les haploïdes doubles : Dans l'hybridation et la sélection de lignées, la descendance croisée doit être rendue à nouveau pure par consanguinité artificielle. La technologie DH permet de produire une

descendance pure à 100 % en une seule étape en utilisant des méthodes naturelles (par exemple pour le maïs) ou de laboratoire (orge, blé), ce qui permet de gagner 6 à 7 ans pour la consanguinité.

Sélection assistée par marqueurs Marker Assisted Selection (MAS) : dans des études relativement élaborées (cartographie de QTL, cartographie d'association), l'association entre des marqueurs génétiques individuels et des caractères (qualitatifs) de la plante peut être établie. Ces marqueurs peuvent ensuite être utilisés pour sélectionner les partenaires de croisement ou pour sélectionner plus efficacement la descendance d'un croisement.

Genome Wide Prediction (GWP) : basée sur un principe similaire à celui de la MAS. Cependant, au lieu d'utiliser des marqueurs individuels, c'est l'ensemble de l'information génétique qui est utilisée ici pour prédire les caractéristiques (quantitatives) au moyen de procédures multivariées.

Croisements larges, bâtards de fusion : Diverses techniques peuvent être utilisées pour créer une variabilité génétique accrue. Les gènes sont ainsi recombinaisonnés entre des plantes qui ne se croqueraient plus naturellement (par exemple, bassin génétique élargi ou espèces différentes).

Induction de mutations : elle est également utilisée pour créer une nouvelle variabilité par le biais de modifications produites artificiellement (chimiquement, physiquement) dans le génome (par exemple, le pois semi-sans feuilles). **TILLING** (Targeting Induced Local Lesions In Genomes) peut ainsi être utilisé pour identifier des mutations ciblées pour des gènes ayant une valeur de reproduction.

Organismes génétiquement modifiés (OGM, GMO) : Les possibilités offertes par les technologies OGM sont très grandes et peuvent compléter la sélection végétale classique de nombreuses façons. Les possibilités comprennent, par exemple, l'introduction ciblée de gènes présentant des caractéristiques spécifiques pour la qualité et les propriétés agronomiques. Cependant, en raison de la discussion controversée, ces technologies ne jouent pas encore un rôle important dans la production végétale européenne.

L'utilisation de technologies individuelles peut être très coûteuse, c'est pourquoi leur mise en œuvre est difficile, surtout dans les petites entreprises, et leur utilisation dépend de la taille de l'entreprise. D'autre part, l'utilisation dépend également du type de culture, car la mise en œuvre est parfois plus difficile ou la recherche fondamentale moins poussée pour certains types de culture. Afin d'obtenir une vue d'ensemble, un panel d'experts a été interrogé sur l'utilisation de la technologie dans les différents types de cultures (tableau 2).

Tableau 2 : Résultats de l'enquête d'un panel d'experts sur l'utilisation des technologies modernes de sélection dans la sélection végétale

Type de culture	Catégories de sélection			Utilisation des techniques de sélection									
	La sélection de clones	Population/sélection en ligne	La reproduction hybride	Double haploïde	Floraison précoce/chaîne rapide	Sélection assistée par marqueur	Prédiction génomique	Changement du niveau de ploïdie	Reproduction de mutations/TILLING	Fusion somatique	Organismes génétiquement modifiés	Apomixis	
Blé	0.0	2.0	5.0	2.5	0.0	1.8	4.8	0.0	1.5	0.0	5.3	0.0	
Orge	0.0	2.0	3.0	2.0	0.0	2.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	6.0	
Seigle	0.0	2.0	2.3	0.3	0.3	1.7	5.0	0.0	0.3	0.0	0.0	6.0	
Maïs	0.0	1.0	2.0	2.7	5.0	2.3	3.3	0.0	2.0	0.0	4.0	6.0	
Soja	0.0	2.0	5.5	5.5	5.0	2.0	4.0	0.0	4.0	0.0	3.5	6.0	
Pois chiches	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	
Colza	0.0	2.0	2.5	2.5	0.0	2.0	3.5	0.0	3.0	3.0	3.0	6.0	
Tournesol	0.0	0.0	2.0	6.0	0.0	2.0	4.0	0.0	1.0	1.0	5.0	0.0	
Pomme de terre	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	6.0	3.0	3.0	2.0	2.5	0.0	
Betterave sucrière	0.0	0.5	2.0	5.0	5.0	2.0	4.5	3.0	6.0	0.0	5.0	6.0	
Apple	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	6.0	0.0	3.0	0.0	4.0	0.0	
Trèfle rouge	0.0	2.0	1.0	0.0	0.0	3.0	5.0	2.0	5.0	0.0	0.0	0.0	
Trèfle blanc	0.0	2.0	1.0	0.0	0.0	3.0	5.0	2.0	5.0	0.0	0.0	0.0	
Ray-grass	0.0	2.0	5.0	0.0	0.0	3.0	4.0	2.0	4.0	0.0	6.0	6.0	

une note de l'évaluation :

- 0 Ne joue pas de rôle
- 1 N'est plus/peu utilisé
- 2 Standard pour les petites et grandes entreprises
- 3 Standard dans les grandes entreprises, lentement mis en œuvre par les petites entreprises
- 4 Uniquement avec les grandes entreprises
- 5 A prévoir à court ou moyen terme dans les grandes entreprises
- 6 S'y attendre à long terme

3.6 Programmes achevés – Expérience

En France, le programme « GENOPLANTE » a existé de 1999 à 2005 et de 2005 à 2010. Les objectifs étaient la sécurité et la qualité des produits, la minimisation de l'impact environnemental principalement par la réduction des intrants et l'adaptation au changement climatique¹³⁸. Quatre méthodes bioinformatiques en sont ressorties, et d'autres résultats sont à venir¹³⁹.

Le programme « AGSB » comprenait la phase de financement « AGSB 1 » (environ 40 millions d'euros pour 5 ans), la phase de financement « AGSB 2 » (22,4 millions d'euros pour 3 ans) et la phase de financement « AGSB FUTURE » (60 millions d'euros pour 3 ans). Les investissements ainsi que les partenaires de l'industrie et des institutions publiques n'ont cessé d'augmenter (BioÖkonomieRat 2012). Les alliances ont été décrites comme des réussites :

- Un sujet scientifique clairement défini a été traité, qui a nécessité l'expertise de tous les partenaires impliqués.
- avaient une taille de consortium de trois à cinq partenaires (et organisaient les consortiums plus importants en sous-structures).
- A démontré une coordination efficace des projets et une communication confiante et intensive.

Les projets « AGSB » en Allemagne ont donné lieu à des centaines de publications¹⁴⁰ et à quelques demandes de brevet (moins que prévu) (BioÖkonomieRat 2012). En outre, le programme s'est avéré être un outil de mise en réseau qui représente une fonction primordiale pour le contrôle et la coordination des projets de recherche transversaux et qui doit être encore étendu (BioÖkonomieRat 2012, Alliance 2013). Le transfert direct de technologies (par exemple, le développement de marqueurs moléculaires) a été facilité et des synergies ont été créées. Deux bases de données ('AGSB PD', 'AGSB KAT') d'importance internationale et deux outils bioinformatiques librement accessibles (MAPMAN et ARAMEMNON) ont été développés. En outre, les groupes de recherche juniors ont été spécifiquement soutenus et le site web (pflanzenforschung.de) a été créé dans le cadre du travail de relations publiques (BioÖkonomieRat 2012).

3.6.1 Étude de cas sur la sélection du blé en Angleterre

En 1964, le Plant Breeding Institute (PBI) a été fondé en Angleterre. Ses variétés naines ont participé à la révolution verte et ont atteint 80 % de part de marché en Angleterre. La concurrence privée était constituée de quelques petits sélectionneurs. En 1987, le programme de sélection gouvernemental de l'IBP a été vendu à Unilever¹⁴¹. Les responsabilités gouvernementales en matière de sélection ont été réparties entre deux universités et deux instituts de recherche. Ils sont financés par les départements « Biotechnology and Biological Sciences Research Council » (BBSRC) et « Department for Environment, Food, and Rural Affairs » (DEFRA). Depuis 2003, le DEFRA encourage les échanges entre les scientifiques et les sélectionneurs privés. Le BBSRC lance un financement public-privé (CIRC, 7 millions de livres) et des programmes (LOLA/WISP) qui apportent des innovations dans le domaine de la sélection végétale (14 millions de livres par an, « Wheat Initiative 2012 »)¹⁴². Cependant, il manque une stratégie constante à plus long terme. Une enquête menée auprès de seize personnes impliquées dans la recherche ou la sélection du blé dans les secteurs privé et public a révélé que la nécessaire restructuration non planifiée qui a suivi la privatisation a fait perdre 10 à 15 ans à la

¹³⁸ <http://www.genoplante.com/content.php?idcontent=objectifs&lg=en> (consulté le 15 septembre 2013).

¹³⁹ <http://www.genoplante.com/content.php?idcontent=outils&lg=en> (consulté le 15 septembre 2013).

¹⁴⁰ <http://www.gabipd.org/information/about.shtml> (consulté le 10/12/2013).

¹⁴¹ <http://www.jic.ac.uk/corporate/about/history.htm> (consulté le 10/11/2013).

¹⁴² <http://www.wheatisp.org/Consortium/WISP.php> (consulté le 9/11/2013).

sélection anglaise du blé (Galushko et Gray 2012). Par exemple, le programme de pré-sélection WISP du BBSRC est le premier du genre depuis 20 ans ¹⁴³.

Galushko et Gray (2012) ont identifié sept conclusions à tirer du cas de l'Angleterre :

1. Financement sécurisé de la recherche : l'Angleterre a la possibilité d'établir des contrats directs entre les sélectionneurs et les cultivateurs ou leurs associations.
2. Soutenir les petites entreprises de sélection par la recherche publique.
3. Mettre en œuvre des mécanismes permettant d'intégrer la recherche publique dans la sélection.
4. Les programmes quinquennaux rendent difficile une stratégie de sélection à long terme.
5. Les plateformes de connaissances sont indispensables à la recherche décentralisée.
6. Une conception efficace des essais et des recommandations de variétés est nécessaire.
7. Assurer la formation des sélectionneurs de plantes et de la science des cultures.

En 2009, la Royal Society a proposé, entre autres, les mesures suivantes (The Royal Society 2009) :

- 2 milliards. Livres sur 10 ans pour la sécurité alimentaire mondiale. En général, les appels de recherche doivent être effectués régulièrement et à petits intervalles.
- Réviser la protection des brevets afin de ne pas compromettre la recherche publique, l'innovation agricole ou les efforts de réduction de la pauvreté.
- Des partenariats public-privé pour mettre la recherche fondamentale en pratique.
- Soutenir la sélection végétale publique en caractérisant les ressources génétiques et en formant la prochaine génération de sélectionneurs. Les cultures ont la priorité suivante, par ordre décroissant : blé, orge, colza, pomme de terre, *légumes de type brassica* et autres cultures horticoles.
- La recherche devrait, d'une part, considérer l'ensemble de l'écosystème et, d'autre part, mener des expériences à long terme pour améliorer le photosystème ou la fixation de l'azote. Les universités devraient cesser de diminuer le financement des disciplines dans le domaine de l'intensification durable.

3.7 Conclusions

Le financement public de la sélection végétale stagne, tandis que les investissements dans la sélection privée augmentent. Le risque est que seuls soient cultivés les types de cultures qui apportent le retour sur investissement nécessaire sur le marché, réduisant ainsi l'éventail des types de cultures cultivées. L'État peut intervenir directement ici en finançant des programmes de sélection pour les cultures qui ne peuvent pas être sélectionnées de manière rentable. Les investissements publics dans la sélection de cultures de niche peuvent donner de bons résultats (Maredia, Bernstein et al. 2010). Toutefois, il est essentiel de mener ces programmes à plus long terme pour assurer la continuité.

Indirectement, la sélection peut être soutenue par des financements et des programmes de recherche. Les grandes initiatives de recherche sur la sélection des plantes, comme en Allemagne (PLANT 2030 et Wheat Initiative, plus de 6,7 millions d'euros par an pour le blé) ou en France (BREEDWHEAT : 34 millions d'euros sur 9 ans, projets FSOV/ECOPYHTO sur le blé : 9 millions pour la sélection de la résistance et environ 2 millions d'euros pour l'écocoefficacité sur 3 ans), en sont de bons exemples. Souvent, ces grands programmes visent à développer des technologies innovantes et coûteuses pour

¹⁴³ <http://www.wheatisp.org/Consortium/WISP.php> (consulté le 9/11/2013).

la sélection des plantes. Les principaux bénéficiaires de ces programmes sont les moyennes et petites entreprises de sélection, qui ont ainsi accès à ces technologies. L'utilisation des technologies de pointe et des méthodes moléculaires dans l'amélioration des plantes a augmenté très rapidement, et l'on s'attend à ce que le développement technologique joue un rôle clé dans le développement futur de l'amélioration des plantes.

Les objectifs de sélection, dans la mesure où ils sont mentionnés dans les programmes de financement et de recherche, sont aujourd'hui souvent orientés vers l'efficacité dans le but d'une intensification durable de la production agricole (The Royal Society 2009, Nature 2010, Noleppa et von Witzke 2013).

En général, les avantages pour la société de l'utilisation des ressources économiques dans la sélection végétale sont importants et sont calculés à un taux de rendement de 20 à 40 %. Si l'on tient compte non seulement des effets sur le marché, mais aussi de l'impact positif sur le climat grâce à l'augmentation de la production végétale, on atteint même 40 à 80 % (Banque 2008, Noleppa et von Witzke 2013). Noleppa et von Witzke soulignent que la sélection végétale est sous-financée et que la réduction de la recherche agricole publique doit être inversée (Noleppa et von Witzke 2013).

4 Écoefficacité

Les années qui ont suivi la « révolution verte » ont montré qu'une utilisation durable des ressources existantes est importante pour maintenir une agriculture efficace à l'avenir. L'utilisation efficace des ressources (eau, nutriments, terres) est donc essentielle pour augmenter l'offre alimentaire d'au moins 60 % en 40 ans et approvisionner ainsi 9 milliards de personnes (FAO 2009, Tilman, Balzer et al. 2011). L'écoefficacité découle de l'objectif général consistant à obtenir une valeur économique (par exemple, le rendement des cultures) avec le moins d'impact possible sur l'environnement (par exemple, perte de biodiversité, augmentation de l'eutrophisation ou des apports de polluants) (Huppes et Ishikawa 2008). Les systèmes qui se caractérisent par une écoefficacité élevée sont basés sur l'utilisation d'un apport optimal de matériaux et d'énergie plutôt que sur des apports minimaux ou maximaux au système (Kulak, Nemecek et al. 2013). L'augmentation de l'écoefficacité dans un système existant peut être obtenue d'une part en réduisant les intrants (par exemple, les nutriments, l'eau ou l'énergie (carburant)), et d'autre part en augmentant les rendements (par exemple, des cultures (variétés) améliorées ou des stratégies de gestion adaptées) (Kulak, Nemecek et al. 2013). Outre la rentabilité, la compétitivité, la durabilité et la résilience, les besoins économiques, sociaux et environnementaux doivent être pris en compte (Mateo et Ortiz2013).

L'écoefficacité d'un système agricole peut être améliorée grâce à diverses options. La stratégie la plus importante et aussi la plus fondamentale est la sélection et l'utilisation de cultures et de variétés adaptées au site. L'application de certaines techniques de production (par exemple, le travail minimum du sol ou diverses méthodes d'« agriculture de précision ») peut conduire à la préservation de la fonctionnalité du sol et donc à son utilisation durable (Kopainsky, Flury et al. 2013). En outre, la conception du système de production (par exemple, remplacement des engrais minéraux par des engrais de ferme (Kopainsky, Flury et al. 2013), adaptation de la rotation des cultures, recyclage des nutriments apportés par la biomasse, utilisation de cultures mixtes) joue un rôle important dans la réduction des impacts négatifs de l'agriculture sur l'environnement tout en augmentant l'écoefficacité (Kulak, Nemecek et al. 2013). Cependant, l'efficacité de la production ne peut être assurée que s'il y a interaction ou prise en compte de tous les niveaux. Ainsi, la sélection d'une variété doit être adaptée à la fois au système de production et au système de gestion. Même la meilleure variété ne peut fournir les meilleurs rendements dans tous les systèmes.

4.1 Mesurer l'écoefficacité

L'analyse du cycle de vie (ACV) est un outil important pour déterminer l'écoefficacité d'un système. Il s'agit de l'analyse systématique de l'impact environnemental tout au long de la chaîne de valeur d'un produit. Outre la production, l'impact environnemental de l'utilisation et de l'élimination est également pris en compte. Les effets positifs et négatifs des systèmes agricoles sur l'environnement peuvent ainsi être détectés et, si nécessaire, traités par des mesures appropriées. Cette méthode est également utilisée pour prendre ou légitimer des décisions qui tiennent compte de l'environnement. D'une part, les pratiques et la production agricoles peuvent être systématiquement optimisées de cette manière. D'autre part, il est possible de créer une base d'information uniforme pour les autorités et aussi pour le public. Parmi les projets internationaux importants sur l'évaluation du cycle de vie des systèmes de production agricole, citons « SOLIBAM »¹⁴⁴ et « CONTOGETHER »¹⁴⁵. Un projet suisse est « Ecobil.ch »¹⁴⁶.

¹⁴⁴ <http://www.solibam.eu/modules/adresses/viewcat.php?cid=1> (consulté le 20/11/2013).

¹⁴⁵ <http://www.fp7cantogether.eu/index.php> (consulté le 20/11/2013).

¹⁴⁶ <http://www.ecobil.ch/gesellschaftlicherkontext.asp> (consulté le 20/11/2013).

4.2 Efficacité grâce aux pratiques de gestion

La gestion est un facteur important pour accroître l'efficacité. Selon la situation, diverses mesures relevant de l'« agriculture de précision » ou des approches alternatives de la fertilisation sont utiles.

4.2.1 Agriculture de précision

L'« agriculture de précision » joue un rôle important dans l'optimisation de l'application d'engrais ou de produits phytosanitaires grâce à la technologie des capteurs. Dans le cas de la fertilisation azotée, l'efficacité de l'utilisation de l'azote peut être augmentée jusqu'à 368 % par rapport à la procédure standard sans perte de rendement lorsque la fertilisation est adaptée aux sections de champ (classification des sections en fonction des propriétés du sol, du potentiel de rendement, des informations sur l'état de la végétation) (Diacono, Rubino et al. 2013). Les systèmes qui régulent les taux d'engrais en temps réel pendant l'application à l'aide de capteurs « à distance » sont une alternative à la cartographie des champs. Des études ont montré que ces systèmes étaient également capables de réduire la quantité d'engrais N pour un même rendement (Diacono, Rubino et al. 2013).

4.2.2 Cultures mixtes

Les cultures mixtes peuvent avoir un effet positif sur le rendement et l'impact environnemental (Kulak et al., 2013). La culture de plantes mixtes ou l'utilisation de systèmes de culture plus complexes posent de nouveaux défis à la production végétale. Si la sélection suisse de plantes fourragères, entre autres, a déjà connu des succès, le potentiel de cette forme de culture n'a guère été exploité dans d'autres systèmes de production. Une culture équilibrée avec des partenaires optimaux (date de maturité, besoins en nutriments et en eau) permet une utilisation équilibrée de la surface cultivée (absorption des nutriments, ombrage, enracinement, etc.) et peut augmenter le rendement total. En outre, la culture de différentes plantes peut prévenir l'infestation massive de parasites et réduire l'utilisation de pesticides (Leung, Zhu et al. 2003). Certains types de culture, tels que la polyculture, la culture en bandes, l'agriculture en courbes de niveau ou l'agroforesterie, offrent ainsi des possibilités intéressantes avec un fort potentiel tant en agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique (communication personnelle Monika Messmer, FiBL).

4.2.3 Engrais vert

Les légumineuses comme engrais verts augmentent l'efficacité énergétique en remplaçant les engrais azotés minéraux (Williams, Audsley et al. 2006). Cependant, les pertes d'azote sont un problème avec les engrais verts car la disponibilité de l'azote est difficile à synchroniser avec la demande des plantes (Stenberg, Ulen et al. 2012, Quemada, Baranski et al. 2013). Les légumineuses à grains ne peuvent être utilisées comme engrais verts que si les grains restent dans le champ (Oberson, Nanzer et al. 2007).

4.2.4 Production biologique et conventionnelle

Des études menées en Angleterre ont montré que la production de blé biologique nécessite environ 27 % d'énergie en moins par rapport à la culture conventionnelle. Cela résulte, entre autres, de l'utilisation de la fixation symbiotique de l'azote à la place des engrais minéraux (Williams, Audsley et al. 2006). Cependant, cet avantage est compensé par une utilisation accrue des terres pour la même quantité de production (+65 % pour le lait, +160 % pour les pommes de terre, et +200 % pour le blé panifiable) (Williams, Audsley et al. 2006). Le lessivage de l'azote et les émissions d'azote de la production biologique en Europe sont généralement plus faibles par surface, mais plus importantes par unité de production (Tuomisto, Hodge et al. 2012). Une méta-analyse de 66 études a révélé que la production biologique de légumineuses et de cultures pérennes avait un rendement inférieur de 34 % en moyenne (environ 5 % dans des conditions optimales) (Seufert, Ramankutty et al. 2012).

Le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) de la production biologique est de 2 à 7 % inférieur à celui de la production conventionnelle, comme l'a montré une étude menée en Angleterre (Williams, Audsley et al. 2006). La comparaison de ces deux approches de production montre également que la proportion de carbone dans la couche arable avec les engrais de ferme n'est pas significativement différente et a ¹⁴⁷globalement légèrement diminué entre 1977 et 2004 dans l'essai DOC- (Dynamic, Organic, Conventional) (Leifeld, Reiser et al. 2009). La production à rendement maximal combinée à la conservation des terres non cultivées peut également maintenir la biodiversité (en fonction de la corrélation entre le rendement et la densité de population) (Green, Cornell et al. 2005).

4.3 Recyclage de la biomasse

Le recyclage de la biomasse, qu'il s'agisse d'engrais de ferme ou de nourriture inutilisée, peut contribuer de manière importante à l'amélioration de l'écocoefficacité.

4.3.1 *Fumier de ferme*

Les éléments nutritifs provenant des matières organiques de l'exploitation peuvent être utilisés pour réduire le besoin d'engrais externes. Les matières organiques peuvent être incorporées directement dans le sol, mais elles peuvent aussi être transformées par divers processus de compostage et ensuite utilisées. L'utilisation de la digestion anaérobie, par exemple en recyclant les matières de basse-cour dans l'installation de biogaz, peut également améliorer l'écocoefficacité d'une exploitation ou d'une production (Kulak, Nemecek et al. 2013). Dans ce cas, cependant, une plus grande efficacité résulte davantage du remplacement des combustibles fossiles par des ressources énergétiques renouvelables que d'une augmentation de la productivité avec le même impact environnemental (Kulak, Nemecek et al. 2013). La fermeture des cycles de biomasse à la ferme permet de réduire les distances de transport et d'éliminer les frais de déplacement (Kulak, Nemecek et al. 2013).

4.3.2 *Gaspillage alimentaire*

L'entreprise Organic Matters Inc., située en Floride, transforme des aliments pour animaux de haute qualité pour les poulets et le bétail à partir de déchets alimentaires¹⁴⁸. Les déchets alimentaires sont centrifugés à 800°C et déshydratés. Le résultat est une poudre stérile et sèche, riche en protéines et en glucides¹⁴⁹. Une étude de l'Université de Géorgie a également montré que les sous-produits alimentaires, après stabilisation anaérobie et aérobie, donnent un aliment contenant 14 % de protéines et 82 % de nutriments digestibles, qui convient bien à la production bovine¹⁵⁰. L'utilisation des déchets d'abattoirs avec un traitement approprié est également envisageable (Lin 2009), mais le problème des maladies transmissibles (EFSA 2010) doit être résolu.

4.3.3 *Application de compost contre les maladies fongiques transmises par le sol*

Des études menées à l'Université de Kassel, département des sciences agricoles écologiques, ont montré que l'ajout de compost de déchets verts au substrat a un effet réducteur d'infestation sur diverses maladies fongiques des pommes de terre et aussi des pois (Bruns, Heß et al. 2009, Bohne,

¹⁴⁷ <http://www.fibl.org/de/medien/medienarchiv/medienarchiv06/medienmitteilung06/article/europas-aelttester-langzeitversuch-im-bio-arable-farming-will-continue.html> (consulté le 11/12/2013).

¹⁴⁸ <http://www.organicmatters.com/> (consulté le 22/11/2013).

¹⁴⁹ <http://www.allaboutfeed.net/Process-Management/Management/2012/6/Going-green-Recycling-food-waste-into-livestock-feed-AAF013293W/> (consulté le 22/11/2013).

¹⁵⁰ http://www.caes.uga.edu/Applications/ImpactStatements/index.cfm?referenceInterface=IMPACT_STATEMENT&subInterface=detail_main&PK_ID=4359 (consulté le 22/11/2013).

