

ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft



**Application de techniques d'agriculture de précision
dans la région du Rhin supérieur :
analyse et interprétation de la variabilité intra-parcellaire.**

Rapport final du projet 1.1.1.

**Etude cofinancée par l'initiative communautaire
INTERREG II "Rhin Supérieur Centre-Sud"**

ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft

Le programme d'actions de l' ITADA était placé sous la maîtrise d'ouvrage du Conseil Régional d'Alsace et cofinancé par :

- le Fonds Européen pour le Développement Régional (programme INTERREG),
- le Ministère de l'Agriculture du Land de Bade-Wurtemberg,
- les Cantons suisses de Bâle Ville, Bâle-Campagne, Argovie ainsi que la Confédération Suisse,
- le Conseil Régional d'Alsace,
- l'Agence de l'Eau Rhin Meuse,
- les Organisations Professionnelles Agricoles alsaciennes.

Le projet 1.1.1 : « Application de techniques d'agriculture de précision dans la région du Rhin supérieur : analyse et interprétation de la variabilité intra-parcellaire » a été réalisé par :

Chef du projet : Dr. R. Vetter, Dr. I. Rühling (IfUL), Müllheim

D

Partenaire du projet : D. Lasserre (ITCF), Colmar

F

Durée du projet : nov. 1999 – déc. 2001

Institut für umweltgerechte Landwirtschaft, Müllheim (IfuL)
Institut Technique des Céréales et des Fourrages, Colmar (ITCF)

Abréviations

ACT	Agrar Computer Terminal (récepteur GPS et ordinateur embarqué, développé par la société Agrocom)
AEZ	Agro-Ecological Zone ; désigne un procédé associant les informations issues d'images satellites à celles d'un modèle agro-météorologique, visant à évaluer les rendements de différentes variétés de cultures.
ALLB	Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur (Office de l'agriculture, de la culture paysagère et du génie rural)
AMA	Agromap Auftrag (logiciel de transfert de données, développé par la sté Agrocom)
AMB	Agromap Basic (logiciel servant à l'administration de données et à l'élaboration de cartes, développé par la sté Agrocom)
AMP	Agromap Professional (SIG de la sté Agrocom, basé sur ArcView, logiciel d'ESRI)
AVIS	Airborne Visible and Infrared Spectrometer – spectromètre aéroporté opérant dans le visible et l'infrarouge, développé par l'université de Munich
CD	Coefficient de détermination r^2
BBZ	Badische Bauernzeitung, D Freiburg (revue agricole badoise)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BW	Bade-Wurtemberg
MSDR	Mode spécial de détermination de la récolte
CEMAGREF	Centre d'Etude du Machinisme, du Génie Rural et des Eaux et Forêts
CH	Suisse
D	Allemagne
DGPS	Differential Global Positioning System ; système de navigation assisté par satellite servant au positionnement. Le DGPS est un GPS différentiel doté d'un signal de référence, capable de déterminer le positionnement avec une plus précision encore plus grande.
MTN	Modèle de terrain numérique
DWD	Deutscher Wetterdienst (Service météorologique allemand)
CE	Conductivité électrique
ENESAD	Ecole Nationale d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon
F	France
FAL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (Station de recherches en agroécologie et agriculture) (FAL), Zurich-Reckenholz, Suisse
FAO	Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
TD	Téledétection
FEW	Freiburger Energie- und Wasserversorgung (Service d'approvisionnement en énergie et en eau de la ville de Fribourg), Allemagne
CC	Capacité au champ
GPS	Global Positioning System – Système de positionnement global ; système de navigation assisté par satellite servant au positionnement
SIG	Système d'information géographique ; base de données numérique comportant des références géographiques
IFUL	Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung (Institut pour une gestion de l'agriculture respectueuse de l'environnement), Müllheim, Allemagne
IKONOS	Capteur satellite doté de 4 canaux spectraux et d'une définition de 4 m
ITADA	Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique, Colmar
K	Potassium
ZCA	Zone centrale d'assainissement