Hensel et al. 2013, Brunc, Werren et al. 2013). Pour réaliser l'application de quantités appropriées de compost, le développement de solutions techniques est nécessaire, par exemple un semoir avec trémie à compost et des unités d'application appropriées¹⁵¹. L'application de compost granulé, qui peut être appliqué en même temps que les semences, est également un centre d'intérêt.

4.4 Efficacité des nutriments et sélection

La sélection pour le rendement et l'efficacité des nutriments est centrale en ce qui concerne la culture préservant les ressources (Kopainsky, Flury et al. 2013).

4.4.1 Azote

La quantité optimale d'apport en nutriments peut être un outil important pour accroître l'efficacité d'une unité de production (par exemple une exploitation agricole) (Kulak, Nemecek et al. 2013). En Suisse, l'objectif de réduire l'excédent d'azote (N) dans l'agriculture de 110'000 t en 1990/92 à 67'000 t en 2005 n'a pas pu être atteint (Spiess 2005). Au contraire, l'excédent stagne depuis les années 1990 à un niveau d'environ 100'000 tonnes. Les pertes de rendement liées aux conditions météorologiques, en particulier, entraînent des pertes d'azote élevées à apport constant¹⁵².

Une méta-analyse de 217 études de terrain d'Amérique du Nord et d'Europe utilisant la méthode de récupération de ¹⁵N a identifié les facteurs de gestion les plus importants pour augmenter l'efficacité de l'azote. Les facteurs importants pour une absorption optimale de l'azote par la plante sont le moment de l'application, l'application près de la racine et l'utilisation d'engrais minéraux (Gardner et Drinkwater 2009). La fertilisation organique et la rotation des cultures réduisent les pertes d'azote à court terme (Gardner et Drinkwater 2009), mais le lessivage ou le transport de l'azote vers les couches plus profondes du sol peut être plus important à long terme avec les engrais organiques qu'avec les engrais minéraux (Bosshard, Sorensen et al. 2009). En outre, l'effet des engrais organiques sur l'année suivante est faible (Sorensen et Thomsen 2005). Une culture dérobée non légumineuse au lieu d'une jachère peut réduire les pertes d'azote jusqu'à 50 % tout en réduisant l'érosion (Quemada, Baranski et al. 2013). L'efficacité de l'azote peut également être améliorée par la sélection. Les variétés de blé suisses enregistrées depuis 1926 ont tendance à montrer une meilleure efficacité d'utilisation de l'azote dans les variétés plus récentes. Cependant, une différence significative dans l'efficacité d'utilisation de l'azote (NUE) existe seulement entre la variété 1926 MC 245 (environ 55 g-1) et Caphorn (environ 90 g-1) de 2001 (Hategekimana, Schneider et al. 2012). Actuellement, plusieurs projets de recherche se concentrent sur la NUE du blé (tableau 1). Le projet « Efficient Wheat » a pour but d'évaluer la variabilité génétique de la NUE chez le blé en cas de stress dû à la sécheresse. Des méthodes de dépistage phénotypique ainsi que des marqueurs moléculaires pour les régions génétiques identifiées seront développés (WheatInitiative 2012). En irrigation, en ce qui concerne les pertes d'azote, la gestion de l'eau (adaptation de la quantité d'eau, technologie) est critique avant la gestion des engrais (Quemada, Baranski et al. 2013). Les inhibiteurs de nitrification ne sont principalement pas un moyen d'augmenter l'efficacité de l'azote (Gardner et Drinkwater 2009, Kim, Saggat et al. 2012, Quemada, Baranski et al. 2013).

¹⁵¹ http://www.innovations-report.de/html/berichte/agrar_forstwissenschaften/komposteinsatz_gegen_bodenbuertige_pilzkrankheiten_178169.html (consulté le 24/10/2013).

¹⁵² <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/06/ind13.indicator.130509.137.html> (consulté le 24/10/2013).

4.4.2 Phosphore

Le phosphore (P) est un élément vital pour l'homme et la nature. Aujourd'hui, on parle d'une pénurie de phosphore, car les ressources de haute qualité qui peuvent être dégradées avec les technologies actuelles sont déjà limitées. La Suisse a réussi à réduire son excédent P : L'objectif de réduire l'excédent de 50 % par rapport à 1990/92 pour le ramener sous la barre des 10'000 t a déjà été atteint en 1996 grâce à l'introduction du certificat de performance écologique. En raison de la réduction de l'apport d'engrais minéraux, la tendance continue de diminuer et s'élevait à 3'300 t d'excédent de P en 2010¹⁵³. Les réserves de phosphore du sol continueront à diminuer lentement mais sûrement (Oehl, Oberson et al. 2002). Les problèmes subsistent dans les régions à forte densité de bétail, où le cycle du phosphore est faible ou inexistant¹⁵⁴. Les sources alternatives d'engrais minéraux P pourraient inclure la récupération des boues d'épuration (voir chapitre 5) et une utilisation plus efficace des déchets municipaux et de l'industrie alimentaire. La sélection de variétés efficaces en P, par exemple le soja ou l'orge, favorise une meilleure utilisation des ressources disponibles dans le sol (Singh Gahoonia et Nielsen 2004, Wang, Yan et al. 2010, MFAAPC 2011). Des différences dans l'efficacité en P de différentes variétés ont pu être déterminées pour le maïs, les carottes ou le blé, entre autres (Sattelmacher, Becker et al. 1990, Hagel 1997, Li, Pang et al. 2003).

4.4.3 Des symbioses pour une meilleure efficacité des nutriments

L'absorption des nutriments et la pression des maladies sont toutes deux influencées de manière significative par les microorganismes du sol. Les interactions plante-rhizosphère par le biais des champignons mycorhiziens et leur optimisation sont un sujet important pour la recherche en sélection (Carvalho, Ferreira et al. 2012). Plusieurs études en champ et en serre sur le riz et le manioc ont montré un effet positif de différents champignons mycorhiziens à arbuscules sur la croissance des plantes (Angelard, Colard et al. 2010, Ceballos, Ruiz et al. 2013). En particulier, l'absorption du phosphore par les plantes peut être améliorée en tenant compte des interactions symbiotiques (Sudova, Rydlova et al. 2010). Pour les inoculations artificielles au champ avec des champignons sélectionnés, ils doivent être bon marché à produire et compétitifs (Ceballos, Ruiz et al. 2013).

En plus de la gestion (par exemple, la fertilisation N, réduite, les monocultures favorisent l'apparition et l'efficacité des champignons (Antoninka, Reich et al. 2011)), le choix de la culture ainsi que la variété ont également une influence sur l'efficacité des champignons mycorhiziens. Un aspect intéressant pour la sélection est que les interactions avec les champignons mycorhiziens peuvent dépendre du génotype, par exemple dans le trèfle blanc, ainsi que de la ploïdie d'une population (Eason, Webb et al. 2001, Sudova, Rydlova et al. 2010). Aucune symbiose de ce type n'est connue pour les cultures de la famille des *Brassicaceae* (communication personnelle, Cameron Wagg, Université de Zurich).

4.4.4 Sélection et utilisation de variétés efficaces

Une méthode importante et en même temps la plus fondamentale pour accroître l'efficacité de la production végétale est la sélection et l'utilisation de variétés adaptées. Par exemple, dans le cas du blé, il a été démontré que les variétés ayant un rendement accru de 20 % réduisent simultanément la demande d'énergie de 9 %, l'acidification des sols de 10 % et le potentiel d'eutrophisation de 16 % pour le même volume de production (Williams, Audsley et al. 2006, Tuomisto, Hodge et al. 2012, Kulak, Nemecek et al. 2013). Le choix des cultivars dans un endroit donné détermine la productivité et le rendement (Hartell, Smale et al. 1997, Di Falco et Perrings 2003). Une utilisation plus efficace des réserves d'eau et de nutriments peut rendre certains génotypes moins sensibles aux stress liés au site

¹⁵³ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/06/ind13.indicator.130508.137.html> (consulté le 24/10/2013).

¹⁵⁴ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/06/ind13.indicator.130508.137.html> (consulté le 24/10/2013).

ou au climat (Akhtar, Oki et al. 2008). Cependant, la question de savoir si la sélection se fait spécifiquement dans des conditions de stress et avec peu d'intrants est controversée (Kulak, Nemecek et al. 2013). En général, la sélection pour le rendement réduit la consommation d'énergie et le PRP (Williams, Audsley et al. 2006, Tuomisto, Hodge et al. 2012).

4.4.5 Sélection de la résistance

Le pyramidage des gènes de résistance, c'est-à-dire la sélection de différents gènes de résistance contre une maladie dans une variété, est une méthode efficace pour protéger les cultures contre les maladies à long terme (Landjeva, Korzun et al. 2007). La sélection de plantes présentant des caractéristiques de résistance aux maladies peut réduire la nécessité d'utiliser des pesticides en cas d'infestation, ce qui réduit la charge sur les ressources telles que le sol et l'eau. En outre, la résistance génétique peut servir de base à des rendements plus stables. Il est incontestable que les agents pathogènes évoluent également en permanence et que la sélection de la résistance continuera donc à revêtir une grande importance à l'avenir.

Des enquêtes et des évaluations du « risque de résistance aux fongicides » sont effectuées de manière standard dans le cadre du développement des fongicides depuis plus de 20 ans¹⁵⁵. Une évaluation du risque de développement de la résistance est requise dans l'UE pour l'approbation des fongicides. Le Comité d'action contre la résistance aux fongicides (FRAC) tient à jour une liste d'agents pathogènes potentiellement résistants (selon la région et la population). En général, les cycles de maladie nombreux et courts par saison, le potentiel de propagation élevé des spores et la nécessaire recombinaison sexuelle augmentent le risque de développement de la résistance^{156, 157}.

4.4.6 Recherche sur les racines

La sélection de systèmes racinaires plus efficaces et plus profonds est la clé de nombreux objectifs de sélection, comme l'amélioration de l'absorption des nutriments en cas de fertilisation extensive et l'évitement du stress hydrique en cas de sécheresse. Néanmoins, il n'y a pas beaucoup d'exemples de sélection directe réussie pour des systèmes racinaires efficaces. Jusqu'à présent, il n'a été démontré qu'environ sept traits racinaires ayant une forte relation avec le rendement sur le terrain. Parmi ces traits, seuls trois ont été adoptés dans des programmes de sélection commerciale (Palta et Watt 2009). Il s'agit de la protection contre la toxicité de l'aluminium dans les sols acides par la sécrétion d'acides complexants à l'extrémité des racines (Fisher et Scott 1987), de la résistance à la pénétration des nématodes dans la cellule racinaire (Ogbonnaya, Subrahmanyam et al. 2001), et d'un système racinaire moins profond pour une meilleure absorption du phosphore, qui est principalement enrichi dans la couche arable (Liao, Yan et al. 2004). L'une des raisons de la faible utilisation des caractères racinaires en sélection est que même les procédures de sélection simples ne sont pas encore assez simples et efficaces pour être utilisées en sélection. Pour combler cette lacune, la recherche publique et privée investit de plus en plus dans des installations techniques où les racines peuvent être cultivées et mesurées dans différentes conditions de croissance. Les institutions qui exploitent de telles installations en Europe, spécialisées dans les systèmes racinaires des espèces céréalières, par exemple, sont regroupées dans le ¹⁵⁷ »Consortium EURoot » au titre du septième programme-cadre de l'UE. Pour les sélectionneurs, d'autres techniques de sélection indirecte pourraient être très intéressantes. Par exemple, les systèmes racinaires plus profonds avec une meilleure absorption d'eau et une meilleure performance de refroidissement peuvent être identifiés sur le terrain en utilisant la thermographie (Lopes et Reynolds 2010). Les efforts se poursuivent dans le

¹⁵⁵ <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/frag#Aims> (consulté le 31 octobre 2013).

¹⁵⁶ <http://www.frac.info/> (consulté le 31 octobre 2013).

¹⁵⁷ www.EURoot.eu (consulté le 4 décembre 2013).

domaine de la cartographie du génome dans le but de permettre une sélection assistée par marqueurs pour les caractères racinaires (Courtois, Ahmadi et al. 2009, Hund, Reimer et al. 2011). L'écocoefficacité du point de vue de deux parties prenantes

Les technologies de **Syngenta** vont aujourd'hui au-delà de la protection traditionnelle des cultures en offrant des options permettant d'obtenir une performance maximale des cultures dans un environnement de plus en plus variable. Des approches proactives en chimie et en génétique sont poursuivies afin d'élargir la gamme de solutions pour la gestion du stress abiotique. Cinq facteurs clés ont été identifiés : La gestion de l'eau en cas d'excédent ou de pénurie doit être améliorée grâce aux effets positifs des produits chimiques, du phénotypage de précision (notamment pour le maïs) et des approches de génie génétique. Dans le cas d'un stress causé par la température ou la lumière du soleil, les produits chimiques en particulier peuvent avoir des effets positifs, ces derniers visant principalement à retarder la sénescence. L'amélioration de la gestion des nutriments doit également être réalisée à l'aide de produits chimiques. Au Brésil, par exemple, on utilise certains produits qui transportent des nutriments supplémentaires dans la fleur et augmentent ainsi le rendement. La production agricole dans des conditions locales extrêmes telles que le vent, la grêle, la salinisation du sol et les facteurs de stress mécanique devrait devenir plus efficace, notamment grâce à des produits qui augmentent le système racinaire et la stabilité (communication personnelle Sven Bisang, Syngenta).

Le **FiBL** recherche et promeut l'augmentation de l'efficacité biologique basée sur des méthodes de sélection biologique. La sélection ciblée vise à permettre une production végétale efficace et adaptée au site malgré les facteurs biotiques (maladies et ravageurs) et abiotiques (chaleur, sécheresse, engorgement, froid ou niveaux élevés de CO₂). En outre, l'objectif est d'accroître l'agrobiodiversité et de réduire le risque de pertes de rendement dans des conditions défavorables. Différents sous-domaines jouent ici un rôle : la sélection pour (1) la capacité de suppression des mauvaises herbes (éviter des herbicides), (2) la résistance aux maladies transmises par les semences (éviter des traitements de semences), et (3) l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation des nutriments en sélectionnant des variétés efficaces en azote dans des conditions biologiques (par exemple le colza). (4) réduire les pertes post-récolte en améliorant la qualité des produits, et (5) tester et recommander des variétés pour les conditions biologiques. Le FiBL se considère comme un facilitateur dans ces domaines. Il encourage les échanges et recherche une coopération étroite avec les sélectionneurs (communication personnelle Monika Messmer, FiBL).

4.5 Conclusion

Avec la diminution de la disponibilité des terres agricoles ainsi que l'accès plus difficile aux ressources, par exemple en raison de la rareté des ressources et/ou de l'augmentation constante des prix sur le marché mondial, l'agriculture éco-efficace est une stratégie importante et tournée vers l'avenir pour produire plus avec les mêmes intrants (Kulak, Nemecek et al. 2013). Dans ce contexte, l'écocoefficacité ne signifie pas seulement la réduction des effets néfastes sur l'environnement et la production efficace, mais plutôt la prise en compte des conditions et des opportunités locales dans une production donnée. En production biologique, il faut envisager une réduction du rendement d'environ 30 % (Seufert, Ramankutty et al. 2012). Les principaux champs d'action dans le domaine de l'écocoefficacité sont l'augmentation de l'efficacité de l'azote ou la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires (tableau 3). Les approches dans ces domaines comprennent l'agriculture de précision, l'amélioration de l'utilisation des cultures dérobées et la sélection de résistance (tableau 3).

Tableau 3 : Principaux défis dans le domaine de l'écocoefficacité et du changement climatique et approches pour les résoudre dans le domaine de la technologie (voir également le chapitre 5) et de la sélection.

Défi	Solutions techniques	Contribution à la sélection
Azote	Agriculture de précision Cultures intercalaires au lieu de la jachère	Efficacité de l'azote Système racinaire Amélioration des cultures dérobées
Phosphore	Récupération des cendres de boues d'épuration	Efficacité du phosphore Les symbioses mycorhiziennes
Érosion des sols	Semis direct L'engrais vert au lieu de la jachère	Un engrais vert puissant
Sécheresse / chaleur	Irrigation (contrôlée par un capteur)	Variétés tolérant la sécheresse et la chaleur
Minimisation de l'utilisation d'herbicides	Semis direct d'engrais verts Agriculture de précision	Variétés à forte levée en engrais vert ou suppression rapide des mauvaises herbes
Minimisation des pesticides	Agriculture de précision	Sélection de la résistance

5 Le défi du changement climatique

On peut prévoir des extrêmes de chaleur nettement plus forts à l'avenir sur environ deux tiers de la surface terrestre mondiale. En Europe, les fortes précipitations vont augmenter au cours des 50 prochaines années. En particulier, la fréquence et la localisation des événements extrêmes sont difficiles à prévoir sur la base des connaissances actuelles et peuvent également présenter des tendances opposées au niveau régional (Fischer, Beyerle et al. 2013). Les projections concernant la production agricole future montrent qu'en raison du changement climatique, la superficie mondiale potentielle de millet perlé (*Pennisetum glaucum* L., +31 %), de tournesol (*Helianthus annuus* L., +18 %), de sorgho (*Panicum miliaceum* L., +16 %), de pois chiche (+15 %), de soja (+14 %), de sorgho (+9 %) et de maïs (+7 %) augmentera. La superficie potentielle des cultures *autrefois* typiques des régions à climat froid, comme la fraise (-32 %), le blé (-18 %), le seigle (-16 %), la pomme (-12 %) et l'avoine (-12 %), diminuera (Lane et Jarvis 2007). Pour l'Europe du Nord, il est désormais généralement admis que le changement climatique aura un effet positif sur l'agriculture, grâce à l'allongement des saisons de croissance, à de nouvelles options culturales, par exemple une nouvelle gamme de cultures, et à l'augmentation des taux de photosynthèse et de la fertilisation en CO₂ (Laval, Micale et al. 2009, Iglesias, Garrote et al. 2012). En revanche, dans le sud de l'Europe, la productivité du blé, du maïs et du soja en particulier diminuera. Cette situation est due, entre autres, à l'augmentation de la température, qui entraîne une hausse de la demande d'eau associée à de plus longues périodes de pénurie. En outre, l'incidence des ravageurs change selon les régions et les besoins en produits phytosanitaires qui en découlent (Fritsche-Neto et Borém 2012, Iglesias, Garrote et al. 2012).

5.1 Prévisions régionales pour la Suisse

Il est très probable que les températures moyennes augmentent dans toutes les régions et saisons au cours du XXI^e siècle. Les précipitations estivales diminueront et en hiver les précipitations seront un peu moins importantes, mais plus variables (Hohmann, Thalmann et al. 2007, CH2011 2011). Dans le rapport « Scénarios pour le changement climatique en Suisse CH2011 », trois scénarios climatiques avec différents niveaux d'émission sont examinés. Ici, l'unité de référence (CO_{2eq}) exprime les gaz à effet de serre autres que le CO₂ en unités de CO₂.

- **A2** : Aucune intervention n'est faite pour éviter les émissions de gaz climatiques et les émissions augmentent continuellement jusqu'en 2100, passant d'environ 50 à environ 140 GtCO_{2eq} par an.
- **A1B** : Ce scénario ne prévoit pas non plus d'interventions, mais les émissions diminuent à partir de 2050 pour atteindre environ 60 GtCO_{2eq} par an en 2100.
- **RCP3PD** : L'objectif est de réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre d'au moins 50 % d'ici 2050 par rapport à l'année de référence 1990, de sorte qu'en 2100, les émissions devraient être inférieures à 10 GtCO_{2eq} par an.

Sans réduction des émissions de gaz à effet de serre, les scénarios A2 et A1B prévoient une augmentation des températures de 2,7 à 4,8 °C à la fin du siècle. Si l'objectif en matière de CO₂ est atteint dans le scénario RCP3PD, le réchauffement de la température pourrait se stabiliser à 1,2-1,8 °C (CH2011 2011). L'augmentation de température attendue sera plus sensible en été qu'en hiver (Hohmann, Thalmann et al. 2007). Il faut s'attendre à des périodes chaudes et des vagues de chaleur plus longues, notamment en été (CH2011 2011).

Au XX^e siècle, les températures ont augmenté de 1,6 °C en Suisse occidentale, de 1,3 °C en Suisse alémanique et de 1,0 °C sur le versant sud des Alpes (OCCC/ProClim 2007). Une augmentation

significative a été enregistrée pour les températures maximales, tandis que les températures minimales sont restées relativement stables (Jürg Fuhrer, Symposium PSC 2013). Il est très probable que d'ici 2050, un été sur dix sera en moyenne plus chaud que 21°C. Toutefois, la fréquence de ces étés extrêmement chauds pourrait augmenter considérablement si le changement climatique accroît également la variabilité du climat (OcCC/ProClim 2007). En hiver, les jours et les nuits froides diminueront (CH2011 2011).

Les fortes précipitations devraient devenir plus fréquentes (tous les 5 ans au lieu de 7-10 ans) d'ici 2050 (OcCC/ProClim 2007). En ce qui concerne la répartition des précipitations, une augmentation de la sécheresse en été de 8 à 10 % est généralement attendue (CH2011 2011).

5.1.1 Suisse septentrionale

La température estivale moyenne dans le nord de la Suisse augmentera de 2,7°C d'ici 2050. En hiver, on peut s'attendre à des températures plus élevées de +1,8°C. On s'attend à une baisse des précipitations annuelles (par exemple -50 mm à Berne Liebefeld), ce qui correspond à une diminution d'environ 17 % en été (Hohmann, Thalman et al. 2007). Les précipitations hivernales varieront davantage dans leur quantité à l'avenir, même si la quantité de précipitations aura tendance à rester la même (Fig. 14) (CH20112011).

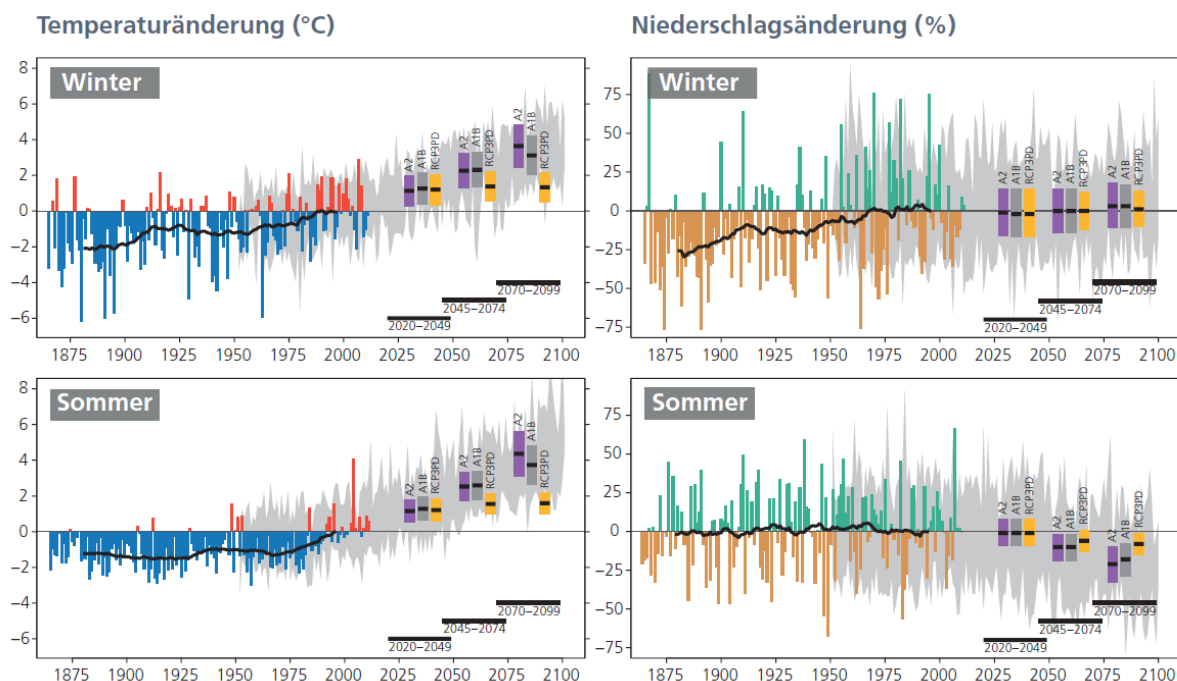


Figure 14 : Changements prévus des températures et des précipitations dans le nord-est de la Suisse par rapport aux valeurs de 1980-2009 selon les trois scénarios climatiques A2, A1B et RCP3PD (source : CH2011 (2011)).

5.1.2 Suisse méridionale

Avec +2,8°C, le réchauffement estival dans le sud de la Suisse d'ici 2050 est comparable à celui du nord de la Suisse (Hohmann, Thalman et al. 2007). Les hivers seront plus chauds de +1,8°C, comme dans le nord de la Suisse. Au Tessin en particulier, il faut s'attendre à une augmentation des vagues de chaleur et des sécheresses en été (CH2011 2011). En 2050, on prévoit moins de

précipitations (-20 mm à Sion, -150 mm à Lugano) par an, ce qui correspond à une diminution d'environ 19 % pour l'été (Hohmann, Thalmann et al. 2007). Les précipitations hivernales devraient augmenter de 11 % dans le sud de la Suisse (CH20112011).

5.2 Conséquences pour les cultures

Le tableau 4 résume les changements climatiques attendus jusqu'en 2050 et leurs conséquences pour les cultures. Pour le blé d'automne et le maïs grain, il faut s'attendre à des rendements plutôt inférieurs et à des pertes de revenu agricole allant d'un minimum de 7 % (maïs grain en Suisse occidentale) à un maximum de 25 % (blé d'automne dans le nord-est de la Suisse) (Lehmann, Finger et al. 2013). Dans l'étude de Lehmann, Finger et al. (2013), l'intensité de la production (fertilisation N), l'irrigation et deux modèles climatiques différents (ETHZ-CLM et SMHI-Had sont tous deux basés sur le scénario d'émissions A1B à l'aide d'un modèle climatique de l'ETH et d'un institut suédois, respectivement) pour l'année 2050 ont été pris en compte, mais aucun effet de la fertilisation CO₂ (Lehmann 2013). L'inclusion d'un effet de fertilisation par le CO₂ peut entraîner une augmentation du rendement du blé d'automne (Torriani, Calanca et al. 2007a), des prairies (Finger, Lazzarotto et al. 2010) et du maïs grain (Finger et Schmid 2008) et réduire les conséquences négatives du changement climatique. Cela profiterait davantage aux cultures C3 qu'aux cultures C4 (par exemple, le maïs). La fertilisation azotée peut être légèrement réduite pour le maïs, de même que pour le blé d'automne, où une seule application d'azote est nécessaire en raison de la phase de croissance raccourcie. Aucun changement significatif de la variabilité du rendement n'est attendu pour le blé d'automne (Lehmann, Finger et al. 2013). Les pertes de rendement induites par la sécheresse pour les terres cultivées et les prairies de 1980 à 2006 ont été calculées en utilisant l'évapotranspiration relative basée sur les données climatiques, les bassins versants, la topographie, les propriétés du sol et les paramètres de végétation spécifiques aux cultures (Fuhrer et Jasper 2009). Les zones à risque sont principalement la Suisse occidentale, le Bas-Valais et les vallées alpines intérieures. En Suisse centrale et orientale, une tendance à de plus longues périodes de sécheresse est visible (Fuhrer et Jasper 2009). Les prairies sont sensibles à la sécheresse avec jusqu'à 78 % de perte de biomasse due à des événements estivaux extrêmes sur la base du scénario d'émissions A1B mesuré à Saint-Genès-Champanelle (France, 880 m d'altitude) (Zwicke, Alessio et al. 2013). En outre, les mauvaises herbes peuvent être plus susceptibles de s'établir, comme le rumex à feuilles obtuses (*Rumex obtusifolius*) (Stampfli et Zeiter 2004, Gilgen, Signarbieux et al. 2010).

5.2.1 Nord-est de la Suisse

Sur le Plateau central, la saison de croissance devrait être plus longue de 40 jours en 2050 qu'en 1970 (Calanca et Holzkaemper 2010).

5.2.1.1 Maïs : réduction du rendement

Dans l'hypothèse d'une augmentation de la température de 5°C et d'une baisse de 30 % des précipitations estivales (tendance attendue après 2050), les rendements du maïs grain et du colza diminuent d'environ 15 % avec une moindre stabilité des rendements, dans l'hypothèse d'une fertilisation azotée et d'une irrigation optimales. Dans des conditions de gestion optimales, un rendement plus faible du maïs grain tend à être prédit également par Lehmann et al. (2013). Lorsqu'un effet supplémentaire de fertilisation par le CO₂ est inclus, la perte de rendement est plus faible, Finger et Schmid (2008) prévoyant même une augmentation du rendement d'ici 2050. La variabilité des rendements va augmenter pour le moment. Toutefois, si, selon les calculs des modèles climatiques, une irrigation supplémentaire est nécessaire en raison de la hausse des températures, la variabilité des rendements pourrait augmenter (Lehmann, Finger et al. 2013). De plus, en incluant une date de semis variable, la perte de stabilité du rendement peut être minimisée (Torriani, Calanca et al. 2007b). En outre,

l'utilisation de variétés à maturité plus tardive (indice FAO plus élevé, mesure de la maturité ¹⁵⁸¹⁵⁹) permet de compenser une éventuelle perte de rendement. Une différence de 100 dans le chiffre de la FAO correspond à une différence d'environ 10 jours dans la période de végétation nécessaire. Actuellement, les variétés de maïs jusqu'au numéro FAO 270 sont recommandées en Suisse au nord des Alpes et jusqu'à 550 au sud des Alpes (Agroscope 2013). Les variétés supérieures au numéro 500 de la FAO sont sélectionnées, par exemple, par Semilla Fito^{159 160} ou Pioneer (Agroscope 2013).

5.2.1.2 Blé d'automne et prairies : augmentation du rendement

Pour le blé d'automne, le rendement et la stabilité du rendement augmentent si l'on suppose un effet de fertilisation de la teneur doublée en CO₂ (Torriani, Calanca et al. 2007a). Lehmann et al. (2013) ont également tendance à supposer une diminution de la variabilité du rendement du blé d'automne. On s'attend également à une augmentation des rendements dans les prairies, mais seulement si l'on tient compte de l'effet positif d'une fertilisation accrue en CO₂ (Finger, Lazzarotto et al. 2010). La variation des rendements des prairies augmente également dans le cadre des changements climatiques supposés et s'intensifie avec l'augmentation de la fertilisation azotée. Les agriculteurs avertis au risque auront donc tendance à réduire la fertilisation azotée afin d'augmenter la stabilité des rendements (Finger, Lazzarotto et al. 2010).

5.2.1.3 Pomme de terre : irrigation

Dans le nord de la Suisse, l'irrigation ne sera probablement nécessaire que pour les pommes de terre (Lehmann, Finger et al. 2013).

5.2.2 Suisse occidentale

En général, sans adaptations spécifiques au changement climatique, on peut s'attendre à une perte de productivité de 0 à 10 % due à l'augmentation de l'irrigation, contribuant à une augmentation de 25 à 35 % de la perte de sol et à une augmentation de 30 à 45 % du lessivage de l'azote (Klein, Holzkämper et al. 2013). Pour minimiser ces impacts négatifs, Klein et al. (2013) ont testé différentes options de gestion en intégrant des cartes pédologiques, météorologiques et de pente, ainsi que les deux mêmes modèles climatiques de Lehmann et al. (2013). Ainsi, un mix optimal dans la région de la Broye correspondrait à une réduction de 60 % de la pomme de terre, 75 % de la betterave sucrière et 20 % du maïs grain par rapport au statu quo. Au contraire, l'importance de l'orge d'automne, du colza et, dans les régions en pente, principalement des prairies, augmenterait (Klein, Holzkämper et al. 2013). Le maïs, les pommes de terre, les betteraves à sucre et les graminées fourragères auraient également besoin d'une irrigation de plus en plus flexible pour obtenir des rendements rentables (Finger et Schmid 2008, Lehmann, Briner et al. 2013).

5.2.2.1 Maïs : pourrait être remplacé par de l'orge d'automne

Pour le maïs grain, il faut s'attendre à des pertes de rendement et à des pertes financières d'environ 7 % du revenu agricole. En supposant des conditions de gestion optimales, la variabilité des rendements du maïs tend à augmenter. La marge bénéficiaire tend à diminuer alors que la variabilité du bénéfice augmente (Lehmann, Finger et al. 2013). Cela est dû principalement à l'accélération du développement du maïs, qui peut atteindre son stade final jusqu'à un mois plus tôt. Les variétés adaptées aux climats plus chauds devraient être capables de minimiser la variabilité des rendements. L'irrigation est nécessaire et liée à des pertes économiques, ce qui pourrait entraîner la disparition totale du maïs des terres arables. Selon des critères économiques, l'orge d'automne et les pommes

¹⁵⁸ http://www.inaro.de/deutsch/generic_frame.html?Allgemei/Glossa.htm?gloss_cont.htm#F (consulté le 20/11/2013).

¹⁵⁹ <http://www.semillasfито.com/gcmaiz.php#1> (consulté le 21 novembre 2013).

de terre irriguées (Lehmann, Briner et al. 2013), et selon des critères écologiques, l'orge d'automne, le colza d'automne et les prairies prendraient sa place (Klein, Holzkämper et al. 2013).

5.2.2.2 Blé d'automne et colza : aucune irrigation nécessaire

Le blé d'automne et le colza d'automne sont susceptibles de gagner en importance, car ils ne nécessitent pas d'irrigation (Finger et Schmid 2008, Lehmann, Briner et al. 2013). Pour le blé d'automne, il faut s'attendre à une réduction de la fertilisation azotée et à de légères pertes de rendement et de profit, même si l'évolution de la variabilité des rendements et du profit du blé dépendra du modèle climatique choisi (Lehmann, Finger et al. 2013). Le colza d'automne peut être récolté plus tôt grâce au réchauffement climatique et ainsi éviter les éventuelles sécheresses et chaleurs estivales (Lehmann, Briner et al. 2013).

5.2.2.3 Betterave sucrière et pomme de terre : rentables, mais pas écologiques

La betterave sucrière et la pomme de terre peuvent encore être cultivées de manière rentable à l'avenir malgré le changement climatique, à condition qu'elles soient irriguées, la betterave sucrière en particulier bénéficiant de paiements directs élevés (Lehmann, Briner et al. 2013). Pour minimiser les pertes de sol et d'azote à l'avenir, notamment sur les pentes et sous irrigation, il faudrait réduire les surfaces de betteraves sucrières et de pommes de terre (Klein, Holzkämper et al. 2013).

On ne connaît pas d'études agronomiques qui tiennent compte des conditions du sud de la Suisse. La situation est probablement comparable à celle de la Suisse occidentale.

Tableau 4 : Changements attendus du climat suisse d'ici 2050 et leurs effets sur les rendements des cultures
(Sources : CH2011 (2011), Torriani, Calanca et al. (2007a), Finger et Schmid (2008), Finger, Lazzarotto et al. (2010), Lehmann, Briner et al. (2013))

	Été		Hiver		Cultures		
	Température	knockdowns	Température	knockdowns	Effets positifs sur les revenus	Irrigation nécessaire	Effets négatifs sur les revenus
	°C	%	°C				
Nord-est de la Suisse	19.9 (+2.7)	-17 %	+1.7	Variable	Pâturages, (blé d'automne)	Pomme de terre, (maïs)	(maïs), colza
Suisse occidentale	-	-	-	Variable		Pomme de terre, maïs, prairie, betterave à sucre	
Sud de la Suisse	20 (+2.8)	-19 %	+1.7	Augmenter		-	

5.3 Zones climatiques comparables

Les conditions climatiques vont évoluer vers celles qui prévalent déjà aujourd'hui dans le sud de la France et le nord de l'Italie. Les zones climatiquement similaires au nord-est de l'Europe sont la région

frontalière des États-Unis et du Canada (40-55°N, 52-115°W) et la Russie et le Kazakhstan (47-59°N, 50-90°E) (EPPO 2010).

5.4 Cultures tolérantes à la sécheresse

Des projets européens tels que « DROPS »¹⁶⁰ et « EUROOT »¹⁶¹ attaquent aux problèmes de la sécheresse croissante dans l'agriculture. DROPS' vise à améliorer les rendements en cas de sécheresse et à accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau sur une base génétique. EUROOT' vise à améliorer l'absorption de l'eau et des nutriments par les racines. Le projet « EUROOT » implique 20 groupes, dont l'ETH Zurich, qui étudient les effets du stress dû à l'azote et à la sécheresse sur le système racinaire de différents génotypes. Le passage à des cultures alternatives est une autre possibilité ; en Allemagne, par exemple, le sorgho est cultivé par KWS dans le domaine des cultures énergétiques pour les régions particulièrement touchées par la sécheresse.¹⁶²

5.5 Maladies, ravageurs et insectes utiles

Entre autres choses, un climat plus chaud accélère le développement des insectes, augmente les générations et le nombre de phases actives par an, et permet l'expansion géographique et le changement d'hôte. La sécheresse modifie la physiologie et le comportement alimentaire, ce qui pourrait affecter les ravageurs et les insectes utiles. Les hivers plus chauds réduisent la pression sur les populations de ravageurs. Une étude de modélisation de deux ravageurs importants, le doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata*) et la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*), suppose que ces deux insectes augmenteront en nombre et se propageront en Europe d'ici 2050 (Kocmankova, Trnka et al. 2011). L'humidité est plus importante pour les pathogènes que pour les insectes (Singh, Prasad et al. 2013), ce qui signifie que certaines maladies fongiques sont susceptibles de diminuer en fonction de leurs besoins.

5.6 Conséquences pour l'agriculture suisse

L'irrigation augmentera dans les prairies, les cultures de maïs et de pommes de terre en Suisse occidentale et dans les cultures de pommes de terre dans le nord-est de la Suisse (Finger et Schmid 2008, Klein, Holzkämper et al. 2013, Lehmann, Briner et al. 2013). Le maïs pourrait être évincé de la rotation des cultures en Suisse occidentale en raison des coûts plus élevés causés par l'irrigation pour des raisons de rentabilité (Lehmann, Briner et al. 2013). Des adaptations de l'assolement vers plus de cultures d'automne sont à prévoir (Klein, Holzkämper et al. 2013, Lehmann, Briner et al. 2013).

Les rendements attendus auront tendance (mais pas de manière significative) à atteindre un niveau inférieur à celui d'aujourd'hui (Lehmann, Finger et al. 2013). Cependant, l'effet d'une augmentation de la concentration de CO₂, qui pourrait avoir un impact positif sur les rendements, reste flou. Si le réchauffement est plus fort que prévu, il faut également s'attendre à des effets négatifs sur les cultures dans le nord-est de la Suisse en raison du raccourcissement du développement végétatif (Hohmann, Thalmann et al. 2007). La variabilité du rendement diminue sous irrigation, sinon elle a tendance à augmenter (Lehmann, Finger et al. 2013). Pour minimiser les effets du changement climatique, on peut soit utiliser des cultures alternatives (par exemple le sorgho), soit adapter les variétés à des climats plus chauds. En Suisse, cependant, les décisions de gestion optimale sont davantage influencées par les ajustements de prix au niveau de l'UE que par le changement climatique (Lehmann,

¹⁶⁰ <http://www.dropsproject.eu/> (consulté le 10/7/2013).

¹⁶¹ <http://www.euroot.eu> (consulté le 10/7/2013).

¹⁶² <http://www.kws.de/aw/KWS/germany/Produkte/Energie/Fachinformationen/~djfi/Sorghum/> (consulté le 20/11/2013).

Briner et al. 2013). Le changement climatique, à son tour, pourrait faire augmenter les prix des denrées alimentaires à l'échelle mondiale (Tran, Welch et al. 2012).

Le labour de conservation et les prairies artificielles ont été identifiés dans une étude de modélisation de Klein, Holzkämper et al. (2013) comme les facteurs les plus importants pour une adaptation optimale au changement climatique en Suisse occidentale. Les pratiques de semis direct pourraient devenir plus importantes à mesure que les conditions de sécheresse augmentent la capacité de rétention d'eau des sols (Chervet, Ramseier et al. 2006, Soane, Ball et al. 2012, Klein, Holzkämper et al. 2013). Les prairies des contreforts des Alpes (au-dessus de 700 m d'altitude) peuvent être partiellement converties en terres cultivées en raison des températures plus élevées (Klein, Holzkämper et al. 2013). La culture de plantes alternatives mieux adaptées au stress de la chaleur et de la sécheresse pourrait devenir plus intéressante.

La pression exercée par les maladies, notamment par des insectes comme le doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata*) et la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*), pourrait augmenter (Kocmankova, Trnka et al. 2011, Singh, Prasad et al. 2013). La réduction de la couverture neigeuse, les précipitations extrêmes et les périodes de sécheresse posent en outre de nouveaux défis en matière de lessivage des nutriments (efficacité du phosphore et de l'azote). Dans le cas de la pomme de terre et de la betterave sucrière, les pertes de sol et d'azote augmentent, en particulier sur les pentes. En particulier dans le cas du lessivage de l'azote, le type de sol joue également un rôle important (Klein, Holzkämper et al. 2013).

6 Développement technologique dans la culture et la transformation

À l'avenir, l'orientation stratégique de la sélection avec ses objectifs de sélection dépendra également dans une certaine mesure de la technologie utilisée dans la culture des plantes ainsi que des exigences des processus dans le domaine de la transformation. L'adaptation de la technologie de culture (par exemple, le semis direct), la technologie d'irrigation, ainsi que l'automatisation ciblée de la technologie (par exemple, les machines de récolte) sont des aspects importants qui jouent un rôle dans le développement d'une agriculture économiquement et écologiquement durable. Elles visent à rendre l'agriculture plus efficace et plus respectueuse de l'environnement, tout en protégeant des ressources de plus en plus rares. L'influence des acheteurs de produits agricoles ne doit pas non plus être négligée. Outre les exigences de qualité, la récolte doit également répondre à des exigences de transformation afin d'obtenir un produit répondant à la demande. Ces exigences posent de nouveaux défis à la culture des plantes et en particulier à la sélection des plantes, par exemple la sélection en fonction de certains ingrédients ou de certaines caractéristiques de croissance.

6.1 Développement des machines

Les progrès technologiques continueront à faciliter les semis, la gestion des champs et la récolte à l'avenir, mais ils entraîneront également des problèmes tels que le compactage des sols.

6.1.1 *Semis direct*

L'utilisation de la méthode de semis direct permet de préserver une structure de sol intacte et une couverture maximale des terres arables. Cela a surtout eu les effets positifs suivants :

- Pour l'eau, l'infiltration est améliorée, les pertes par évaporation sont réduites et donc la teneur dans les 30 cm supérieurs est augmentée (Chervet, Ramseier et al. 2006, Chervet, Schwarz et al. 2008).
- Réduction du lessivage du phosphore et en partie aussi de l'azote (Kulak, Nemecek et al. 2013).
- Réduction de l'érosion des sols.
- Accumulation du CO_2 séquestré dans la couche arable, par exemple sous forme d'humus. Néanmoins, par rapport aux systèmes conventionnels, il n'y a probablement pas plus de CO_2 stocké dans le profil global du sol (Kulak, Nemecek et al. 2013).
- Réduction de 50 % de la consommation de diesel et de la main-d'œuvre par rapport à la culture avec la charrue¹⁶³.

Les effets négatifs du semis direct sont une augmentation de la toxicité de l'eau en raison de l'utilisation conditionnellement plus élevée d'herbicides et d'insecticides. Néanmoins, on suppose que les systèmes de semis direct permettent une légère réduction de la pollution environnementale (Williams, Audsley et al. 2006, Kulak, Nemecek et al. 2013). Les systèmes optimisés tels que le « cross slot » améliorent la levée des cultures et appliquent les engrais de manière sélective pendant le semis (Ritchie, Baker et al. 2003). Les approches en production biologique appliquent le semis direct avec une application préalable d'engrais vert (Fig. 15). Dans le but de supprimer les mauvaises herbes, l'engrais vert est généralement roulé après le semis, et les premiers résultats avec le maïs en combinaison avec un engrais vert optimal sont prometteurs (Dierauer et Böhler 2012). Au fur et à mesure de la croissance des plantes à travers l'engrais vert roulé, les jeunes plantes doivent être très vigoureuses.

¹⁶³ <http://www.crossslot.com/better-way-testimonials> (consulté le 04.12.2013).



Figure 15 : Sans application d'herbicide, le semis direct est appliqué dans un mélange d'engrais verts sur pied (Source : Dierauer et Böhler (2012)).



Figure 16 : Un jet d'eau coupe la laitue, après quoi la laitue est évacuée sur un tapis roulant (source : ramsayhighlander.com).

6.1.2 Irrigation

L'irrigation au goutte-à-goutte a été développée en Israël dans les années 1960 et s'est rapidement répandue dans le monde entier¹⁶⁴. Contrairement à l'irrigation par aspersion, l'eau est conduite à la surface du sol ou directement dans la zone des racines, ce qui minimise les pertes dues à l'évaporation, à l'infiltration rapide ou au ruissellement de surface. En outre, les engrais et les pesticides peuvent être appliqués directement par ces systèmes, ce qui réduit les pertes (Shock 2013). Les systèmes récents sont associés à des capteurs de sol, ce qui permet d'appliquer l'irrigation et la protection des cultures en fonction des besoins¹⁶⁵. Une autre stratégie consiste à alterner l'irrigation de seulement la moitié du sol ou de la surface des racines, car cela peut augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau grâce aux réponses naturelles de la plante au stress de la sécheresse (Wang, Liu et al. 2010). Cependant, l'efficacité de cette méthode en termes de nutriments est controversée (Wang, Liu et al. 2010, Sun, Yan et al. 2013). Des technologies d'irrigation efficaces, ainsi que le développement et l'utilisation de variétés tolérantes à la sécheresse, peuvent contribuer de manière importante à l'utilisation économe de l'eau en tant que ressource.

6.1.3 Récolte automatisée

À l'avenir, les machines de récolte capables de reconnaître et de récolter automatiquement les organes végétaux mûrs joueront un rôle important, notamment pour les légumes et les fruits. Des robots de récolte équipés d'yeux de caméra sont déjà attendus dans les prochaines années. Par exemple, on travaille déjà sur des systèmes améliorés pour la récolte des oranges, dans lesquels un bras robotisé reconnaît les oranges et les récolte individuellement, au lieu de secouer l'arbre entier¹⁶⁶. Pour la récolte des fraises, il existe déjà sur le marché un robot qui reconnaît et cueille les petits fruits mûres¹⁶⁷. La récolte des salades est également de plus en plus automatisée (Fig. 16)¹⁶⁸.

¹⁶⁴ <http://online.wsj.com/article/SB10000872396390443855804577602930583558076.html> (Zugriff am 5.11.2013)

¹⁶⁵ <http://www.syngenta.com/global/corporate/en/goodgrowthplan/commitments/Pages/make-crops-more-efficient.aspx> (consulté le 11/5/2013).

¹⁶⁶ <http://online.wsj.com/article/SB10000872396390444273704577637461944396668.html> (Zugriff am 5.11.2013)

¹⁶⁷ <http://roboticharvesting.com/tech.html> (consulté le 11/5/2013).

¹⁶⁸ <http://www.ramsayhighlander.com/products/romaine/green-leaf-lettuce-harvester.htm> (consulté le 11/5/2013).

6.1.4 *Le compactage du sol*

Avec la mécanisation croissante et l'utilisation de machines plus lourdes, le problème du compactage du sol va prendre une place de plus en plus importante. D'une part, il est possible d'ameublir partiellement les sols compacts en cultivant des plantes dicotylédones à fortes racines pivotantes (par exemple, le lupin bleu, le trèfle-escargot, la féverole) (Materechera, Dexter et al. 1991, Schmidt, Gregory et al. 2013). Cela présuppose toutefois que ces plantes sont également intéressantes d'un point de vue économique et qu'elles doivent probablement faire l'objet de nouvelles sélections. D'autre part, le développement de variétés qui poussent mieux sur les sols compacts sera également nécessaire. Il existe encore un grand besoin de recherche dans ce domaine (Bengough, McKenzie et al. 2011), car on ne sait pas, par exemple, si et dans quelle mesure il existe une variation génétique pour la réponse au compactage du sol au sein d'une espèce cultivée. Ce domaine nécessite donc une recherche fondamentale plus poussée, comme celle qui est actuellement menée dans le cadre du Programme national de recherche (PNR) 68.

6.2 *Traitement des aliments*

De nouvelles méthodes de traitement sont en cours de développement afin de réduire la nécessité de dénaturer les protéines par des techniques de stérilisation thermique. L'une des idées consiste à pulvériser, sécher puis reconstituer les aliments, ce qui permet d'augmenter la durée de conservation tout en préservant la sécurité du produit¹⁶⁹. Par exemple, il existe déjà des solutions permettant d'enrichir en vitamines et en minéraux le riz broyé servant de matière première et de le reconstituer sous forme de grain de riz¹⁷⁰. Les techniques qui garantissent un traitement en douceur du produit, de la récolte au produit fini, peuvent contribuer à améliorer la qualité des aliments, mais aussi à réduire les déchets de production.

6.2.1 *Protéines pour la qualité de la cuisson*

Les protéines de stockage insolubles dans l'eau, comme la gliadine et la gluténine, proviennent de l'endosperme du grain de blé et fonctionnent comme des protéines du gluten. Ils influencent l'extensibilité ainsi que l'élasticité de la pâte et peuvent influencer de manière décisive la qualité de la cuisson (Becker 1993).

La prise en compte ou le traitement des protéines structurantes de la glace (ISP) dans la sélection, peut améliorer la qualité des pâtes congelées (Panadero, Randez-Gil et al. 2005, Kontogiorgos, Goff et al. 2008, Lingling, Yangsoo et al. 2010). Ces protéines peuvent provenir directement du grain (blé), mais peuvent aussi être techniquement substituées et introduites par des levures modifiées (Panadero, Randez-Gil et al. 2005, Lingling, Yangsoo et al. 2010). Aucun effet négatif de l'ISP sur la nutrition humaine n'est connu à ce jour (Hassas-Roudsari et Goff2012).

Les protéines liant les graisses telles que la puroindoline a (PINA) et b (PINB) sont responsables de la texture et de la dureté de l'endosperme du blé, respectivement (Morris 2002). Ainsi, ils ont une influence sur les propriétés de mouture, la farine et la qualité du produit final, par exemple le pain, le gâteau et les pâtes (Pauly, Pareyt et al. 2013). Ce n'est que récemment que plusieurs gènes responsables de la formation de PINA et PINB ont pu être marqués par des marqueurs moléculaires (Chen, Li et al. 2013).

¹⁶⁹ <http://www.lsfm.zhaw.ch/de/science/zle/vtk/forschungsdienstleistungen/forschungsschwerpunkte/verfahrenstechnik.html> (consulté le 30/10/2013).

¹⁷⁰ <http://www.buhlergroup.com/global/en/services/nutrition-solutions/nutririce.htm> (consulté le 30/10/2013).

6.2.2 *Traitement des produits à base de pâte*

Les innovations dans la technologie de production et les changements dans les méthodes de conservation ont conduit au fait que la production et la commercialisation du pain sont liées et que les pâtons destinés à la cuisson supplantent lentement le pain de la boulangerie classique. En raison des avantages économiques (plus grandes quantités, temps de travail journalier plus avantageux), les pâtons, c'est-à-dire les cuissons avec interruption de la fermentation ou de la réfrigération, ont pris une grande part du marché aujourd'hui (Meyer 2003, Sywottek 2007) (communication personnelle Lilia Levy, Agroscope). Cependant, ce processus est plus exigeant pour les pâtons, car la structure du gluten, en particulier, est soumise à une plus grande tension. Outre la nécessité d'une plus grande quantité de gluten humide, l'utilisation de la vitamine C sous forme d'acérola est également importante. Des études sont actuellement en cours pour déterminer dans quelle mesure la quantité de gluten peut être remplacée par la qualité du gluten. En principe, une plus grande attention doit toutefois être accordée à la quantité de gluten et à la teneur en protéines dans la sélection du blé panifiable (communication personnelle Lilia Levy, Agroscope). Une autre façon de prolonger la durée de conservation du produit est obtenue à la fois par le stockage et le transport à l'état congelé et par la pasteurisation du pain emballé (Meyer 2003). Outre les établissements de restauration ou d'autres points de service proposant des produits de boulangerie frais (par exemple, les stations-service, les marchés discount, etc.), les boulangeries conventionnelles ont également recours à la surgélation de leurs produits pour des processus de production plus efficaces (communication personnelle Daniel Jakob, Association suisse des maîtres boulangers et pâtisseries SBKV).

6.2.3 *Utilisation des nanotechnologies*

Les nanotechnologies peuvent être utilisées dans divers domaines de l'industrie alimentaire. Des systèmes déjà connus de l'industrie pharmaceutique peuvent être utilisés, par exemple, pour protéger des substances bioactives (par exemple par encapsulation), pour les amener au site de réaction souhaité et pour les y libérer de manière contrôlée. Les propriétés qualitatives telles que la texture ou la viscosité d'une substance peuvent également être modifiées (Sozer et Kokini 2009, Lopes, Fernandes et al. 2013). Des nanorevêtements spéciaux ont été mis au point pour empêcher, par exemple, le ketchup de coller à la bouteille ou le chocolat de s'oxyder¹⁷¹. Les emballages recouverts de nanotechnologies, mais dont la sécurité est encore mal étudiée, peuvent augmenter la durée de conservation des produits. La sécurité alimentaire pourrait bénéficier des nanocapteurs et des méthodes nanotechnologiques qui détectent ou filtrent les micro-organismes, par exemple (Lopes, Fernandes et al. 2013).

6.3 *Récupération des nutriments : Exemple de recyclage des phosphates*

Le phosphore, avec l'azote et le potassium (NPK), est l'un des éléments les plus importants de la nutrition des plantes et ne peut être fourni de manière synthétique. Pour l'agriculture en particulier, l'application de boues d'épuration a été une source importante d'approvisionnement en phosphate pour les plantes. La quantité croissante de polluants, par exemple de métaux lourds, dans les boues d'épuration provenant des ménages a conduit à une interdiction légale de l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture suisse en 2006. Malgré l'interdiction, le phosphate contenu dans les boues d'épuration doit être rendu directement utilisable. C'est pourquoi des efforts sont déployés pour récupérer le phosphore de manière économique afin de fermer le cycle du phosphore. En Suisse, la quantité de phosphore liée aux boues d'épuration est égale à la quantité d'engrais minéraux importés. La stratégie du canton de Zurich (Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL)) consiste à extraire cette précieuse matière première des boues d'épuration. À l'avenir, cela devrait non seulement signifier l'indépendance vis-à-vis du marché mondial des matières premières,

¹⁷¹ http://www.sdu.dk/en/om_sdu/institutter_centre/c_nanosyd/forskning/forskningsprojekter/nanofood (consulté le 4 décembre 2013).

mais aussi permettre à l'expertise établie des entreprises locales d'accéder rapidement à un marché en pleine croissance (AWEL 2009, BAFU 2009). À l'ETH Zurich, un projet visait à extraire les métaux lourds toxiques tels que le cuivre et le cadmium des cendres de boues d'épuration riches en phosphore. Les cendres peuvent ensuite être utilisées comme engrais pour les plantes¹⁷². Une autre possibilité de récupération du phosphore, ainsi que de l'azote et du potassium, serait la séparation puis l'extraction de l'urine. Des recherches de ce type sont menées à l'EAWAG (Montangero, Schertenleib et al. 2006, Bryner 2010).

7 Développement des marchés agricoles

D'ici 2050, non seulement la répartition économique des denrées alimentaires constituera un problème central, mais aussi le volume de production pure nécessaire pour nourrir environ 9 milliards de personnes (MFAAPC 2012). Les principaux facteurs limitant l'augmentation de la production seront le manque d'investissement et l'absence de ressources naturelles ou d'augmentation des rendements (Alexandratos et Bruinsma 2012).

7.1 La culture de l'avenir

Pour assurer la sécurité alimentaire, la production mondiale doit augmenter d'au moins 60 % entre 2005/2007 et 2050. L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) part du principe que la consommation mondiale de tous les produits agricoles augmentera de 1,1 % par an (contre 2,2 % auparavant). Malgré cette augmentation, on suppose qu'environ 2,7 milliards de personnes consommeront de l'alcool. personnes devront vivre avec 2 700 kcal par jour et 800 millions d'entre elles avec moins de 2 700 kcal par jour (Alexandratos et Bruinsma 2012). La production de viande devrait augmenter à un rythme plus rapide de 1,3 % par an que celle des céréales (0,9 %) (Fig. 17). Toutefois, cette augmentation de la production n'est possible que si les investissements nécessaires sont réalisés tout au long de la chaîne de production et si les conditions-cadres politiques sont en place. Les facteurs d'incertitude qui compliquent ces prévisions sont la croissance démographique en Afrique subsaharienne, le changement climatique et la demande et la production de bioénergie (Alexandratos et Bruinsma 2012).

Les dépenses publiques consacrées à la recherche agricole, qui contribuent de manière importante à l'efficacité et au développement des futurs systèmes agricoles, stagnent ou diminuent dans la plupart des pays du monde. La principale exception est la Chine, qui a plus que doublé ses dépenses au cours de la dernière décennie (2000-2010). Il en va de même, mais de façon moins prononcée, pour le Brésil et l'Inde¹⁷³. La Chine et le Brésil ont déjà un poids important, si l'on regarde les statistiques d'importation et d'exportation (Alexandratos et Bruinsma 2012). Le principal exportateur mondial de soja, les États-Unis, est de plus en plus rattrapé par son principal concurrent, le Brésil, dont la production de soja devrait augmenter de 40 % entre 2009 et 2019¹⁷⁴.

¹⁷² <http://www.plantnutrition.ethz.ch/pk/project> (consulté le 26/11/2013).

¹⁷³ <http://www.nature.com/nature/journal/v466/n7306/full/466531a.html> (consulté le 11/4/2013).

¹⁷⁴ <http://www.nature.com/news/2010/100728/full/466554a.html> (Zugriff 4.11.2013)

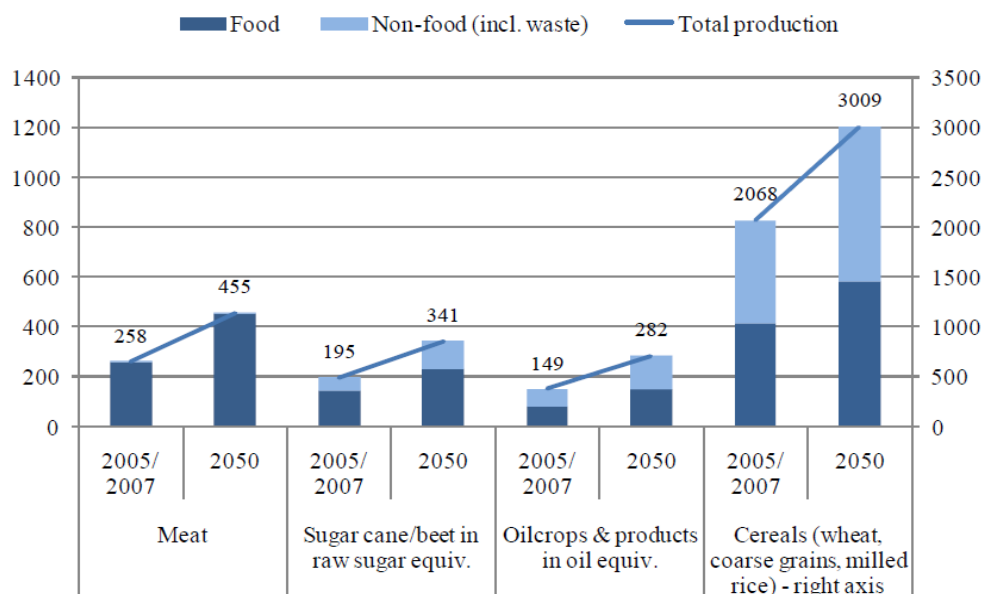


Figure 17 : Croissance des principaux produits agricoles de base de 2005/2007 à 2050 (Source : Alexandratos et Bruinsma (2012)).

7.2 Développement des surfaces cultivées mondiales et régionales

D'après les modèles climatiques, on s'attend à ce que, d'ici 2050, la superficie agricole potentielle de l'Amérique du Nord, du Canada et de la majeure partie de l'Europe augmente, tandis que celle du Sahel, de l'Afrique australe, de l'Inde et du nord de l'Australie diminue. Les effets du changement climatique sur les régions de l'est du Brésil, de l'Amérique centrale, des montagnes de l'Himalaya et du sud-ouest de l'Afrique ne sont toujours pas clairs (Lane et Jarvis 2007).

La FAO prévoit que la superficie cultivée dans les pays industrialisés diminuera d'environ 63 millions d'hectares en termes absolus et augmentera d'environ 132 millions d'hectares, notamment en Amérique latine et en Afrique subsaharienne (Alexandratos et Bruinsma 2012). En termes nets, la superficie récoltée devrait augmenter d'environ 140 millions d'hectares en raison de la réduction des jachères et des cultures multiples. Cela laisse encore 1,3 milliard d'hectares de terres arables non cultivées en 2050 (Alexandratos et Bruinsma 2012). Pour la Suisse, on prévoit qu'un maximum de 1 % des terres agricoles des zones de montagne deviendront arables chaque année en raison du changement climatique (Kopainsky, Flury et al. 2013). Une autre étude a produit des modèles économiques d'utilisation des terres (forêt et pâturages d'été) dans la région alpine autour de Viège pour l'année 2080, en supposant les prix de l'UE. Cette étude a conclu que la productivité des pâturages d'été augmente, mais que leur gestion est moins rentable. Il faut donc s'attendre à une diminution de la superficie des pâturages d'été, qui seront toutefois remplacés par la forêt plutôt que par d'autres productions agricoles (Briner, Elkin et al. 2012).

7.2.1 Commerce international

Les importations nettes de céréales vont presque doubler dans les pays en développement, passant de 116 millions de tonnes en 2005/2007 à 196 millions de tonnes en 2050. Le taux d'autosuffisance de ces pays passera de 92,3 % à 90,2 % au cours de cette période (Alexandratos et Bruinsma 2012). En 2050, les exportations de produits alimentaires devraient provenir principalement d'Amérique latine (25 millions de tonnes), d'Europe et d'Amérique du Nord. L'Asie du Sud parviendra à un équilibre

commercial. L'Asie de l'Est pourra exporter du riz, mais sera dépendante des importations de blé et d'autres céréales (Alexandratos et Bruinsma 2012).

7.2.2 Évolution des prix des denrées alimentaires

Le changement climatique entraînera une nouvelle hausse des prix des denrées alimentaires d'ici à 2050. Des augmentations allant jusqu'à 105 % pour le maïs, 30 à 80 % pour le riz et 40 à 60 % pour le blé sont prévues (Nelson, Rosegrant et al. 2010). Avec des mesures parfaites d'adaptation au changement climatique, les prix augmenteraient encore d'environ 19 % pour le riz et d'environ 33 % pour le maïs (Nelson, Rosegrant et al. 2010). Différents facteurs influencent l'évolution des prix et le commerce agricole : la production aux États-Unis est centrale pour l'approvisionnement en maïs et en soja. Mais une sécheresse prolongée, par exemple en Asie du Sud-Est, pourrait également restreindre l'offre de blé, de riz et de maïs et faire augmenter les prix (Nelson, Rosegrant et al. 2010). Les facteurs de prix seront également les coûts de production, par exemple, des augmentations de prix et une volatilité des prix sont attendues pour les engrais (azote et phosphore) (OFAG 2010).

7.2.3 Viande

La production et la consommation de viande augmenteront au niveau mondial d'environ 1,3 % par an. Cette tendance sera plus forte dans les pays en développement que dans les autres pays, avec une augmentation de 1,7 % de la production et de 1,8 % de la consommation par an. Si le Brésil et la Chine, qui ont déjà augmenté leur consommation de viande par le passé, ne sont pas considérés comme des pays en développement, la production et la consommation de viande augmenteront de 2,4 % par an (Alexandratos et Bruinsma 2012). En 2050 également, comme en 2005/2007, les pays développés et le Brésil seront les principaux exportateurs nets de viande. Les exceptions aux pays industrialisés sont le Japon et la Russie, qui continueront à importer de la viande (Alexandratos et Bruinsma 2012).

7.2.4 Lait

La consommation de lait augmentera de 1,1 % au niveau mondial et de 1,7 % par an dans les pays en développement. La plus forte augmentation de la consommation et de la production sera enregistrée en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud et de l'Est, avec une croissance de plus de 2 % par an jusqu'en 2030. Les pays développés resteront des exportateurs nets et les pays en développement (principalement l'Asie de l'Est, à l'exception de l'Amérique latine) des importateurs nets (Alexandratos et Bruinsma 2012).

7.2.5 Légumineuses

Les rendements moyens des légumineuses devraient doubler, passant de 0,8 t/ha (2005/2007) à 1,6 t/ha en 2050. La consommation mondiale par habitant devrait augmenter de 15 % d'ici à 2050. Cette évolution sera plus prononcée dans les pays en développement, notamment en Afrique subsaharienne, que dans les pays industrialisés. Les pays en développement produiront environ 70 % du soja mondial en 2050. La plus grande part (90 %) de cette production proviendra du Brésil, de l'Argentine, de la Chine et de l'Inde (Alexandratos et Bruinsma 2012).

7.3 Rôle de l'agriculture suisse

La population suisse passera de 8,6 millions (2025) à environ 9 millions (2050) (OFAG 2010). Dans le même temps, les terres agricoles diminueront au profit des terres de colonisation. L'étude REDES part du principe que les importations de produits alimentaires augmenteront de près de 30 %. Dans le même temps, le degré d'autosuffisance tombera à environ 50 %. Au niveau national, on prévoit un transfert de l'agriculture vers la sélection (en particulier la production de volaille). Cela permettra de

réduire les pertes d'azote, les émissions d'ammoniac et les émissions d'équivalents CO₂. Cependant, l'émission totale d'équivalents CO₂ (y compris les équivalents CO₂ des importations) augmentera. En termes de potentiel de rendement, une augmentation de 0,5 % par an est attendue pour toutes les cultures, en supposant que l'utilisation d'engrais minéraux ne change pas (Kopainsky, Flury et al. 2013). Globalement, il est exigé que l'agriculture contribue à la sécurité d'approvisionnement. La vision pour 2025 devrait prendre en compte les aspects suivants :

« Le secteur agricole et alimentaire suisse répond aux besoins des consommateurs et aux attentes de la population par une production alimentaire économiquement performante, écologiquement optimale et socialement responsable ». (FOAG 2010).

En outre, les moyens de subsistance des personnes doivent être sauvegardés, le bien-être des animaux doit être respecté et l'implantation décentralisée de la campagne et des paysages cultivés doit être préservée (OFAG 2010).

Il existe un grand nombre de possibilités d'exportation pour des produits de haute qualité et représentatifs de la Suisse. L'accord de libre-échange négocié avec la Chine pourrait ouvrir de nouvelles possibilités d'exportation pour les produits agricoles de qualité. Le commerce mondial du fromage est un exemple de l'exportation réussie de produits suisses de qualité. Ce montant a augmenté de 70 millions de francs (+15 %) entre 2002 et 2012 (OFAG 2013). Toutefois, si le cycle de Doha est conclu, les restitutions à l'exportation pour les produits transformés (« Schoggigesetz ») devraient être supprimées et la protection à la frontière fortement réduite (OFAG 2010). En outre, le développement de l'économie mondiale joue un rôle déterminant. Dans son rapport « Agriculture et industrie alimentaire 2025 », l'OFAG a élaboré trois scénarios qui évaluent les influences sur les différents domaines de l'agriculture suisse, en tenant compte de l'évolution économique mondiale.

Scénario 1 : croissance continue : la croissance continue de l'économie mondiale exige des mesures plus strictes dans les domaines des moyens de subsistance naturels, du paysage et du bien-être des animaux. La demande et la volonté de payer pour ces services sont accrues et la sécurité de l'approvisionnement est assurée par les importations. La compétitivité est sous pression en raison de la baisse des prix au niveau international, ce qui nécessite un financement accru des mesures d'accompagnement (OFAG 2010).

Scénario 2 : pénurie gérable : si les matières premières deviennent plutôt rares sur le marché mondial, des mesures doivent être prises dans le domaine de la sécurité d'approvisionnement. Le niveau des prix internationaux et donc la compétitivité de l'agriculture suisse sont plus élevés que dans le scénario 1 (OFAG 2010).

Scénario 3 : Instabilité permanente : En cas d'instabilité permanente des marchés internationaux due à des crises et des catastrophes, les mesures en matière de sécurité d'approvisionnement doivent être encore renforcées par rapport au scénario 2. La dépendance aux importations doit être réduite par des pénuries et des augmentations de prix des matières premières, des moyens de production et des ressources. La protection des frontières serait réduite afin de ne pas peser sur les prix à la consommation. Les ressources financières disponibles dans les domaines des ressources naturelles, du paysage et de la protection des animaux seraient moindres (OFAG 2010).

7.4 Développement du secteur de la production biologique

Le secteur biologique représente une part importante du marché suisse des produits agricoles. L'agriculture biologique certifiée était pratiquée dans 160 pays sur une superficie de 37 millions d'hectares en 2010. Les pays leaders en matière d'agriculture biologique sont l'Australie (12 millions d'hectares, 2009), l'Argentine (4,2 millions d'hectares, 2009) et les États-Unis (19 millions d'hectares, 2008) (FiBL et IFOAM 2012). En Suisse, environ 11,6 % (121'788 ha) des terres agricoles sont gérées de manière biologique (OFS 2012). 11,3 % de toutes les exploitations agricoles de Suisse sont biologiques (BioSuisse 2013). Avec une consommation par habitant d'environ 230 francs, la population suisse est l'un des principaux consommateurs de produits issus de l'agriculture biologique dans le monde (FiBL et IFOAM 2012, BioSuisse 2013). Toujours en 2012, une croissance de 5,3 % et un chiffre d'affaires total de 1,8 milliard CHF ont été enregistrés dans le commerce de détail suisse. Aujourd'hui encore, la demande de produits biologiques issus des grandes cultures ne peut plus être satisfaite par la production nationale (OFAG 2012). La part de la production biologique dans les surfaces agricoles suisses ne cesse d'augmenter et a atteint environ 12 % en 2012 (OFAG 2013).

7.5 Conclusion pour la sélection végétale

La nécessité d'accroître la production sur des terres agricoles qui n'augmentent que marginalement exige une augmentation durable de la production au niveau mondial (The Royal Society 2009, Nature 2010, Noleppa et von Witzke 2013). La sélection végétale jouera un rôle fondamental à cet égard. Les exigences à l'égard de l'agriculture suisse sont également élevées : outre une production efficace et écologique de produits de haute qualité, la sécurité d'approvisionnement est également au centre des préoccupations. Les importations de denrées alimentaires, d'engrais et d'aliments pour animaux sont soumises à des fluctuations de prix en fonction de l'évolution de l'économie mondiale. Les prix des denrées alimentaires, en particulier, risquent de devenir plus chers (Nelson, Rosegrant et al. 2010). Selon le scénario, il est intéressant de réduire la dépendance et la quantité de ces biens importés (OFAG 2010). Les variétés efficaces sur le plan nutritionnel peuvent également y contribuer. Du côté des exportations, la consommation croissante de produits laitiers et de viande est susceptible d'intéresser la Suisse (Alexandratos et Bruinsma 2012).

8 Consommation et pouvoir d'achat

Les deux facteurs les plus importants qui influencent la consommation sont la taille de la population et le revenu des consommateurs. En raison de la croissance démographique, la consommation totale par habitant et la consommation de viande (demande +1,1 % par an) devraient augmenter dans la première moitié du XXI^e siècle (Alexandratos et Bruinsma 2012). L'augmentation de la consommation de céréales, de tubercules, de sucre, d'huiles végétales, de viande et de lait, qui peut atteindre 20 kg par personne et par an, est davantage le fait des pays en développement que des pays industrialisés (Alexandratos et Bruinsma 2012).

Malgré la baisse du taux de croissance démographique, la population résidente suisse passera elle aussi de 7,8 à 8,6 millions de personnes aujourd'hui (OFS). Conformément à la tendance mondiale prévue, l'économie suisse connaîtra également une croissance jusqu'en 2025 au moins (OFAG 2012). Toutefois, à mesure que le pouvoir d'achat augmente, la part consacrée à l'alimentation diminue. À l'avenir, les consommateurs accorderont une plus grande importance à une alimentation variée et de qualité.

8.1 L'évolution du pouvoir d'achat en Suisse

Le pouvoir d'achat indique quels services peuvent être utilisés ou quels biens peuvent être achetés avec un revenu donné (ICONOMIX 2013). Selon une comparaison internationale des salaires, les salaires bruts ont augmenté dans le monde entier depuis 2009. Pas moins de deux villes suisses (Zurich et Genève) occupent les deux premières places, suivies par le Luxembourg, ce qui reflète le niveau élevé des salaires en Suisse (UBS 2012). Malgré les salaires élevés, la comparaison européenne du pouvoir d'achat ne montre qu'un positionnement à la sixième place en raison du niveau de prix simultanément élevé des biens de consommation (+15 % à 50 %) (Schöchli 2012). Malgré la hausse des prix des services et des produits, le pouvoir d'achat de la population suisse n'a cessé d'augmenter au cours des 100 dernières années. Si la part des dépenses des ménages consacrée à l'alimentation était encore de 38,8 % en 1921, elle n'est plus que de 6,8 % aujourd'hui (ICONOMIX 2013).

Pour l'avenir, les prévisions indiquent une nouvelle augmentation du pouvoir d'achat en Suisse. Si l'on considère les trois scénarios futurs envisagés et discutés par l'OFAG (« pénurie gérable », « instabilité permanente » et « croissance continue », voir chapitre 6), le pouvoir d'achat des consommateurs en Suisse ne devrait pas non plus diminuer à l'avenir (OFAG 2012). Elle continuera à augmenter (scénarios 1 et 2) ou à stagner (scénario 3).

8.2 Comportement des consommateurs

Des études sur la consommation de la population suisse ont montré que la quantité totale de nourriture consommée a peu changé au cours des 30 dernières années. Cependant, si l'on considère les groupes d'aliments individuels et la consommation moyenne par habitant et par an, des changements dans le comportement de consommation ont certainement eu lieu (Fig. 18).

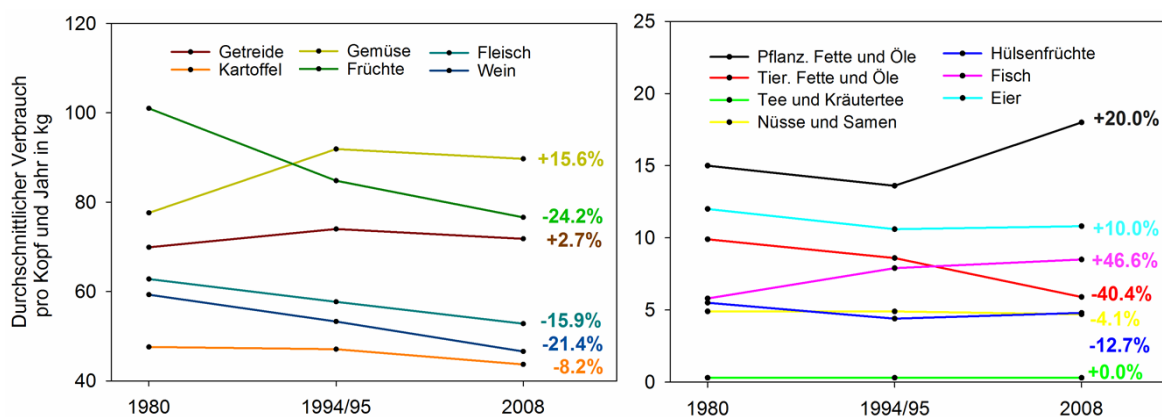


Figure 18 : Évolution de la consommation moyenne des différents groupes d'aliments entre 1980 et 2008 en Suisse. Chiffres en kg par habitant et par an, y compris l'évolution en pourcentage. (Source des données : OFSP (2012)).

Les céréales, en tant qu'aliment de base, continuent de jouer un rôle important en tant que base nutritionnelle, avec une consommation constante, et constituent même le groupe alimentaire le plus important en termes d'énergie alimentaire utilisable, devant les légumes (SBV 2012). La consommation de légumes a augmenté au cours des 30 dernières années (+15,6 %). En particulier, la consommation de champignons (+30,0 %), de légumes en conserve importés (+30,7 %), de légumes-fruits (+26,5 %), de légumes-tiges et de légumes-feuilles, de salades (+20,7 %), d'oignons (18,2 %) et de choux (13,5 %) a augmenté de manière significative à ce jour, tandis que la consommation de légumes-racines et de tubercules a diminué de 23,5 %. La réduction de la consommation de fruits concerne principalement les fruits cultivés localement tels que les pommes (-45,5 %), les poires (-51,5 %) et les cerises (-87,0 %). En revanche, la consommation de fruits produits à l'étranger, tels que les bananes (+5,7 %) et les ananas (+57,1 %), a augmenté (BAG 2012). L'augmentation de la consommation d'huiles et de graisses est principalement due à une consommation accrue d'huiles et de graisses d'origine végétale, tandis que la consommation de graisses animales a régulièrement diminué. Les raisons de cette tendance peuvent être, d'une part, les avantages pour la santé des acides gras insaturés végétaux dans l'alimentation humaine (voir l'étude de cas du colza au chapitre 1). D'autre part, les graisses végétales constituent une alternative moins coûteuse et de même qualité dans le domaine de la production alimentaire industrielle (par exemple, le goût, la durée de conservation, la diversité des applications, le point de fusion, etc.)

8.3 Production et autosuffisance alimentaires

Le degré d'autosuffisance en Suisse se situe entre 50 et 60 % (OFAG 2012). Selon diverses initiatives politiques actuelles, il existe une volonté de l'augmenter encore davantage. Le degré d'autosuffisance dépend beaucoup du produit en question. Alors que la production nationale de fromage et de lait permet l'approvisionnement de tout le pays et même des exportations supplémentaires, la demande en légumes, fruits, œufs, huile et autres denrées alimentaires et matières premières ne peut être satisfaite. La Suisse est presque entièrement dépendante des marchés étrangers pour son approvisionnement en poisson, mais peut couvrir elle-même 94 % de ses besoins en viande (2010). Bien que la Suisse ait une forte production nationale d'aliments pour animaux, la dépendance à l'égard des céréales fourragères et des légumineuses continuera d'augmenter à l'avenir (SBV 2012).

Bien qu'il y ait eu une augmentation de la consommation (équivalents énergétiques) de presque tous les groupes d'aliments végétaux entre 2000 et 2010, cet effet ne s'est pas reflété dans la production nationale, ce qui a entraîné une diminution de leur part (SBV 2012). La part du groupe alimentaire dans la consommation totale (équivalents énergétiques) est exprimée en pourcentage. La production intérieure (équivalents énergétiques) de céréales a diminué de 1 %. Celle des graisses et huiles végétales n'a pas évolué. Par rapport à 2000, 26 % des équivalents énergétiques des fruits consommés aujourd'hui ne sont pas d'origine nationale (SBV 2012). En comparaison, la production nationale (équivalents énergétiques) des aliments d'origine animale consommés a augmenté de 3 % en moyenne entre 2000 et 2010. La production intérieure de viande et de produits laitiers a augmenté respectivement de 3 % et 6 %, tandis que la production intérieure d'œufs, de poissons et de fruits de mer est restée inchangée. La plus forte baisse a été enregistrée dans la production nationale de graisses animales (-51 %, 2000-2010) (SBV 2012).

8.4 Ce qui est important pour le consommateur suisse

Les idées des critères du consommateur concernant son alimentation sont probablement aussi diverses que les consommateurs eux-mêmes. Outre l'origine, la condition financière, l'éducation et l'âge, l'appréciation personnelle ou la valeur ajoutée de chaque individu jouent également un rôle dans l'évaluation de la consommation de denrées alimentaires (SBV 2012). Les trois critères les plus importants lors de l'achat de produits alimentaires sont le prix, l'origine et la qualité, qui sont pondérés différemment selon le produit (SBV 2012). En outre, un aspect essentiel lors de l'achat de denrées alimentaires est la durée de conservation du produit. Le goût joue également un rôle non négligeable dans le choix du produit et il n'est pas rare qu'il l'emporte sur l'aspect sanitaire (SGE 2012). Aujourd'hui, le goût est de nouveau pris en compte dans la sélection afin de répondre aux exigences des clients, par exemple dans le cas des tomates¹⁷⁵.

8.4.1 Confiance et prix

Si l'on considère le sentiment des consommateurs en Allemagne, en Autriche et en Suisse en général, il se situe à un niveau relativement élevé et supérieur à la moyenne européenne, malgré la faiblesse de l'économie, le ralentissement des performances de production en Asie ou encore la crise de la dette en Europe. Si les trois pays affichent une confiance croissante des consommateurs, c'est le consommateur suisse en particulier qui montre la plus grande confiance dans les produits qui y sont fabriqués et consommés (The Nielson Company 2010, The Nielson Company 2011).

Le prix des denrées alimentaires est un facteur important dans le budget des ménages. Si les inquiétudes concernant les crises économiques s'estompent, celles liées à la hausse des prix des denrées alimentaires, des carburants et même des services publics (électricité, gaz, etc.) sont en augmentation dans le monde entier, notamment en Asie et dans le Pacifique (The Nielson Company 2011). Des études ont montré que le consommateur d'aujourd'hui est de plus en plus critique vis-à-vis de l'approvisionnement alimentaire et des prix des produits. Les réductions de prix ne contribuent pas nécessairement à la confiance ou à la satisfaction des consommateurs. D'une part, les réductions de prix malgré la hausse des prix de l'énergie et des matières premières au cours des dernières années suggèrent qu'en fin de compte, des aliments de moindre qualité sont produits et proposés. D'autre part, il est également supposé que des prix alimentaires plus élevés ne signifient pas nécessairement une valeur ajoutée pour le client, mais visent plutôt à étendre la marge bénéficiaire du producteur ou du détaillant (Hauser 2012). Le rapport prix/performance doit donc être approprié et compréhensible

¹⁷⁵ <http://online.wsj.com/article/SB10000872396390443507204578020282552652210.html> (Zugriff am 25.11.2013)

pour le consommateur. Ce n'est qu'alors qu'il est prêt à payer un prix correspondant pour un produit. Malgré les prix élevés à la production et à la consommation de +40 à 50 % par rapport aux autres pays européens, le consommateur est prêt à supporter ces coûts, à condition que la qualité soit élevée et réponde à ses souhaits (OFAG2012).

La consommation durable comprend également la commercialisation et l'utilisation de produits régionaux. Les ressources, par exemple le carburant, et les longs trajets de transport peuvent ainsi être économisés. Les produits suisses sont déjà très appréciés par les consommateurs locaux. Dans une enquête, plus de la moitié des personnes interrogées ont déclaré qu'elles seraient prêtes à payer un prix plus élevé pour des produits suisses ou d'autres produits de haute qualité. La plupart toléreraient une prime allant jusqu'à 20 % pour un produit correspondant (Abele et Imhof 2009).

8.4.2 Les consommateurs et la chaîne de valeur

Par leur consommation de biens de consommation, les consommateurs ont une influence directe sur la production alimentaire et les systèmes de production situés en Suisse et à l'étranger. Ceux-ci peuvent donc à leur tour être influencés et aussi modifiés durablement par les consommateurs par le biais de stratégies ou d'exigences ciblées (OFAG 2012).

Outre l'origine « régionale » et les conditions de culture « biologique » ou l'agriculture écologique, les consommateurs s'intéressent de plus en plus aux aspects globaux de la chaîne de valeur, par exemple les conditions de travail des employés sous le label « commerce équitable » (OFAG 2012, Hauser 2012). Par exemple, les ventes de produits équitables sous le label Max Havelaar sont passées de 84 millions de francs (2001) à 375 millions de francs (2012) (Fondation Max Havelaar 2001, Fondation Max Havelaar 2012). Cependant, la perception consciente de la chaîne de valeur par le consommateur dépend fortement du produit et de son degré de transformation. Par exemple, dans le cas des œufs, les consommateurs accordent une grande attention à l'origine, alors que cette sensibilité diminue fortement dans le cas des produits transformés (par exemple, les pâtes) (SBV2012).

8.4.3 Consommateurs et santé

Outre la conscience environnementale, la durabilité économique et sociale, la santé joue également un rôle important dans la consommation alimentaire. Ici, le consommateur n'est pas seulement confronté à la question de l'origine, de la production et de la composition d'une alimentation saine. Le mode de consommation doit également tenir compte d'une alimentation saine tout en étant facile à intégrer dans la routine quotidienne (Hauser 2012). La popularité des plats cuisinés industriels et frais, des produits légers ainsi que des aliments fonctionnels (« functional food », enrichi d'ingrédients supplémentaires) a fortement augmenté en Suisse et en Allemagne jusque dans les années 1990 (Hauser 2012). Toutefois, du moins en ce qui concerne les aliments prêts à consommer produits industriellement, la tendance depuis lors est que ces aliments deviennent de moins en moins une composante d'une culture alimentaire saine. Les « plats préparés », basés sur des matières premières fraîches et une production rapide, constituent un groupe de produits important, notamment pour la consommation rapide d'aliments, par exemple pour les déplacements. Les repas sains et « presque » frais doivent pouvoir être intégrés dans la routine quotidienne aussi efficacement que possible. Les tendances de consommation supposées par l'OFAG partent du principe que la consommation hors domicile et l'offre de produits convenience de toutes sortes vont augmenter ou au moins stagner (Hauser 2012).

8.5 L'avenir de la consommation alimentaire en Suisse

La grande prospérité financière de la population suisse, qui se poursuivra à l'avenir, se traduira non seulement par une augmentation de la consommation de calories et des besoins en denrées alimentaires, mais aussi par une hausse de la demande en aliments pour animaux et en matières premières végétales. La consommation élevée de viande et de produits laitiers par habitant continuera d'être assurée par l'utilisation de races à haut rendement, dont les besoins énergétiques doivent être satisfaits par des aliments de haute qualité, riches en protéines. À l'avenir, la sélection ainsi que la production végétale prendront davantage en considération les cultures alternatives, telles que le soja, afin de pouvoir couvrir de plus en plus les besoins nationaux en protéines et en aliments pour animaux par leur propre production. La consommation de céréales restera relativement constante à l'avenir. Les exigences de haute qualité et d'aptitude à l'utilisation dans l'industrie de transformation seront des exigences importantes que les sélectionneurs et les horticulteurs devront prendre en compte. Dans le secteur des légumes, une certaine variété sera attendue en plus d'une qualité élevée.

Pour faire face à l'augmentation de la population et maintenir le niveau d'autosuffisance, il faut développer des modes de production, mais aussi de consommation durables. Cela nécessite la participation active et consciente de la consommation de la population. Pour que le comportement de consommation change, il est important que le consommateur connaisse ou soit capable d'évaluer les impacts économiques, sociaux et écologiques de sa propre consommation. Ce n'est que si les consommateurs sont en mesure de comprendre la valeur ajoutée d'un produit qu'ils peuvent contribuer à son amélioration et qu'ils sont également disposés à supporter les coûts supplémentaires de leur propre initiative.

9 Modèles de coopération en matière de sélection

Les modèles de coopération dans le domaine de la sélection végétale, sous la forme d'une répartition mutualiste des tâches entre les acteurs publics et privés d'une part, et d'une répartition internationale des tâches d'autre part, contribuent de manière significative à garantir l'innovation, le progrès et le succès de la sélection à long terme. Ils sont donc des éléments centraux pour assurer la base nutritionnelle d'une population mondiale croissante. C'est pourquoi la section suivante décrit les types de modèles de coopération qui existent dans l'environnement international, le rôle des différents acteurs et la manière dont ils peuvent bénéficier de la coopération.

La forme organisationnelle des coopérations est très variée et va de projets entre entreprises du secteur privé (privé-privé) ou institutions de recherche (public-public) à des entités internationales complexes avec de nombreux participants issus d'entreprises de sélection, d'institutions de recherche et d'autres partenaires du projet, dont le « savoir-faire » est regroupé et utilisé de manière optimale. Les principaux objectifs des modèles de coopération sont la promotion de la recherche et de l'innovation dans le domaine de la sélection végétale, le transfert de technologie et de savoir-faire des sciences fondamentales vers la sélection appliquée, l'utilisation de synergies et la création de plateformes d'enseignement et de connaissances (Fig. 19). On constate que ce sont principalement les petites et moyennes entreprises qui peuvent renforcer leur compétitivité vis-à-vis des principaux acteurs du marché grâce à des coopérations appropriées.

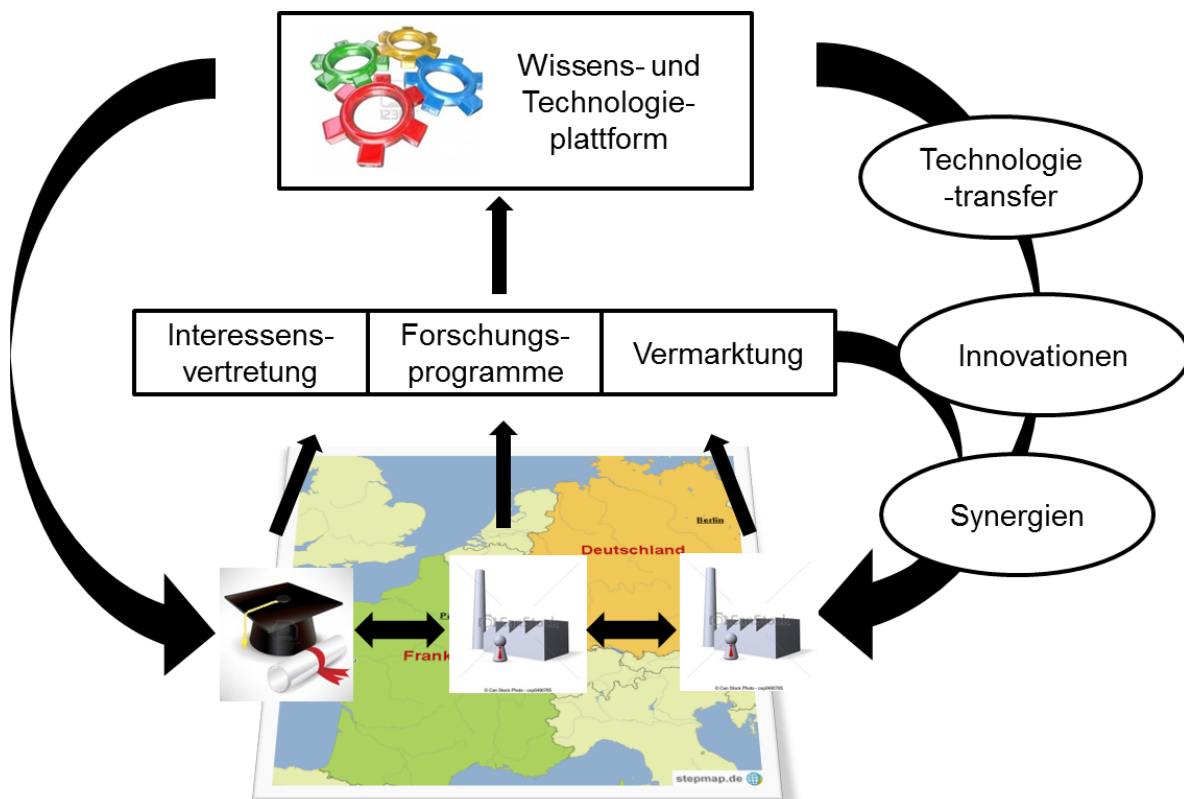


Figure 19 : Représentation schématique de la forme et du contenu des modèles de coopération réussis dans le domaine de la sélection végétale.

9.1 Programmes de recherche

La forme la plus fondamentale de coopération est probablement l'association d'institutions publiques et privées pour promouvoir la recherche dans le domaine de la sélection végétale. Cette forme de coopération est née de la commercialisation croissante de l'agriculture et de la privatisation de la recherche dans ce domaine. Aujourd'hui, il constitue un modèle important de financement partiel de la recherche publique, du transfert de technologie et du développement de méthodes. Elle se déroule au niveau national et international (van Elsen, Ayerdi Gotor et al. 2013).

En Allemagne, la recherche publique-privée en matière de sélection est concentrée dans les initiatives « AGSB » et maintenant dans les projets « PLANT 2030 ». En France, le programme « GENOPLANTE » a été la principale interface entre la recherche fondamentale gouvernementale, la biotechnologie et la sélection privée au cours des dix dernières années¹⁷⁶. Il y a également eu des projets communs « AGSB » – « GENOPLANTE ». Le nom « GENOPLANTE » est remplacé par la plateforme « GIS BV »¹⁷⁷. AMAIZING » et « BREEDWHEAT » font partie des projets GIS. Il s'agit de projets publics-privés qui réunissent respectivement 24 et 26 partenaires issus de plusieurs stations de recherche publiques, d'entreprises privées et de certains instituts techniques¹⁷⁸. Dans le cadre du projet public-privé 'FSOV', des institutions telles que CETAC (Caussade Semences, Ets Lemaire Deffontaines, Sarl Adrien Momont et fils, Saaten Union Recherche, Secobra Recherches) et INBA coopèrent pour la stabilité des performances du blé hybride¹⁷⁹.

9.2 Plateformes d'innovation et de technologie

L'initiative de financement « PLANT-KBBE » « Food and Feed : Crop Yields and Food Safety in the Context of Climate Change » vise à lancer d'autres projets de recherche transnationaux entre l'Allemagne, la France, le Portugal et l'Espagne. En outre, les collaborations existantes entre l'industrie et la science doivent être approfondies et développées (MFER 2012). Le consortium « RNAguard » en est un exemple. Il est composé de l'IPK Gatersleben, de l'Université Martin Luther Halle-Wittenberg, de KWS Saat AG, de l'INRA Rennes/Ploudaniel, de l'INRA, de Bayer CropScience et de l'Université de Cordoue. L'innovation « silencieux génétique induit par l'hôte », brevetée par l'IPK de Gatersleben et Bayer CropScience, explore de nouveaux moyens de défense des plantes contre divers champignons et oomycètes. Le projet est principalement financé par PLANT-KBBE (WheatInitiative 2012).

En outre, le Conseil de la bioéconomie en Allemagne, par exemple, a suggéré la création de plateformes technologiques pour la recherche sur le génome, le phénotypage et l'intégration de données hautement dimensionnelles, ainsi que la formation de centres de compétences (BioÖkonomieRat 2010).

La coopération entre la sélection animale et végétale est également possible : « Synbreed » est un pôle d'innovation qui développe les connaissances en génétique et les nouvelles technologies dans le

¹⁷⁶ <http://www.genoplante.com/> (consulté le 11/1/2013).

¹⁷⁷ <http://gisbiotechnologiesvertes.com/en/> (consulté le 12/3/2013).

¹⁷⁸ <http://breedwheat.fr/> et <http://amaizing.fr/> (consulté le 12/3/2013).

¹⁷⁹ <http://www.fsov.org/utilisation-selection-bles-synthetiques.html> (consulté le 11/1/2013).

domaine de la sélection animale et végétale. Le réseau a été lancé par le MFER^{180 181} et est dirigé par l'Université technique de Munich.

9.3 Transfert de connaissances et de technologies

Le transfert de connaissances et de technologies inter et transdisciplinaires entre les différents partenaires de la coopération est aussi important que la recherche et le développement technologique eux-mêmes. Il s'agit d'une contribution importante pour garantir que les connaissances acquises soient intégrées dans des applications pratiques et que de nouveaux progrès soient réalisés. Le gouvernement britannique investit environ 60 millions de livres dans une plateforme destinée à soutenir l'innovation pratique et les projets d'essaimage (HM Government UK 2013). L'objectif est que la recherche de haute qualité débouche sur des applications pratiques et des avantages économiques. L'objectif est de combler le fossé entre l'industrie et la recherche et de promouvoir la collaboration (The Plant Innovation 2009, HM Government UK 2013). Des efforts sont également en cours en Allemagne à cet égard. Des projets étudiant l'impact de différentes innovations en matière de sélection végétale dans différents systèmes de culture sont soutenus, par exemple, par l'initiative de financement SVI¹⁸². Une autre approche est adoptée par l'université d'État du Michigan, qui mène un programme de sélection de haricots depuis 1980. En exploitant la technologie dans la sélection, comme dans le cadre du « projet BeanCAP¹⁸³ », il a été calculé que l'investissement génère un bénéfice de 0,7 à 2,2 fois supérieur (Maredia, Bernstein et al. 2010).

9.4 Utilisation des synergies par la coopération

9.4.1 *Exploitation des synergies par l'échange de matériel de reproduction*

La coopération des entreprises privées avec les universités et autres institutions publiques comprend également la collecte, la description, l'échange et la conservation des ressources génétiques pour la sélection^{184 185}. La coopération scandinave « Nordic Genetic Resource Center » (NordGen) en est un exemple impressionnant. En 2010, après une analyse de leur sélection végétale, les pays scandinaves ont identifié une prise en compte insuffisante de la pré-sélection (Nilsson et von Bothmer). Comme en Suisse, il n'existait à l'époque en Scandinavie aucun programme de recherche public-privé pour soutenir la sélection. Au sein du consortium NordGen, une vaste coopération public-privé (4 universités, 9 entreprises, ministères de l'agriculture scandinaves) vise désormais à soutenir le développement de matériel végétal adapté aux climats nordiques (Rasmussen). Dans une première phase (2011-2013), des projets ont été lancés pour l'orge, la pomme et le ray-grass. Un montant de 1,28 million de francs suisses (8 millions de couronnes danoises financées à 50 % par des fonds privés) est disponible à cette fin. Une plateforme pour la sélection des fruits et des petits fruits sera établie. Dans un premier temps, les maladies du pommier seront étudiées au moyen de méthodes phéno- et génotypiques.

Les évaluations sont en cours d'examen. En ce qui concerne l'orge, l'accent est mis sur l'amélioration de la résistance aux maladies et le développement de marqueurs moléculaires. Pour le ray-grass, l'objectif est d'étendre la diversité génétique dans les programmes de sélection existants. À cette fin,

¹⁸⁰ <http://www.synbreed.tum.de/> (consulté le 11/1/2013).

¹⁸¹ <http://www.synbreed.tum.de/> (consulté le 11/1/2013).

¹⁸² <http://www.bmbf.de/foerderungen/20210.php> (consulté le 10/10/2013).

¹⁸³ <http://www.beancap.org/> (consulté le 4 décembre 2013).

¹⁸⁴ <http://www.cropscience.bayer.com/en/Magazine/Creating-Tomorrows-Commitment/Creating-Tomorrows-Wheat-Part-2.aspx> (consulté le 29/10/2013).

¹⁸⁵ <http://www.monsanto.com/products/Pages/wheat.aspx> (consulté le 29/10/2013).

le matériel de sélection et diverses accessions des banques de gènes sont phénotypés, associés à des marqueurs génétiques et échangés entre les partenaires de la coopération (Rasmussen 2013).

9.4.2 Exploiter les synergies grâce à des laboratoires de biotechnologie communs

En confiant le développement et l'application de marqueurs moléculaires et d'autres processus biotechnologiques à des entreprises spécialisées, il est souvent possible d'exploiter les synergies directes entre les partenaires de coopération. Les activités telles que l'identification des QTL et des gènes¹⁸⁶, la production de doubles haploïdes¹⁸⁷ ou la création de croisements¹⁸⁸ peuvent être externalisées sous forme de contrats de service à des entreprises spécialisées, qui sont souvent affiliées à des entreprises de sélection. Les paragraphes suivants présentent quelques exemples d'utilisation des synergies directes dans la sélection végétale :

La société Saaten Union GmbH a été fondée en 1984 par sept entreprises allemandes de taille moyenne spécialisées dans la sélection végétale afin d'exploiter un laboratoire commun de résistance. En 2009, elle a été rebaptisée Saaten Union Biotec GmbH et propose aujourd'hui des services de génétique moléculaire et de culture tissulaire. Saaten Union GmbH distribue les variétés de ses actionnaires et, selon ses propres informations, offre une gamme complète¹⁸⁹.

La société israélienne Evogene collabore avec Bayer CropScience pour identifier les régions génétiques qui réagissent au stress extérieur. L'Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) est responsable¹⁹⁰ de l'efficacité de l'azote et du phosphore chez Bayer CropScience.

Des entreprises néerlandaises de sélection végétale, dont Enza Zaden et Rijk Zwaan, ont fondé Keygene en 1989 pour mener des activités de génétique moléculaire¹⁹¹.

9.4.3 Utilisation des synergies par le biais d'un marketing conjoint

Les coopérations pour la commercialisation commune des variétés sont le plus souvent internationales et impliquent souvent la Suisse. En Suisse, par exemple, Varicom commercialise les variétés de pommes, poires et abricots d'Agroscope dans le cadre d'un accord avec l'OFAG. La commercialisation internationale est assurée par des partenaires de coopération allemands (Artevos), français (Mondial Fruit Selection) et italiens (Konsortium Südtiroler Baumschulen¹⁹²).

En Allemagne, Rapool a été fondé en 1974 comme une communauté de sélectionneurs de plantes de taille moyenne NPZ, Deutsche Saatveredelung AG (DSV) et Gebrüder Dippe (à partir de 1978 avec

¹⁸⁶ <http://www.keygene.com/products-tech/> (consulté le 29/10/2013).

¹⁸⁷ <http://www.saaten-union.de/index.cfm/nav/496/article/952.html> (consulté le 29/10/2013).

¹⁸⁸ <http://europlant.biz/kompetenz/> (consulté le 29/10/2013).

¹⁸⁹ <http://www.saaten-union.de/index.cfm/action/wueu/nav/46.html> (consulté le 11/1/2013).

¹⁹⁰ <http://www.cropscience.bayer.com/en/Magazine/Creating-Tomorrows-Commitment/Creating-Tomorrows-Wheat-Part-2.aspx> (consulté le 29/10/2013).

¹⁹¹ <http://www.keygene.com/about-us/> (consulté le 11/1/2013).

¹⁹² <http://www.varicom.ch/cms/index.php?kat=24> (consulté le 13/12/2013).

W. von Borries-Eckendorf GmbH & Co. KG). L'objectif est le développement et la commercialisation conjointe de variétés de colza hybride dans tous les segments de qualité du marché¹⁹³.

Les systèmes de clubs et les communautés d'intérêt dans la culture et la vente de pommes d'aujourd'hui sont utilisés pour commercialiser certaines variétés au moyen de marques et d'une stratégie exclusive. Chaque étape de la chaîne de valeur, de la sélection à la vente, est réglementée par le club des variétés. La marque et la variété sont protégées par des contrats de production et des accords de licence. Cette protection permet de financer et de maintenir les programmes de sélection¹⁹⁴. Les producteurs et les négociants ont fondé la société Inova Fruit en Hollande avec le soutien du gouvernement. Dans un premier temps, cette entreprise a analysé les préférences des consommateurs, dans un deuxième temps, elle a testé des variétés appropriées et dans un troisième temps, elle a sélectionné quatre variétés qui sont cultivées de manière cohérente via le système de club (Helfenstein 2005). Le système des clubs est un modèle de coopération relativement nouveau, qui vise à permettre une production de pommes à long terme, économique et à des prix raisonnables, grâce au contrôle des quantités et à l'assurance de la qualité.

9.5 Plateformes de connaissances et d'éducation

Afin de former des plateformes d'intérêt et de connaissances, les entreprises de sélection végétale en Allemagne se sont regroupées pour former d'autres associations dans l'environnement du AFSPA. L'Association pour la promotion de la sélection végétale privée allemande (Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e. V.). (APSV) assume une fonction clé dans la sélection végétale allemande : il est responsable de l'organisation et de la coordination des projets de recherche nationaux et européens dans le domaine précompétitif. Elle représente également les intérêts des obtenteurs au niveau national et européen (APSV 2011). La Société pour la protection des plantes (Gesellschaft für Pflanzenzüchtung e.V.) (SAP) est une société professionnelle scientifique qui compte plus de 800 membres. Tous les deux ans, un congrès scientifique sur les thèmes actuels de la sélection végétale est organisé. Entre-temps, des conférences et des ateliers sont organisés pour aborder des questions spécifiques dans des domaines tels que la biométrie, l'analyse du génome, la sélection de la résistance ou l'histoire de la sélection végétale¹⁹⁵.

9.6 La sélection participative

La sélection végétale participative est une forme particulière de coopération entre les partenaires locaux tout au long de la chaîne de valeur des produits agricoles. La sélection participative intègre les besoins locaux en matière de production végétale et les aspects sociaux, notamment dans les régions marginales ou les pays en développement. La prise en compte des besoins des cultures et de la société joue un rôle particulier, notamment dans la gestion des petites unités agricoles (Murphy, Lammer et al. 2005). Cette approche de la coopération devrait contribuer à renforcer la viabilité économique des agriculteurs et des régions grâce à l'utilisation de variétés adaptées localement et à la diversité génétique (Desclaux 2005, Wolfe, Baresel et al. 2008). Les variétés conventionnelles ne sont souvent pas adaptées à la culture en agriculture biologique, mais aussi en agriculture conventionnelle extensive, car les mesures de gestion des cultures nécessaires, telles que la fertilisation et la protection des plantes, ne peuvent pas être utilisées (Murphy, Campbell et al. 2007). En combinant le « savoir-faire » en matière de sélection des installations de calibrage publiques et

¹⁹³ <http://www.rapool.de/> (consulté le 11/1/2013).

¹⁹⁴ <http://www.lid.ch/de/medien/mediendienst/artikel/infoartikel/11559/> (consulté le 12/12/2013).

¹⁹⁵ <http://gpz-online.de/home/portrait/> (consulté le 11/1/2013).

privées avec celui des agriculteurs et des autres acteurs de la chaîne de valeur, l'objectif est de répondre aux exigences de toutes les parties prenantes et des sites locaux. (Desclaux, Nolot et al. 2008, Wilbois 2011). Un exemple est la sélection participative du blé dur en France (INRA Montpellier), qui implique non seulement l'agriculteur et le consommateur, mais aussi d'autres organes de la chaîne de commercialisation (Desclaux, Ceccarelli et al. 2012) et le projet de sélection de pommes de terre pour la résistance au phytophthora aux Pays-Bas (communication personnelle Monika Messmer, FiBL).

9.7 Formation en sélection végétale

Afin de pouvoir poursuivre à l'avenir la sélection professionnelle pour une production végétale orientée vers l'avenir et durable, une formation ciblée dans le domaine de la sélection végétale est indispensable. Des spécialistes bien formés sont l'une des pierres angulaires d'une production végétale compétitive au niveau mondial. Néanmoins, il y a déjà une pénurie croissante de sélectionneurs de plantes conventionnels qui travaillent avec des agronomes et des biologistes pour développer des avancées en matière de sélection (CFP 2011, Singh, Prasad et al. 2013). Il est important que la formation soit adaptée aux exigences de la sélection végétale moderne (The Royal Society 2009, BioEconomy Council 2010, Tester et Langridge 2010).

9.8 Du modèle de coopération au centre de compétences intégré

Des modèles de coopération appropriés permettent de combiner les forces nationales et internationales, ainsi que les forces publiques et privées, afin de rendre la sélection végétale encore plus efficace et efficiente. Toutefois, il reste à voir si l'avenir de la sélection végétale, qui sera de plus en plus façonné par le progrès technologique, n'exigera pas des approches plus souples et plus globales. Des approches qui intègrent la recherche, le développement et l'application des technologies, la sélection végétale pratique et la formation dans des centres de compétences. Jusqu'à présent, les exemples de réussite de ces « centres » proviennent essentiellement des États-Unis¹⁹⁶¹⁹⁷. L'exemple le plus récent est toutefois le centre de compétence « Crop Innovation Denmark – from Genes to Seeds (CID) » du Danemark, dont l'environnement de la sélection végétale est tout à fait comparable à celui de la Suisse. Ces centres offrent une plateforme idéale pour initier et mettre en œuvre avec succès des approches inter et transdisciplinaires dans le domaine de la sélection végétale. En outre, il est possible de réagir plus rapidement et plus efficacement aux facteurs d'influence exogènes (nouvelles espèces cultivées, nouveaux objectifs de sélection, nouvelles méthodes et technologies). La masse critique d'experts multidisciplinaires dans ces centres est une condition préalable à l'échange de connaissances et à la formation, afin que les générations futures bien formées puissent relever les défis de la sélection végétale.

¹⁹⁶ <http://www.plantbreedingcenter.ncsu.edu/index.html>

¹⁹⁷ <http://plantbreeding.illinois.edu>

10 Synthèse

Les surfaces cultivées des principales cultures suisses stagnent ; la culture des plantes fourragères, et en particulier des systèmes herbagers, gagne en importance. Parmi les principales cultures, le blé occupe une place prépondérante – principalement en raison de la haute qualité boulangère du blé panifiable développée dans les programmes de sélection suisses. L'extraordinaire importance de la qualité du produit – par opposition au rendement – peut être illustrée par l'exemple du colza oléagineux qui, grâce à des efforts ciblés en matière de sélection, est passé en peu de temps d'une culture de moindre importance à l'une des plus importantes d'Europe centrale. La culture des légumes, des fruits, des légumineuses, du vin et des cultures spéciales génère en Suisse une valeur ajoutée élevée par rapport aux cultures principales. L'exemple du soja montre que des programmes de sélection suisses tournés vers l'avenir ont réussi à modifier la qualité des plantes de telle sorte qu'il a été possible de constituer une gamme de variétés intéressante au niveau européen. Des développements similaires sont envisageables en Suisse pour un grand nombre d'autres cultures qui ne sont pas non plus cultivées à grande échelle. Dans le contexte d'une sensibilisation croissante des clients à la qualité, dans le contexte de la demande de denrées alimentaires et d'aliments de luxe produits localement et de manière respectueuse de l'environnement, ce sont des conditions favorables à une promotion accrue des efforts nationaux de sélection.

Les progrès réalisés dans des domaines technologiques très différents – des techniques de culture à la transformation des aliments – entraînent un changement dynamique des objectifs de la sélection. Dans les décennies à venir, il faudra avant tout générer des systèmes de production végétale plus efficaces. En d'autres termes, il est nécessaire de produire des cultures qui peuvent atteindre des rendements élevés et relativement sûrs avec des quantités moindres d'engrais, d'herbicides et d'irrigation. La Suisse pourrait relever ce défi dans une mesure toute particulière, car elle est de toute façon tenue de poursuivre le développement de l'éventail des variétés cultivées au niveau national en raison des modifications des conditions de culture auxquelles il faut s'attendre dans le cadre du changement climatique mondial. À l'avenir, le niveau absolu du rendement sera moins important dans les programmes de sélection que la certitude d'obtenir un rendement relativement élevé dans des situations climatiques extrêmes – en particulier la chaleur et la sécheresse. Une gestion plus efficace des nutriments et de l'eau deviendra donc un complexe important d'objectifs dans les programmes de sélection des plantes. Bien entendu, la résistance aux maladies et aux parasites continuera également à jouer un rôle important, d'autant plus que le spectre des parasites et des pathogènes changera également avec l'évolution du climat.

Les pays européens voisins sont également confrontés à ces défis, notamment dans le domaine de la sélection du blé et du maïs. Au cours des prochaines décennies, il sera également important pour la Suisse d'être proactive dans le développement de ces cultures et/ou d'autres cultures et de répondre au besoin des agriculteurs d'avoir un revenu fiable et, également, au besoin des clients d'avoir des aliments de haute qualité produits selon des normes élevées. Il est alors possible d'ajouter de la valeur non seulement en cultivant les plantes dans son propre pays, mais aussi, dans une large mesure, en vendant les semences et en transférant les connaissances sur la production de ces semences à l'étranger. Comme la production animale continuera à jouer un rôle important dans l'agriculture suisse à l'avenir, les systèmes de plantes fourragères, en particulier, revêtent ici une importance considérable.

Le financement public de la sélection végétale stagne dans le monde entier, tandis que les investissements dans la sélection privée augmentent. Il y a donc un risque que seules soient cultivées les plantes qui apportent le retour sur investissement nécessaire sur le marché, ce qui réduirait l'éventail des plantes cultivées. L'État peut intervenir directement ici en finançant des programmes de

sélection pour les cultures qui ne peuvent pas être sélectionnées de manière rentable. Les investissements publics dans la sélection de cultures de niche peuvent donner de bons résultats ; toutefois, il est essentiel de gérer ces programmes sur le long terme pour assurer la continuité.

Dans les pays voisins, la sélection est soutenue principalement de manière indirecte par des financements et des programmes de recherche. Des exemples sont donnés dans le texte pour les programmes de financement en Allemagne, en France et au niveau européen (PLANT 2030, Wheat Initiative, BREEDWHEAT, etc.). Ces grands programmes visent souvent à développer des technologies innovantes et coûteuses pour l'amélioration des plantes. Les principaux bénéficiaires de ces programmes sont les petites et moyennes entreprises de sélection, qui ont ainsi accès à ces technologies. L'utilisation des technologies de pointe et des méthodes moléculaires dans l'amélioration des plantes a considérablement augmenté, et il faut s'attendre à ce que le développement technologique joue un rôle clé dans le développement futur de l'amélioration des plantes.

Des modèles de coopération appropriés permettent de combiner les forces nationales et internationales, ainsi que les forces publiques et privées, afin de rendre la sélection végétale encore plus efficace et efficiente. Toutefois, il reste à voir si l'avenir de la sélection végétale, qui sera de plus en plus façonné par le progrès technologique, n'exigera pas des approches plus souples et plus globales. Des approches qui intègrent la recherche, le développement et l'application des technologies, la sélection végétale pratique et la formation dans des centres de compétences. Ces centres offrent une plateforme idéale pour lancer avec succès des programmes inter et transdisciplinaires de sélection végétale et mettre en œuvre le développement de nouvelles variétés. En outre, il est possible de réagir plus rapidement et plus efficacement aux facteurs d'influence exogènes (nouvelles espèces cultivées, nouveaux objectifs de sélection, nouvelles méthodes et technologies). La masse critique d'experts multidisciplinaires dans ces centres est une condition préalable à l'échange de connaissances et à la formation, afin que les générations futures bien formées puissent relever les défis de la sélection végétale.

11 Bibliographie

Abele, M. and S. Imhof (2009). Univox Landwirtschaft 2009. Schlussbericht einer repräsentativen persönlichen Bevölkerungsbefragung im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft. Zürich, Schweiz, gfs-Zürich und Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).

ACW (2012). Sojazüchtung bei Agroscope – Erfolge und Perspektiven. Medienmitteilung. Nyon, Schweiz, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW).

Agroscope (2004). IVENICA: Interactive European network for Industrial crops and their applications: Forming part of the INECA-INTERFORM project: Report from the state of Switzerland. Zurich, Switzerland, Agroscope

Agroscope (2012). Liste der empfohlenen Ackerbohnsensorten für die Ernte 2013, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

Agroscope (2012). Liste der empfohlenen Getreidesorten für die Ernte 2013. J. Hiltbrunner, M. Anders,

L. Levy Häner et al., Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

Agroscope (2013). Liste der empfohlenen Maissorten für die Ernte 2013. J. Hiltbrunner, U. Buchmann, A. Baux and M. Bertossa, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

Agroscope (2013). Liste der empfohlenen Sonnenblumensorten für die Ernte 2013. D. Pellet, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW).

Agroscope (2013). Liste der empfohlenen Sorten von Futterpflanzen 2013 – 2014. D. Suter, H.-U. Hirschi, R. Frick and M. Bertossa, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

Agroscope (2013). Liste der empfohlenen Winterrapssorten für die Ernte 2014. J. Hiltbrunner and D. Pellet, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

Agroscope (2013). Schweizerische Sortenliste für Kartoffeln 2013. T. Hebeisen, T. Ballmer, T. Musa, J.-M. Torche and R. Schwärzel, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

Akhtar, M. S., Y. Oki and T. Adachi (2008). "Genetic diversity of *Brassica* cultivars in relation to phosphorus uptake and utilization efficiency under P-stress environment." Archives of Agronomy and Soil Science **54**(1): 93-108.

Alexandratos, N. and J. Bruinsma (2012). World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization (FAO).

Alliance, O. S. (2013). State of organic seed report. Port Townsend, WA, USA, Organic Seed Alliance.

Alvarez-Jubete, L., E. K. Arendt and E. Gallagher (2010). "Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients." Trends in Food Science and Technology **21**(2): 106-113.

Angelard, C., A. Colard, H. Niculita-Hirzel, D. Croll and I. R. Sanders (2010). "Segregation in a mycorrhizal fungus alters rice growth and symbiosis-specific gene transcription." Current Biology **20**(13): 1216-1221.

Antoninka, A., P. B. Reich and N. C. Johnson (2011). "Seven years of carbon dioxide enrichment, nitrogen fertilization and plant diversity influence arbuscular mycorrhizal fungi in a grassland ecosystem." New Phytologist **192**(1): 200-214.

AWEL (2009). Phosphor im Klärschlamm – Informationen zur künftigen Rückgewinnung. Zürich, Schweiz, Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL).

BAFU (2009). Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung - Eine Bestandesaufnahme. Bern, Schweiz, Bundesamt für Umwelt (BAFU). **29/9**.

BAG (2012). Sechster Schweizerischer Ernährungsbericht. Bern, Schweiz, Bundesamt für Gesundheit (BAG).

Bank, T. W. (2008). World development report 2008: Agriculture for development. Washington DC, USA.

Baur, P. (2011). Sojaimporte Schweiz: Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion/Vermeidung von Sojaimporten in die Schweiz, Eine Untersuchung im Auftrag von Greenpeace. Frick, Schweiz, Agrofutura AG.

BDP (2013). Geschäftsbericht. Bonn, Deutschland, Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. (BDP).

Becker, H. (1993). Pflanzenzüchtung. Stuttgart, Deutschland, Verlag Eugen Ulmer.

Bengough, A. G., B. M. McKenzie, P. D. Hallett and T. A. Valentine (2011). "Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits." Journal of Experimental Botany **62**(1): 59-68.

BFS (2012). Statistik Schweiz. Bundesamt für Statistik (BFS). Neuchâtel, Schweiz.

BFS (2013). Taschenstatistik 2013 - Schweizer Landwirtschaft. Neuchâtel, Schweiz, Bundesamt für Statistik (BFS).

BioÖkonomieRat (2010). Berichte aus dem BioÖkonomieRat. Pflanzenforschung für eine nachhaltige Bioökonomie. Berlin, Deutschland, BioÖkonomieRat.

BioÖkonomieRat (2012). Weiterentwicklung des Förderinstrumentariums von öffentlicher und privater Forschung im Hinblick auf die Anforderungen der Bioökonomie. Empfehlungen des BioÖkonomieRats. Berlin, Deutschland, BioÖkonomieRat.

- BioÖkonomieRat (2013). Eckpunktepapier des Bioökonomierates: Auf dem Weg zur biobasierten Wirtschaft, (Politische und wissenschaftliche Schwerpunkte 2013–2016). Berlin, Deutschland, BioÖkonomieRat.
- BioSuisse (2013). Bio Suisse Jahrsmedienkonferenz (10. April) - Landwirtschafts- und Marktzahlen. Basel, Schweiz, Bio Suisse.
- BioSuisse (2013). Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Knospe-Produkten. Basel, Schweiz, Bio Suisse.
- BLW (2010). Land- und Ernährungswirtschaft 2025. Diskussionspapier des Bundesamtes für Landwirtschaft zur strategischen Ausrichtung der Agrarpolitik. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW (2011). Klimastrategie Landwirtschaft. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW (2012). Agrarbericht 2012. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW (2012). Forschungskonzept Land- und Ernährungswirtschaft 2013–2016. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW (2012). Marktbericht Ölsaaten - Mittlere und grosse Betriebe wachsen. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW (2012). Obstkulturen der Schweiz 2012. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW (2013). Agrarbericht 2013. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW (2013). Das Weinjahr 2012 - Weinwirtschaftliche Statistik. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BLW, ACW and ART (2008). Sorten, Saat- und Pflanzgut in der Schweiz. Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW), Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).
- BMBF (2010). Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Bonn, Berlin, Deutschland, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- BMBF (2012). Lebens- und Futtermittel: Nutzpflanzenerträge und Lebensmittelsicherheit im Kontext des Klimawandels. Bundesanzeiger. Bundesministerium der Justiz. Berlin, Deutschland, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- BMBF (2012). Programm zur Innovationsförderung. Bonn, Deutschland, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- BMELV (2011). Nachhaltiger Umgang mit der begrenzten Ressource Phosphor durch Recycling und Erhöhung der Phosphoreffizienz der Düngung. Berlin, Deutschland, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).

BMELV (2011). Züchtungsstrategie nachwachsende Rohstoffe. Berlin, Deutschland, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).

BMELV (2012). Eiweißpflanzenstrategie des BMELV. Berlin, Deutschland, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).

BMELV (2012). Stellungnahme Ernährungssicherung und nachhaltige Produktivitätssteigerung. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik. Berlin, Deutschland, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).

Bohne, B., O. Hensel and C. Brunc (2013). Reihenapplikation von Komposten zur Kontrolle bodenbürtiger Krankheiten - technische Lösungen für Kartoffeln und Körnerleguminosen. Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler et al. Berlin, Deutschland, Verlag Dr. Köster 68-71.

Bosshard, C., P. Sorensen, E. Frossard, D. Dubois, P. Mader, S. Nanzer and A. Oberson (2009). "Nitrogen use efficiency of N-15-labelled sheep manure and mineral fertiliser applied to microplots in long-term organic and conventional cropping systems." Nutrient Cycling in Agroecosystems **83**(3): 271-287.

Brabant, C. (2008). Schweizer Sommerweizen hält weiter weltweit Einzug. Nyon, Schweiz, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW).

Brauer, D. (2012). Das Gespür für praxisgerechte Sorten. Praxisnah - Fachinformationen für die Landwirtschaft, Getreidezüchtung: Ertragsfortschritt ungebrochen! **3/2012**.

Bravin, E., M. Leumann, R. Matter and S. Jaun-Pfander (2008). Die Dauerkulturen sind dauernd im Wandel. Schweizer Bauer Dossier. Bern, Schweiz. **26. April**.

Briner, S., C. Elkin, R. Huber and A. Gret-Regamey (2012). "Assessing the impacts of economic and climate changes on land-use in mountain regions: A spatial dynamic modeling approach." Agriculture Ecosystems and Environment **149**: 50-63.

Brunc, C., D. Werren, J. Bacanovic, J. Fuchs, J. Hess and M. R. Finckh (2013). Kontrolle bodenbürtiger Krankheiten des Fusskrankheitenkomplexes an Erbsen mit Komposten. Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler et al. Berlin, Deutschland, Verlag Dr. Köster 248-251.

Bruns, C., J. Heß, M. R. Finckh, O. Hensel and E. Schulte-Geldermann (2009). Komposteinsatz gegen *Rhizoctonia solani* im Ökologischen Kartoffelbau. Kartoffelbau. **3/2009**: 84-88.

Bryner, A. (2010). Urin als Rohstoff der Zukunft? Medienmitteilung. Dübendorf, Schweiz, Eawag.

Bundesrat (1997). Verordnung über die biologische Landwirtschaft und die Kennzeichnung biologisch produzierter Erzeugnisse und Lebensmittel (Bio-Verordnung, 910.18). Bern, Schweiz, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).

Calanca, P. and A. Holzkaemper (2010). "Agrometeorological conditions on the Swiss Plateau from 1864 to 2050." Agrarforschung Schweiz **1**(9): 320-325.

Carlen, C. (2013). Breeding and cultivation of medicinal plants. Conthey, Schweiz, Agroscope Changins- Wädenswil Research Station (ACW).

Carvalho, T. L. G., P. C. G. Ferreira and A. S. Hemerly (2012). Plant growth promoting rhizobacteria and root architecture. Root Genomics and Soil Interactions. M. Crespi. Oxford, UK, Wiley-Blackwell.

Ceballos, I., M. Ruiz, C. Fernandez, R. Pena, A. Rodriguez and I. R. Sanders (2013). "The *in vitro* mass-produced model mycorrhizal fungus, *Rhizophagus irregularis*, significantly increases yields of the globally important food security crop cassava." Plos One **8**(8).

CH2011 (2011). Swiss Climate Change Scenarios CH2011. T. Corti, A. M. Fischer, A. Kress and P. Pall. Zurich, Berne, Switzerland, C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, und OcCC, Zurich: 88.

Chen, F., H. H. Li and D. Q. Cui (2013). "Discovery, distribution and diversity of Puroindoline-D1 genes in bread wheat from five countries (*Triticum aestivum* L.)." Bmc Plant Biology **13**.

Chervet, A., L. Ramseier, W. G. Sturny, P. Weisskopf, U. Zihlmann, M. Müller and R. Schafflützel (2006). "Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug." Agrarforschung **13**(4): 162-169.

Chervet, A., R. Schwarz and W. G. Sturny (2008). Trotz Fusarien: Direktsaat zum nachhaltigen Bodenschutz. Fusarien-Tagung - Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART). Zürich, Schweiz.

Courtois, B., N. Ahmadi, F. Khowaja, A. H. Price, J.-F. Rami, J. Frouin, C. I. Hamelin and M. Ruiz (2009). "Rice root genetic architecture: Meta-analysis from a drought QTL database." Rice **2**(2-3): 115-128.

CPVO (2013). Statistics 2012, Meeting of the Administrative Council. Angers, France, Community Plant Variety Office (CPVO).

Cregan, P. B., Q. Song, D. L. Hyten, E.-Y. Hwang, R. L. Nelson and J. E. Specht (2012). A soybean haplotype map and the initial application of association analysis in soybean germplasm. Vision for a Sustainable Planet, ASA, CSSA and SSSA International Annual Meetings, Cincinnati, OH, USA.

CropLife (2012). Plant Biotechnology Pipeline. Brussels, Belgium, CropLife International.

Desclaux, D. (2005). Participatory plant breeding methods for organic cereals. Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB Workshop on Organic Plant Breeding Strategies and the Use of Molecular Markers. E. T. Lammerts van Bueren and H. Østergård: 17-23.

Desclaux, D., S. Ceccarelli, J. Navazio, M. Coley, G. Trouche, S. Aguirre, E. Weltzien and J. Lancon (2012). Centralized or decentralized breeding: The potentials of participatory approaches for low-input and organic agriculture. Organic crop breeding. E. T. Lammerts van Bueren and J. R. Myers. Oxford, UK, Wiley-Blackwell: 99-124.

- Desclaux, D., J. M. Nolot, Y. Chiffolleau, E. Gozé and C. Leclerc (2008). "Changes in the concept of genotype × environment interactions to fit agriculture diversification and decentralized participatory plant breeding: Pluridisciplinary point of view." *Euphytica* **163**(3): 533-546.
- Di Falco, S. and C. Perrings (2003). "Crop genetic diversity, productivity and stability of agroecosystems: A theoretical and empirical investigation." *Scottish Journal of Political Economy* **50**: 207-216.
- Diacono, M., P. Rubino and F. Montemurro (2013). "Precision nitrogen management of wheat. A review." *Agronomy for Sustainable Development* **33**(1): 219-241.
- Dierauer, H. and D. Böhler (2012). Direktsaat Mais im Biolandbau. Frick, Scheiz, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).
- DSP (2011). Liste of varieties 2011-2012 - Vegetables. Delley, Switzerland, Delley Seeds and Plants Ltd (DSP).
- DSP (2012). Sortenliste Mais 2012/2013. Delley, Schweiz, Delley Samen und Pflanzen AG (DSP).
- Eason, W. R., K. J. Webb, T. P. T. Michaelson-Yeates, M. T. Abberton, G. W. Griffith, C. M. Culshaw, J. E. Hooker and M. S. Dhanoa (2001). "Effect of genotype of *Trifolium repens* on mycorrhizal symbiosis with *Glomus mosseae*." *Journal of Agricultural Science* **137**: 27-36.
- EFSA (2010). Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to soy protein and reduction of blood cholesterol concentrations pursuant to Article 14 of the Regulation (EC) No 1924/2006. Parma, Italy, European Food Safety Authority (EFSA).
- Enza (2013). The power of vegetable breeding, Enza Zaden.
- EPPO (2010). Comparable climates on a global level, European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO).
- Esteves, E. A., H. S. Duarte Martino, F. C. Esteves Oliveira, J. Bressan and N. M. Brunoro Costa (2010). "Chemical composition of a soybean cultivar lacking lipoxygenases (LOX2 and LOX3)." *Food Chemistry* **122**(1): 238-242.
- ETP (2013). The Common Strategic Framework for Research & Innovation 2014-2020, European Technology Platform 'Plants for the Future' (ETP).
- EU (2007). Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates - über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Brüssel, Belgien, Europäische Kommission, Landwirtschaft und ländliche Entwicklung.
- EU (2013). DRAFT REPORT on plant breeding: What options to increase quality and yields? Committee on Agriculture and Rural Development. Brussels, Belgium European Parliament.
- FACCE-JPI (2013). Pre-announcement of call for proposals on climate smart agriculture. *FACCE-JPI: Joint Programming Initiative on Agriculture, Food Security and Climate Change*, The Joint Programming Initiative on Agriculture, Food Security and Climate Change (FACCE-JPI).

FACCE-JPI (2012). "A European strategy to tackle the great challenges of agriculture and food security under climate change."

FAO. (2009). "How to feed the world in 2050." Retrieved 21. Oktober, 2013, from [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How to Feed the World in 2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).

FAOSTAT. (2012). "FAO statistic." Retrieved 14. August, 2013, from <http://faostat.fao.org/>.

FiBL (2011). Grundlagenpapier zur ökologischen Pflanzenzüchtung. Frick, Schweiz, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).

FiBL and IFOAM (2012). The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2012. H. Willer and L. Kilcher, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) and International Federation of organic agricultural movements (IFOAM).

Finger, R., P. Lazzarotto and P. Calanca (2010). "Bio-economic assessment of climate change impacts on managed grassland production." *Agricultural Systems* **103**(9): 666-674.

Finger, R. and S. Schmid (2008). "Modeling agricultural production risk and the adaptation to climate change." *Agricultural Finance Review* **68**(1): 25-41.

Fiorda, F. A., M. S. J. Soares, F. A. d. Silva, L. R. F. Souto and M. V. E. Grosmann (2013). "Amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse in the production of gluten-free pasta: Technological and sensory aspects." *International Journal of Food Science & Technology* **48**(9): 1977-1984.

Fischer, E. M., U. Beyerle and R. Knutti (2013). "Robust spatially aggregated projections of climate extremes." *Nature Clim. Change* **3**(12): 1033-1038.

Fisher, J. A. and B. J. Scott (1987). Response to selection for aluminium tolerance. *Priorities in soil/plant relations: Research for plant production*. P. G. E. Searle and B. G. Davey. Sydney, Australia, The University of Sydney.

Fossati, D. and C. Brabant (2003). "Die Weizenzüchtung in der Schweiz." *Agrarforschung* **10**: 447-458.

Franck, S. (2007). Wer züchtet in Zukunft noch Getreide? Festakt zum 80-jährigen Jubiläum der I.G. Pflanzenzucht, Würzburg, Deutschland.

Frauen, M. (2013). *An overview on breeding of winter oilseed rape varieties in Europe*. GCIRC Technical Meeting, Nyon, Schweiz.

Frick, C. (2005). "Vielfältig nutzbar: Lein wird wiederentdeckt." *Die Grüne* **17**: 18-19.

Fritsche-Neto, R. and A. Borém (2012). Challenges for plant breeding to develop biotic-resistant cultivars. *Plant breeding for biotic stress resistance*. R. Fritsche-Neto and A. Borém. Berlin, Germany, Springer: 166.

FSOV (2012). Appel a proposition. Paris, France, Le Fonds de soutien à l'obtention végétale (FSOV).

Fuhrer, J. and K. Jasper (2009). "Irrigation needs for arable land and grassland under current climatic conditions." Agrarforschung **16**(10): 396-401.

Gallais, A. (2011). Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes. Versailles Cedex, France, Éditions Quæ.

Galushko, V. and R. Gray (2012). The privatization of British wheat breeding: What can Canada learn? Saskatchewan, Canada, Canadian Triticum Advancement through Genomics (CTAG). **34**: 58.

Gardner, J. B. and L. E. Drinkwater (2009). "The fate of nitrogen in grain cropping systems: a meta- analysis of N-15 field experiments." Ecological Applications **19**(8): 2167-2184.

GFP (2011). Schlüsseltechnologie Pflanzenzüchtung - Herausforderungen für Wirtschaft, Wissenschaft und Politik im 21. Jahrhundert. Bonn, Deutschland, Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e. V. (GFP): 19.

Gilgen, A. K., C. Signarbieux, U. Feller and N. Buchmann (2010). "Competitive advantage of *Rumex obtusifolius* L. might increase in intensively managed temperate grasslands under drier climate." Agriculture Ecosystems and Environment **135**(1-2): 15-23.

GIS (2012). Plant roots: Major scientific challenges – Key areas of research of relevance to the French public-private research community. The Scientific Group of Interest "Plant Biotechnologies".

Montpellier, France, GIS Biotechnologies Vertes (GIS BV).

GIS (2013). Cereals benefiting from nitrogen fixation: Strategies for the French public-private research community. The Scientific Group of Interest "Plant Biotechnologies" Paris, France, GIS Biotechnologies Vertes (GIS BV). **2013**.

GIS (2013). Improving crop photosynthesis for yield: assets of the French public and private research community and new research opportunities. The Scientific Group of Interest "Plant Biotechnologies" Paris, France, GIS Biotechnologies Vertes (GIS BV). **2013**.

GIS. (2013). "The plants for tomorrow will have to meet the needs of a productive, competitive and sustainable agriculture, for the food and feed industry and for the sector of renewable carbon sources." Retrieved 22. August, 2013, from <http://www.gisbiotechnologiesvertes.com/en/>.

Goldringer, I., J. Dawson, F. Rey and A. Vettoretti (2010). Breeding for resilience: A strategy for organic and low-input farming systems? EUCARPIA 2nd Conference of the "Organic and Low-Input Agriculture" Section, Paris, France.

Green, R. E., S. J. Cornell, J. P. W. Scharlemann and A. Balmford (2005). "Farming and the fate of wild nature." Science **307**(5709): 550-555.

Hagel, I. (1997). "Bauen wir die falschen Sorten an? Zur Qualität von Möhren aus biologisch-dynamischem und konventionellem Anbau des Erntejahres 1995." Ökologie und Landbau **1**: 42-43.

- Hahn, V. (2012). Neue Sojasorten für den heimischen Anbau. Sojatag 2012. Frankfurt, Deutschland.
- Hao, D. C., S. L. Chen, P. G. Xiao and M. Liu (2012). "Application of high-throughput sequencing in medicinal plant transcriptome studies." Drug Development Research **73**(8): 487-498.
- Hartell, J., M. Smale, P. W. Heisey and B. Senauer (1997). The contribution of genetic resources and diversity to wheat productivity: A case from the Punjab of Pakistan. CIMMYT Economics Working Paper. Mexico, CYMMIT: 35.
- Hartman, G. L., E. D. West and T. K. Herman (2011). "Crops that feed the World 2. Soybean-worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests." Food Security **3**(1): 5-17.
- Hassas-Roudsari, M. and H. D. Goff (2012). "Ice structuring proteins from plants: Mechanism of action and food application." Food Research International **46**(1): 425-436.
- Hategekimana, A., D. Schneider, D. Fossati and F. Mascher (2012). "Performance and nitrogen efficiency of Swiss wheat varieties from the 20th century." Agrarforschung Schweiz **3**(1): 44-51.
- Hauser, M. (2012). Wie Konsumenten in Zukunft essen wollen. Consumer Value Monitor Food. Zürich, Schweiz, Gottlieb Duttweiler Institute (GDI). **GDI-Studie Nr. 38**.
- Helfenstein, S. (2005). "Clubsorten: Schliesslich entscheidet der Kunde." Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau **6**: 22-23.
- HM Government UK (2013). A UK strategy for agricultural technologies. Industrial strategy: Government and industry in partnership. London, UK, Department for Business, Innovation and Skills.
- Hohmann, R., E. Thalmann, G. Müller-Ferch, U. R. Neu, Christoph and C. Kull (2007). "Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft." OCC / ProClim.
- Horizon2020 (2013). Breakdown of the Horizon 2020 budget. H.-T. f. p. f. r. a. innovation, European Commission (EC).
- Hund, A., R. Reimer and R. Messmer (2011). "A consensus map of QTLs controlling the root length of maize." Plant and Soil **344**(1-2): 143-158.
- Huppes, G. and M. Ishikawa (2008). "Eco-efficiency and its terminology." Journal of Industrial Ecology **9**(4): 43-46.
- ICONOMIX (2013). Kaufkraft - 1921 bis heute. Zürich, Schweiz, Swiss National Bank.
- Iglesias, A., L. Garrote, S. Quiroga and M. Moneo (2012). "A regional comparison of the effects of climate change on agricultural crops in Europe." Climatic Change **112**(1): 29-46.
- INRA (2010). Ecophyto R&D - Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides?, Institut national de la recherche agronomique (INRA).

- Jacob, I., S. Hartmann, F. X. Schubiger and C. Struck (2013). Verbesserung der Resistenz von Rotklee gegen *Colletotrichum trifolii* durch rekurrente Selektion. Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landwirtschaft. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. D. Neuhoﬀ, C. Stumm, S. Ziegler et al. Berlin, Deutschland, Verlag Dr. Köster: 68-71.
- Julier, B., S. Fourtier and M. Straebler (2014). "Panorama de l'offre variétale des graminées et légumineuses fourragères et non fourragères en Europe." Fourrages in press.
- Kellerhals, M., I. Baumgartner, L. Leumann, L. Lussi, D. Christen, A. Patocchi, P.-M. Le Roux, S. Egger and
- R. Leumann (2012). "Züchtung feuerbrandrobuster Obstsorten." Obstbau **10**: 530-532.
- Kim, D. G., S. Saggar and P. Roudier (2012). "The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: A meta-analysis." Nutrient Cycling in Agroecosystems **93**(1): 51-64.
- Kinney, A. J., E. B. Cahoon and W. D. Hitz (2002). "Manipulating desaturase activities in transgenic crop plants." Biochemical Society Transactions **30**: 1099-1103.
- Kirschke, D., A. Häger and S. Noleppa (2011). Rediscovering productivity in European agriculture. Berlin, Germany Humboldt Forum for Food and Agriculture e.V. (HFFA).
- Klein, T., A. Holzkämper, P. Calanca and J. Fuhrer (2013). "Adaptation options under climate change for multifunctional agriculture: a simulation study for western Switzerland." Regional Environmental Change: 1-18.
- Klein, T., A. Holzkämper, P. Calanca, R. Seppelt and J. Fuhrer (2013). "Adapting agricultural land management to climate change: a regional multi-objective optimization approach." Landscape Ecology: 1-19.
- Kloppenborg, J. R. (2005). First the seed: The political economy of plant biotechnology. Madison, WI; USA, University of Wisconsin Press.
- Kocmankova, E., M. Trnka, J. Eitzinger, M. Dubrovsky, P. Stepanek, D. Semeradova, J. Balek, P. Skalak, A. Farda, J. Juroch and Z. Zalud (2011). "Estimating the impact of climate change on the occurrence of selected pests at a high spatial resolution: A novel approach." Journal of Agricultural Science **149**: 185- 195.
- Kölliker, R., F. Wichmann, F.-J. Vorhölter, C. Conradin, S. Reinhard, B. Boller and F. Widmer (2013). "Bakterienwelke - Eine rätselhafte Krankheit von Futtergräsern." Agrarforschung Schweiz **4**(1): 32-39.
- König, K., U. Steck and M. Zellner (1999). Integrierter Pflanzenschutz - Rapskrankheiten. Freising, Deutschland, Bayerisch Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und Institut für Pflanzenschutz IPZ.
- Kontogiorgos, V., H. D. Goff and S. Kasapis (2008). "Effect of aging and ice-structuring proteins on the physical properties of frozen flour-water mixtures." Food Hydrocolloids **22**(6): 1135-1147.

- Kopainsky, B., C. Flury, M. Pedercini, L. Sorg and A. Gerber (2013). Ressourceneffizienz im Dienste der Ernährungssicherheit, Teilprojekt Modellierung – Schlussbericht (REDES). Washington/Zürich, Flury&Giuliani; GmbH/Millennium Institute.
- Kulak, M., T. Nemecek, E. Frossard and G. Gaillard (2013). "How eco-efficient are low-input cropping systems in Western Europe, and what can be done to improve their eco-efficiency?" Sustainability **5**: 3722-3743.
- Kunz, P., M. Becker, M. Buchmann, C. Cuendet, J. Müller and U. Müller (2006). Bio-Getreidezucht in der Schweiz. Österreichische Fachtagung für biologische Landwirtschaft. Irdning, Österreich.
- KWS (2012). Innovation durch Pflanzenzüchtung - gentechnische verbesserte Sorten und ihr Beitrag zum Erfolg des Landwirts. InnoPlanta Forum 2012, KWS Saat AG.
- Lammerts van Bueren, E. T. and J. R. Myers (2012). Organic crop breeding. Oxford, UK, Wiley-Blackwell.
- Landjeva, S., V. Korzun and A. Borner (2007). "Molecular markers: Actual and potential contributions to wheat genome characterization and breeding." Euphytica **156**(3): 271-296.
- Lane, A. and A. Jarvis (2007). "Changes in climate will modify the geography of crop suitability: Agricultural biodiversity can help with adaptation." SAT eJournal **4**(1).
- Lavalle, C., F. Micale, T. D. Houston, A. Camia, R. Hiederer, C. Lazar, C. Conte, G. Amatulli and G. Genovese (2009). "Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review (Reprinted)." Agronomy for Sustainable Development **29**(3): 433-446.
- Lee, S.-J., J.-K. Ahn, T.-D. Khanh, S.-C. Chun, S.-L. Kim, H.-M. Ro, H.-K. Song and I.-M. Chung (2007). "Comparison of Isoflavone concentrations in soybean (*Glycine max* (L.) merrill) sprouts grown under two different light conditions." Journal of Agricultural and Food Chemistry **55**(23): 9415-9421.
- Lehmann, N. (2013). How climate change impacts on local cropping systems: A bioeconomic simulation study for Western Switzerland Dissertation, ETH Zurich.
- Lehmann, N., S. Briner and R. Finger (2013). "The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions." Land Use Policy **35**: 119-130.
- Lehmann, N., R. Finger, T. Klein, P. Calanca and A. Walter (2013). "Adapting crop management practices to climate change: Modeling optimal solutions at the field scale." Agricultural Systems **117**: 55-65.
- Leifeld, J., R. Reiser and H. R. Oberholzer (2009). "Consequences of conventional versus organic farming on soil carbon: Results from a 27-year field experiment." Agronomy Journal **101**(5): 1204-1218.
- Leumann, L., I. Baumgartner, L. Lussi, L. Frey, M. Nölly, M. Kellerhals and M. Weber (2013). "Ladina, die neue feuerbrandrobuste Apfelsorte." Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau **1**: 10-13.

- Leung, H., Y. Zhu, I. Revilla-Molina, J. X. Fan, H. Chen, I. Pangga, C. V. Cruz and T. W. Mew (2003). "Using genetic diversity to achieve sustainable rice disease management." Plant Disease **87**(10): 1156-1169.
- Li, C.-J., X. Pang and F.-S. Zhang (2003). "Comparison on responses of different phosphorus-efficient wheat varieties to phosphorus-deficiency stress." Acta Botanica Sinica **45**(8): 936-943.
- Liao, H., X. L. Yan, G. Rubio, S. E. Beebe, M. W. Blair and J. P. Lynch (2004). "Genetic mapping of basal root gravitropism and phosphorus acquisition efficiency in common bean." Functional Plant Biology **31**(10): 959-970.
- LID (2010). Gemüsemarkt Schweiz. Bern, Schweiz, Landwirtschaftlicher Informationsdienst (LID).
- Lin, Z. (2009). Processing waste meat into powdered meat for feed comprises decomposing the waste meat under high pressure, separating, adding collagen, pressing the processed meat into cake, and grinding the cake to obtain powdered meat, LIN Z (LINZ-Individual).
- Lingling, L., K. Yangsoo, H. Weining, J. Chunli and X. Baocai (2010). "Effects of ice structuring proteins on freeze-thaw stability of corn and wheat starch gels." Cereal Chemistry **87**(5): 497-503.
- Lithourgidis, A. S., C. A. Dordas, C. A. Damalas and D. N. Vlachostergios (2011). "Annual inter-crops: An alternative pathway for sustainable agriculture." Australian Journal of Crop Sciences **5**(4): 396-410.
- Long, S. P. and D. R. Ort (2010). "More than taking the heat: Crops and global change." Current Opinion in Plant Biology **13**(3): 241-248.
- Lopes, C. M., J. R. Fernandes and P. Martins-Lopes (2013). "Application of nanotechnology in the agro- food sector." Food Technology and Biotechnology **51**(2): 183-197.
- Lopes, M. S. and M. P. Reynolds (2010). "Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat." Functional Plant Biology **37**(2): 147-156.
- Luby, C., A. Lyon and A. Shelton (2013). "A new generation of plant breeders discovers fertile ground in organic agriculture." Sustainability **5**(6): 2722-2726.
- MAP (2007). La Stratégie de Développement Durable du Ministère de l'agriculture et de la pêche, Ministère de l'agriculture et de la pêche (MAP).
- MAP (2008). Écophyto 2018, Ministère de l'agriculture et de la pêche (MAP).
- MAP (2009). Objective Lands 2020 -Towards a new French model for agriculture, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP).
- Maredia, M. K., R. Bernstein and C. Ragasa (2010). "Returns to public sector plant breeding in the presence of spill-ins and private goods: The case of bean research in Michigan." Agricultural Economics **41**(5): 425-442.

Mateo, N. and R. Ortiz (2013). Resource use efficiency revisited. Eco-Efficiency: From vision to reality. C.H. Hershey and P. Neate. Cali, Colombia, International Center for Tropical Agriculture (CIAT).

Materechera, S. A., A. R. Dexter and A. M. Alston (1991). "Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species." Plant and Soil **135**(1): 31-41.

Max Havelaar-Stiftung (2001). Fair trade. Jahresbericht. Basel, Schweiz, Max Havelaar-Stiftung. **2001**.

Max Havelaar-Stiftung (2012). Wir sind Fairtrade. Jahresbericht. Basel, Schweiz, Max Havelaar-Stiftung. 2012.

Mba, C., E. P. Guimaraes and K. Ghosh (2012). "Re-orienting crop improvement for the changing climatic conditions of the 21st century." Agriculture and Food Security **1**(1): 1-17.

Messmer, M., I. Hildermann, C. Arncken, D. Drexler and K.-P. Wilbois (2011). Chancen und Potenziale verschiedener Züchtungsmethoden für den Ökolandbau. Frick und Frankfurt am Main, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).

Messmer, M., K.-P. Wilbois, C. Baier, F. Schäfer, C. Arncken, D. Drexler and I. Hildermann (2012). Techniken der Pflanzenzüchtung - Eine Einschätzung für den ökologischen Landbau. Frick, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).

Meyer, R. (2003). Potenziale zur Erhöhung der Nahrungsmittelqualität - Endbericht zum TA-Projekt „Entwicklungstendenzen bei Nahrungsmittelangebot und -nachfrage und ihre Folgen“. Arbeitsbericht. TAB. Berlin, Deutschland, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). **87**.

Meyer, R., C. Rösch and A. Sauter (2010). Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen. TAB- Arbeitsbericht Nr. 136. Berlin, Deutschland, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).

Miladinovic, J., J. W. Burton, S. B. Tubic, D. Miladinovic, V. Djordjevic and V. Djukic (2011). "Soybean breeding: Comparison of the efficiency of different selection methods." Turkish Journal of Agriculture and Forestry **35**(5): 469-480.

Montangero, A., R. Schertenleib and H. Belevi (2006). Den Phosphorkreislauf schliessen. Eawag News **62d**. Dübendorf, Schweiz, Eawag.

Morris, C. F. (2002). "Puroindolines: The molecular genetic basis of wheat grain hardness." Plant Molecular Biology **48**(5): 633-647.

Murchie, E. H. and T. Lawson (2013). "Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding some new applications." Journal of Experimental Botany **64**(13): 3983-3998.

Murphy, K., K. G. Campbell, S. T. Lyon and S. S. Jones (2007). "Evidence of varietal adaptation to organic farming systems." Field Crops Research **102**: 172-177.

Murphy, K., D. Lammer, S. Lyon, B. Carter and S. J. Stephen (2005). "Breeding for organic and low-input farming systems: An evolutionary-participatory breeding method for inbred cereal grains." Renewable Agriculture and Food Systems **20**: 48-55.

Napier, J. A. and I. A. Graham (2010). "Tailoring plant lipid composition: Designer oilseeds come of age." Current Opinion in Plant Biology **13**(3): 330-337.

Nature (2010). "How to feed a hungry world." Nature **466**(7306): 531-532.

Nelson, G. C., M. W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson, S. Tokgoz, T. Zhu, T. B. Sulser, C. Ringler, S. Msangi and L. You (2010). Food security, farming, and climate change to 2050. Washington, D.C.; USA, Food Policy Research Institute (IFPRI).

Nilsson, A. and R. von Bothmer (2010). Measures to promote Nordic plant breeding. TemaNord. Nordic Council of Ministers. Copenhagen, Denmark, Nordic cooperation. **518**.

Noleppa, S. and H. von Witzke (2013). Die gesellschaftliche Bedeutung der Pflanzenzüchtung in Deutschland. Einfluss auf soziale Wohlfahrt, Ernährungssicherung, Klima- und Ressourcenschutz. HFFA Working Paper 02/2013. Berlin, Deutschland, Humblodt Forum for Food and Agriculture e.V. (HFFA).

Oberson, A., S. Nanzer, C. Bosshard, D. Dubois, P. Mader and E. Frossard (2007). "Symbiotic N-2 fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by N-15 dilution and N-15 natural abundance." Plant and Soil **290**(1-2): 69-83.

OcCC/ProClim (2007). Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern, Schweiz, ProClim– Forum für Klima und Global Change.

Oehl, F., A. Oberson, H. U. Tagmann, J. M. Besson, D. Dubois, P. Mader, H. R. Roth and E. Frossard (2002). "Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming." Nutrient Cycling in Agroecosystems **62**(1): 25-35.

Ogbonnaya, F. C., N. C. Subrahmanyam, O. Moullet, J. de Majnik, H. A. Eagles, J. S. Brown, R. F. Eastwood, J. Kollmorgen, R. Appels and E. S. Lagudah (2001). "Diagnostic DNA markers for cereal cyst nematode resistance in bread wheat." Australian Journal of Agricultural Research **52**(11-12): 1367-1374.

Palta, J. and M. Watt (2009). Chapter 13 - Vigorous crop root systems: Form and function for improving the capture of water and nutrients. Crop Physiology. V. Sadras and D. Calderini. San Diego, CA, USA, Academic Press: 309-325.

Panadero, J., F. Randez-Gil and J. A. Prieto (2005). "Heterologous expression of type I antifreeze peptide GS-5 in baker's yeast increases freeze tolerance and provides enhanced gas production in frozen dough." Journal of Agricultural and Food Chemistry **53**(26): 9966-9970.

Pardey, P. G. and P. L. Pingali (2010). Reassessing international agricultural research for food and agriculture. Global Conference on Agricultural Research for Development (GCARD), Montpellier, France.

- Paucar-Menacho, L. M., J. Amaya-Farfan, M. A. Berhow, J. M. Gontijo Mandarino, E. G. de Mejia and Y. K. Chang (2010). "A high-protein soybean cultivar contains lower isoflavones and saponins but higher minerals and bioactive peptides than a low-protein cultivar." Food Chemistry **120**(1): 15-21.
- Pauly, A., B. Pareyt, E. Fierens and J. A. Delcour (2013). "Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp durum) kernel hardness: II. Implications for end-product quality and role of puroindolines therein." Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety **12**(4): 427-438.
- PNACC (2012). Base de données des projets et programmes de recherche en cours concernant l'agriculture et la forêt abordant spécifiquement ou indirectement l'adaptation au changement climatique. P. N. d. A. a. C. C. (PNACC).
- Pretty, J. (2008). "Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence." Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences **363**(1491): 447-465.
- Quemada, M., M. Baranski, M. N. J. Nobel-de Lange, A. Vallejo and J. M. Cooper (2013). "Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield." Agriculture Ecosystems and Environment **174**: 1-10.
- Rasmussen, M. (2013). Pre-breeding in Nordic countries. Alnarp, Sweden, Nordic Genetic Resource Center (NordGen).
- Reynolds, M., D. Bonnett, S. C. Chapman, R. T. Furbank, Y. Manes, D. E. Mather and M. A. J. Parry (2011). "Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies." Journal of Experimental Botany **62**(2): 439-452.
- Ritchie, W. R., C. J. Baker and M. Hamilton-Manns (2003). "The development and transfer of a new no-tillage technology." Conservation Agriculture: Environment, Farmers Experiences, Innovations, Socio-Economy, Policy: 485-488.
- Sacks, F. M., A. Lichtenstein, L. Van Horn, W. Harris, P. Kris-Etherton, M. Winston and C. Amer Heart Assoc Nutr (2006). "Soy protein, isoflavones, and cardiovascular health - An American heart association science advisory for professionals from the nutrition committee." Circulation **113**(7): 1034-1044.
- Sattelmacher, B., H. C. Becker and H. Brück (1990). Genotypic differences in the P efficiency of maize (*Zea mays* L.). Bericht über die Arbeitstagung 1990 der "Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter" im Rahmen der "Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter". Gumpenstein, Österreich.
- SBV (2012). Wie ernährt sich die Schweiz? Situationsbericht 2012. Brugg, Schweiz, Schweizerischer Bauernverband (SBV).
- Scheuner, S. (2013). Rapsanbau. Schweizer Bauer Dossier. Bern, Schweiz. **22. Juni**.
- Schmidt, S., P. J. Gregory, D. V. Grinev and A. G. Bengough (2013). "Root elongation rate is correlated with the length of the bare root apex of maize and lupin roots despite contrasting responses of root growth to compact and dry soils." Plant and Soil **372**(1-2): 609-618.

- Schöchli, H. (2012). Starke Schweizer Kaufkraft. Neue Zürcher Zeitung (NZZ). Zürich, Schweiz. **3. November**.
- Schori, A., C.-A. Bétrix, J.-C. De Groote and O. Moullet (2013). "La sélection du soja à Agroscope."
- Schori, A., R. Charles and D. Peter (2003). Sojabohne: Züchtung, Agronomie und Produktion in der Schweiz. Bern, Schweiz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Pflanzenbau Changins.
- Schwartau, H. (2010). "Liegt die Zukunft in den Club-Sorten?" European Fruit Magazine (EFM) **5**: 20-22.
- Seufert, V., N. Ramankutty and J. A. Foley (2012). "Comparing the yields of organic and conventional agriculture." Nature **485**(7397): 229-U113.
- SGE (2012). Die gesunde Lebensmittelwahl - Was wissen wir über den Konsumenten und die Konsumentin in der Schweiz? Bern, Schweiz, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (SGE).
- SGPV (2013). Aktualitäten des Getreidemarktes. Bern, Schweiz, Schweizerischer Getreideproduzentenverband (SGPV).
- Shock, C. C. (2013). Drip irrigation: An introduction. Sustainable Agriculture Techniques. Corvallis, OR; USA, Oregon State University.
- Singh Gahoonia, T. and N. E. Nielsen (2004). "Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties." Plant and Soil **260**(1-2): 47-57.
- Singh, R. P., P. V. V. Prasad and K. R. Reddy (2013). "Impacts of changing climate and climate variability on seed production and seed industry." Advances in Agronomy **118**: 49-110.
- Soane, B. D., B. C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno and J. Roger-Estrade (2012). "No-till in Northern, Western and South-Western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment." Soil and Tillage Research **118**: 66-87.
- SOJA (2013). Schweiz unterzeichnet Donau Soja Erklärung. Basel, Schweiz, Soja Netzwerk Schweiz (SOJA).
- Sorensen, P. and I. K. Thomsen (2005). "Separation of pig slurry and plant utilization and loss of nitrogen-15-labeled slurry nitrogen." Soil Science Society of America Journal **69**(5): 1644-1651.
- Sozer, N. and J. L. Kokini (2009). "Nanotechnology and its applications in the food sector." Trends in Biotechnology **27**(2): 82-89.
- Specht, M. (2010). "Anbau von Körnerleguminosen in Deutschland-Situation, limitierende Faktoren und Chancen." Journal für Kulturpflanzen **61**(9): 302-305.
- Spiess, E. (2005). Die Stickstoffbilanz der Schweiz. Schriftenreihe der FAL. Zürich, Schweiz, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. **57**: 26-31.

Stamp, P., R. Messmer and A. Walter (2012). "Competitive underutilized crops will depend on the state funding of breeding programmes: An opinion on the example of Europe." Plant Breeding **131**(4): 461- 464.

Stampfli, A. and M. Zeiter (2004). "Plant regeneration directs changes in grassland composition after extreme drought: A 13-year study in southern Switzerland." Journal of Ecology **92**(4): 568-576.

Stehr, R., W. Guerra, L. Berra, I. Iglesias, S. Codarin, T. Rühmer and S. Egger (2011). "Entwicklung des Apfel- und Birnensortiments in Europa." Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau **21**: 8-11.

Stenberg, M., B. Ulen, M. Soderstrom, B. Roland, K. Delin and C. A. Helander (2012). "Tile drain losses of nitrogen and phosphorus from fields under integrated and organic crop rotations. A four-year study on a clay soil in southwest Sweden." Science of the Total Environment **434**: 79-89.

Stintzing, F. C. and R. Carle (2004). "Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition." Trends in Food Science and Technology **15**(1): 19-38.

Sudarić, A. and M. Vrataric (2008). "Importance, achievements and trends in soybean breeding at the Agricultural Institute Osijek." Sjemenarstvo **25**(3-4): 207-216.

Sudova, R., J. Rydlova, Z. Munzbergova and J. Suda (2010). "Ploidy-specific interactions of three host plants with arbuscular mycorrhizal fungi: Does genome copy number matter?" American Journal of Botany **97**(11): 1798-1807.

Sun, Y. Q., F. Yan and F. L. Liu (2013). "Drying/rewetting cycles of the soil under alternate partial root- zone drying irrigation reduce carbon and nitrogen retention in the soil-plant systems of potato." Agricultural Water Management **128**: 85-91.

Swissgranum (2012). Importe von Eiweissträgern und Ölsaaten in Tonnen. Bern, Schweiz, Schweizerische Branchenorganisation Getreide, Ölsaaten und Eiweisspflanzen.

Swissgranum (2012). Jahresbericht 2012. Bern, Schweiz, Schweizerische Branchenorganisation Getreide, Ölsaaten und Eiweisspflanzen.

Sywottek, C. (2007). Nach der Generation Teigling. brandeins Wirtschaftsmagazin. Hamburg, Deutschland, brand eins Verlag GmbH & Co. oHG. **Ausgabe 11/2007**.

Tavaud-Pirra, M., P. Sartre, R. Nelson, S. Santoni, N. Texier and P. Roumet (2009). "Genetic diversity in a soybean collection." Crop Science **49**(3): 895-902.

Tester, M. and P. Langridge (2010). "Breeding technologies to increase crop production in a changing world." Science **327**(5967): 818-822.

The Nielson Company (2010). 2nd Quarter, 2010 - Global online consumer confidence, concerns and spending intentions. Nielsen Report. Root Längenbold, Schweiz, The Nielson Company. **July 2010**.

The Nielson Company (2011). 1st Quarter, 2011 - Global online consumer confidence, concerns and spending intentions. Nielson Report. Root Längenbold, Schweiz, The Nielson Company. **May 2011**.

The Plant Innovation (2009). Petersberg declaration on the future of plant research, Forum for Plant Innovation.

The Royal Society (2009). Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture. London, UK.

Tilman, D., C. Balzer, J. Hill and B. L. Befort (2011). "Global food demand and the sustainable intensification of agriculture." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS) **108**(50): 20260–20264.

Torriani, D. S., P. Calanca, M. Lips, H. Ammann, M. Beniston and J. Fuhrer (2007b). "Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland." Regional Environmental Change **7**(4): 209-221.

Torriani, D. S., P. Calanca, S. Schmid, M. Beniston and J. Fuhrer (2007a). "Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland." Climate Research **34**(1): 59-69.

Tran, A. N., J. R. Welch, D. Lobell, M. J. Roberts and W. Schlenker (2012). Commodity prices and volatility in response to anticipated climate change. Seattle, USA, AAEA Annual Meeting.

Tuomisto, H. L., I. D. Hodge, P. Riordan and D. W. Macdonald (2012). "Comparing global warming potential, energy use and land use of organic, conventional and integrated winter wheat production." Annals of Applied Biology **161**(2): 116-126.

Tuomisto, H. L., I. D. Hodge, P. Riordan and D. W. Macdonald (2012). "Does organic farming reduce environmental impacts? - A meta-analysis of European research." Journal of Environmental Management **112**: 309-320.

UBS (2012). Ein Kaufkraftvergleich rund um die Welt. Preise und Löhne. Zürich, Schweiz, CIO Wealth Management Research. **Ausgabe 2012**.

UFOP (2012). Geschäftsbericht 2011/2012. Berlin, Deutschland, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP).

Uncu, A. O., S. Doganlar and A. Frary (2013). "Biotechnology for enhanced nutritional quality in plants." Critical Reviews in Plant Sciences **32**(5): 321-343.

USB (2013). Soybean checkoff- Funded research database. Chesterfield, MO; USA, United Soybean Board (USB).

van Dam, R. M., N. Naidoo and R. Landberg (2013). "Dietary flavonoids and the development of type 2 diabetes and cardiovascular diseases: Review of recent findings." Current Opinion in Lipidology **24**(1): 25-33.

van Elsen, A., A. Ayerdi Gotor, C. di Vicente, D. Traon, J. Gennatas, L. Amat, V. Negri and V. Chable (2013). Plant breeding for an EU bio-based economy. The potential of public sector and public/private partnerships. E. Rodríguez Cerezo. Seville, Spain, European Commission (EC).

Velasco, R., A. Zharkikh, J. Affourtit, A. Dhingra, A. Cestaro, A. Kalyanaraman, P. Fontana, S. K. Bhatnagar, M. Troggio, D. Pruss, S. Salvi, M. Pindo, P. Baldi, S. Castelletti, M. Cavauiolo, G. Coppola, F. Costa, V. Cova, A. Dal Ri, V. Goremykin, M. Komjanc, S. Longhi, P. Magnago, G. Malacarne, M. Malnoy, D. Micheletti, M. Moretto, M. Perazzolli, A. Si-Ammour, S. Vezzulli, E. Zini, G. Eldredge, L. M. Fitzgerald, N. Gutin, J. Lanchbury, T. Macalma, J. T. Mitchell, J. Reid, B. Wardell, C. Kodira, Z. Chen, B. Desany, F. Niazi, M. Palmer, T. Koepke, D. Jiwan, S. Schaeffer, V. Krishnan, C. Wu, V. T. Chu, S. T. King, J. Vick, Q. Tao, A. Mraz, A. Stormo, K. Stormo, R. Bogden, D. Ederle, A. Stella, A. Vecchietti, M. M. Kater, S. Masiero, P. Lasserre, Y. Lespinasse, A. C. Allan, V. Bus, D. Chagne, R. N. Crowhurst, A. P. Gleave, E. Lavezzo, J. A. Fawcett, S. Proost, P. Rouze, L. Sterck, S. Toppo, B. Lazzari, R. P. Hellens, C.-E. Durel, A. Gutin, R. E. Bumgarner, S. E. Gardiner, M. Skolnick, M. Egholm, Y. Van de Peer, F. Salamini and R. Viola (2010). "The genome of the domesticated apple (*Malus x domestica* Borkh.)." Nature Genetics **42**(10): 833-839.

Venskutonis, P. R. and P. Kraujalis (2013). "Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: A review on composition, properties, and uses." Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety **12**(4): 381-412.

Vogt-Kaute, W. (2002). Pflanzenzüchtung für den ökologischen Landbau am Beispiel wichtiger ackerbaulicher Kulturen. Hinreichende Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln im ökologischen Landbau, Saat- und Pflanzgut für den ökologischen Landbau; Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt. S. Kühne and B. Friedrich. Ribbesbüttel, Deutschland, Saphir Verlag.

Wang, X., X. Yan and H. Liao (2010). "Genetic improvement for phosphorus efficiency in soybean: A radical approach." Annals of Botany **106**(1): 215–222.

Wang, Y. S., F. L. Liu, M. N. Andersen and C. R. Jensen (2010). "Improved plant nitrogen nutrition contributes to higher water use efficiency in tomatoes under alternate partial root-zone irrigation." Functional Plant Biology **37**(2): 175-182.

WBGU (2008). Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin, Deutschland, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU).

WheatInitiative (2012). Wheat Research Projects.

Wilbois, K.-P. (2011). Ökologisch-partizipative Pflanzenzüchtung. Frick, Schweiz, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).

Williams, A. G., E. Audsley and D. L. Sandars (2006). Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report: Defra Research Project IS0205. Bedford, UK, Cranfield University and Defra.

Wolfe, M. S., J. P. Baresel, D. Desclaux, I. Goldringer, S. Hoad, G. Kovacs, F. Löschenberger, T. Miedaner, H. Østergård and E. T. Lammerts van Bueren (2008). "Developments in breeding cereals for organic agriculture." Euphytica **163**(3): 323-346.

Zhu, X. G., S. P. Long and D. R. Ort (2010). "Improving photosynthetic efficiency for greater yield." Annual Review of Plant Biology **61**: 235-261.

Zwicke, M., G. A. Alessio, L. Thiery, R. Falcimagne, R. Baumont, N. Rossignol, J. F. Soussana and C. Picon- Cochard (2013). "Lasting effects of climate disturbance on perennial grassland above-ground biomass production under two cutting frequencies." Global Change Biology **19**(11): 3435-3448.

12 Annexe I : Liste des personnes interrogées

Date (2013)	Personne interrogée	Institution	Domaine d'activité	Enquêteur
15.7	Bernadette Julier	INRA, Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères (URP3F)	Chef de projet	B. Studer
20.8	Emmanuel Guiderdoni	CIRAD-INRA-SUPAGRO	Chef d'équipe « Sélection végétale	A. Chien
20.8/31.1	Beat Boller	Agroscope, EUCARPIA	Cultures fourragères	A. Chien/L. Dernier site
20.8	Elisabetta Frascaroli	Université de Bologne	Sélection végétale	A. Chien
9.9	Meinrad Müller	swisssem	Directeur général	B. Cave
11.9	Hans Winzeler	DSP	Blé	B. Cave
19.9	Monika Messmer	FiBL	Sélection biologique	A. Chien
29.8	Lukas Aebi	FENACO		L. Dernier site
Sep	Simon Briner	OFAG		Ch. Grieder
1.1	Markus Kellerhals	Agroscope	Apple	B. Cave
3.1	Amadeus Zschunke	Sativa Rheinau	Légumes	B. Cave
7.1	José Vouillamoz	Agroscope	Plantes médicinales et aromatiques	B. Cave
2.1	Peter Latus	OFAG	Certification, protection des végétaux et des variétés végétales	L. Dernier site
2.1	Thomas Nemecek	Agroscope	Analyse du cycle de vie	L. Dernier site
3.10	Jürg Hiltbrunner	Agroscope	Essais sur les variétés	L. Dernier site
7.10	Robbie Girling (FP7, COBRA)	Centre de recherche biologique	Cultures de plein champ et agroforesterie	L. Dernier site
8.1	Fabian Birbaum	ETHZ	Génie des procédés alimentaires	B. Cave
10.1	Centre de contact direct de l'UE	UE	Catalogue des variétés de l'UE	L. Dernier site
10.1	Mark Johann	Bioverita	Sélection biologique	L. Dernier site
15.1	Emmanuel Frossard	ETHZ	Nutrition des plantes	L. Dernier, B. Keller
15.1	Claude-Alain Bétrix	Agroscope	Soja	B. Cave
15.1	Lilia Levy Häner	Agroscope	Essais sur les variétés	L. Dernier site
31.1	Bernd Bütter	Maisadour	Sélectionneurs	A. Walter

Date (2013)	Personne interrogée	Institution	Domaine d'activité	Enquêteur
Octobre		AFSPA	Association	Ch. Grieder
16.1	Daniel Jacob	Association suisse des maîtres boulangers et pâtisseries (SBKV)	Assurance de la qualité	L. Dernier site
16.1	Carole Bonneau	CPVO (Catalogue commun des variétés)		L. Dernier site
22.1	Kilian Greter	OFAG	Douane	L. Dernier site
23.1	Sabrina Strochenegger	Institut Gottfried Duttweiler (GDI)	Analyse des tendances de la consommation	L. Dernier site
23.1	Michael Siegrist	ETHZ, Chaire de comportement du consommateur	Consommation	L. Dernier site
24.1	Cameron Wagg	Université de Zurich		L. Dernier site
12.11	Klaus K. Nielson	DLF Trifolium	Sélection de plantes fourragères	L. Dernier site
20.11	Lukas Wolters	La sélection de l'herbe en Europe	Sélection de plantes fourragères	L. Dernier site
22.11	Simone Meyer	Association des producteurs suisses de légumes	Chef de secteur Technologie de la culture	L. Dernier site
3.12	Tobias Eschholz	Maisadour	Sélectionneurs	Ch. Grieder
3.12	Roland Peter	KWS Seed AG	Sélectionneurs	Ch. Grieder
3.12	Peter Langridge	Centre australien de génomique fonctionnelle des plantes	Professorship Plant Breeding	Ch. Grieder
3.12	Jeune chrétien	Université de Kiel	Professorship Plant Breeding	Ch. Grieder
3.12	Volker Hahn	Université de Hohenheim	Sélectionneurs	Ch. Grieder
3.12	Thomas Miedaner	Université de Hohenheim	Professorship Plant Breeding	Ch. Grieder
3.12	Susanne Kohls	KWS Seed AG	Sélectionneurs	Ch. Grieder
3.12	Vanessa Windhausen	Union des semences	Sélectionneurs	Ch. Grieder
3.12	Vanessa Prigge	Ferme végétale de Saka	Sélectionneurs	Ch. Grieder
3.12	Felix Dreyer	L'amélioration des plantes en Allemagne du Nord	Sélectionneurs	Ch. Grieder

13 Annexe II : Aperçu des projets relatifs au blé

Propriété / Objectif	Pays	Projet / Entreprise	Investissement (millions d'euros par an)	Méthode	Source :
Blé hybride	FR	Hy-wheat	0.34	OGM	PLANT 2030
Blé hybride	FR	Hywheat	0.85	Puce SNP	PLANT 2030
Blé hybride	FR	IPK Gatersleben			
Blé hybride	FR	Projet FSOV	0.09		FSOV
Blé hybride		CIMMYT	-		
Blé hybride		Bayer CropScience	-		
Blé hybride		Monsanto	-		
Blé hybride		Syngenta	-		
Blé hybride		KWS Lochhow	-		
Blé hybride		Du Pont Pioneer	-		
Blé hybride		Saaten Union GmbH	-		
Efficacité de l'azote	DE	Blé efficace	0.45	MAS	Initiative en faveur du blé
Efficacité de l'azote	DE	Nitro Sus	0.36		PLANT 2030
Efficacité de l'azote	FR	Divers projets (FSOV)	0.37		
Efficacité de l'azote		Bayer CropScience	-		
Écoefficacité	FR	Divers projets (FSOV)	0.31		FSOV
Écoefficacité		Bayer CropScience	-		
Tolérance abiotique	FR	BREEDWHEAT	3.78		
Tolérance abiotique	DE	Garantir le rendement et la qualité des céréales en cas de stress dû à la sécheresse	0.30		Initiative en faveur du blé
Tolérance abiotique	DE	FroWheat	0.35	Puce SNP	PLANT 2030 / Initiative pour le blé
Tolérance abiotique	DE	Blé robuste / NOSPROUT	0.50	MAS	Initiative en faveur du blé
Tolérance abiotique	DE	Mycorhization	0.06	Puce SNP	Initiative en faveur du blé
Tolérance abiotique	FR	Projets Diverses (FSOV)	0.59		
Tolérance abiotique		Monsanto	-		
Tolérance abiotique		Bayer CropScience	-		
Tolérance biotique	DE	Protection de l'ARNdb	1.33	OGM	Initiative en faveur du blé
Tolérance biotique	DE	EVA I & II ; JKI			
Tolérance biotique	DE	ProtectWheat			

Propriété / Objectif	Pays	Projet / Entreprise	Investissement (millions d'euros par an)	Méthode	Source :
Tolérance biotique	DE	Cécidomyie des fleurs	0.08	MAS	Initiative en faveur du blé PLANT 2030 Analyse en l'état FSOV
Tolérance biotique	FR	Racine de céréale	0.50		
Tolérance biotique	CH	Agroscope	2.7		
Tolérance biotique	FR	Projets Diveres (FSOV)	3.10		
Tolérance biotique	FR	[BREEDWHEAT]	0.00		
Tolérance biotique		Monsanto	-		prosementi.com
Tolérance biotique		KWS Lochhow	-		
Qualité	IT	Production de blé dur de haute qualité	-		
Qualité	FR	[BREEDWHEAT]	0.00		
Qualité	FR	Projets Diveres (FSOV)	1.00		
Qualité	CH	(Agroscope)			PLANT 2030 / Initiative pour le blé
Qualité		Bayer CropScience	-		
Rendement / propriétés agronomiques	DE	SÉLECTIONNER	0.39	NGS	
Rendement / propriétés agronomiques	DE	VALIDE	0.76	MAS	
Rendement / propriétés agronomiques	DE	Localisation et vérification des QTL du blé sauvage		Puce SNP	
Rendement / propriétés agronomiques	FR	Projets Diveres (FSOV)	0.36		Initiative en faveur du blé FSOV
Rendement / propriétés agronomiques		Bayer CropScience	-		
Rendement / propriétés agronomiques		Monsanto / BASF	-		
Rendement / propriétés agronomiques		Monsanto / BASF	-		
Tolérance aux herbicides		Monsanto / BASF	-		
Phénotypage	DE	Phénotypage à haut débit du blé	0.20	Phentotypisation	Initiative en faveur du blé Initiative en faveur du blé
Phénotypage	DE	Phénotypage Tolérance au sel et à la sécheresse	0.18	Phentotypisation	
Phénotypage	FR	Phénome	8.00		Initiative en faveur du blé FSOV
Phénotypage	FR	Projets Diveres (FSOV)	0.44		
Phénotypage			-		Géno-phénotypage
Géno-phénotypage	IT	Innovation pour la durabilité et la compétitivité (ISCOCEM)	-		