KVR	Caméra noir et blanc de conception russe d'une définition de 2 m, embarquée à bord du satellite COSMOS.
LAI	Leaf Area Index ; indice foliaire [m ² /m ²]
LAP	Landesanstalt für Pflanzenbau (Office du Land Bade-Wurtemberg pour la production végétale), Rheinstetten-Forchheim, Allemagne
SBA	Système de bus pour l'agriculture
SAU	Surface agricole utile
LEL	Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume Baden-Württemberg (Office du Land Bade-Wurtemberg pour le développement de l'agriculture et des zones rurales), Allemagne
EN	Entrepreneur
Mg	Magnésium
MLR	Ministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Ländlichen Raum (Ministère de la protection des consommateurs, de l'alimentation et des zones rurales du Land Bade-Wurtemberg), Allemagne
N	Azote
CCu	Capacité au champ utile
SIN	Service d'information sur les nitrates : détermination de la teneur en nitrates présents dans le sol au moment de la fertilisation et utilisables par les végétaux (ensuite : SIN pour le maïs fin juin)
N _{min}	Azote minéral du sol = nitrate et ammonium
P	Phosphate, phosphore
PFP	Point de flétrissement permanent
RP FR	Regierungspräsidium Freiburg (Préfecture de Fribourg), Allemagne
SchALVO	Schutzgebiets- und Ausgleichsleistungsverordnung (réglementation sur les zones protégées et les mesures compensatoires) du Land Bade-Wurtemberg, Allemagne
StaLA	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Office statistique du Land Bade-Wurtemberg), Allemagne
SA	Zone d'assainissement
MS	Matière sèche (matière solide)
CV	Coefficient de variation
VDLUFA	Verband der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Fédération des centres d'analyse et de recherche agricole allemands)
ZPE	Zone de protection des eaux
FC	Fédération de coopératives

Sommaire :

1. Introduction	6
2. Objectifs du projet	9
3. Etat de l'agriculture de précision dans les pays participant au projet	10
3.1 Bade Wurtemberg	10
3.2 France (Alsace)	15
4. Situation structurelle de départ pour le projet ITADA	17
4.1 Plaine du Rhin – Bade Sud	17
4.2 Plaine du Rhin – Alsace	18
5. Zones étudiées et sites	21
5.1 Bade du Sud : Weisweil (D)	21
5.1.1 Conditions générales dans la zone de protection des eaux de Weisweil	21
5.1.2 Zone étudiée – sélection et caractéristiques	24
5.1.3 Sélection des parcelles dotées d'échantillonnage séquentiels	26
5.1.4 Données sur les exploitations et les sites	27
5.2 Alsace : Ebersheim et Witternheim (F)	29
5.2.1 Choix des sites	29
5.2.2 Interventions culturelles	29
6. Méthodes	31
6.1 Niveaux de régionalisation	31
6.2 Echantillonnage séquentiel de sol et de végétaux assisté par GPS	31
6.3 Analyse de sol et des plantes	33
6.4 Méthode de mesure permanente assistée par GPS	34
6.4.1 Evaluation de la conductivité électrique du sol	34
6.4.2 Mesure des rendements (récolte en ligne)	36
6.4.3 Interprétation des données	38
6.5 Conversion des données	39
6.5.1 Transfert des données	39
6.5.2 Interprétation des données et réalisation de cartes	39
6.6 Recours aux prestations d'entrepreneurs et d'agriculteurs	40
7. Résultats et évaluations	41
7.1 Etudes de terrain et interprétation de la variabilité	41
7.1.1 Niveau local : variabilité des parcelles quadrillées	41
7.1.1.1 Sols	41
7.1.1.2 Rendements	45
7.1.1.3 Humidité du grain en récolte en ligne	72
7.1.2 Conclusions communes sur la variabilité des sols et des caractéristiques des plantes sur les parcelles étudiées	72
7.1.3 Niveau de la zone : cartes de rendement et interprétation des images satellitaires	74
7.2 Recours aux prestations des entrepreneurs et évaluation du système	78
7.2.1 Bade-Sud	78
7.2.2 Alsace	79
7.3 Cadre légal et contrats pour la coopération entre exploitants et entrepreneurs	80
7.3.1 Cadre légal	80
7.3.2 Dispositions contractuelles	80
7.4 Expériences pratiques issues d'autres projets	81
8. Bilan et perspectives	82
9. Conclusion	83
10. Bibliographie	85

11. ANNEXES	91
A 1 : Publications, documents et posters	92
A 2 : rencontres et travaux de communication	92
A 3 : Cartes de valeurs mesurées –parcelles quadrillées de Weisweil	95
A 4 : Tableaux de données	116
A 5 : Article de la France Agricole	125
A 6 : Bibliographie sur l'agriculture de précision et l'exploitation des données géocodées	126

Tableaux :

Tab. 1 : Aperçu des projets d'agriculture de précision et d'exploitation par lots parcellaires en Bade Wurtemberg	11
Tab. 2 : Présentation des coûts ou des augmentations de rendement nécessaires pour parvenir au seuil de rentabilité, selon différentes tailles d'exploitations	12
Tab. 3 : Coûts d'investissements engendrés par l'agriculture de précision selon différentes tailles d'exploitations	12
Tab. 4 : Coûts générés par les prestations en agriculture de précision (sélection)	13
Tab. 5 : Aperçu du projet pre agro	14
Tab. 6 : Simulation des effets économiques de l'agriculture de précision	17
Tab. 7 : Structure des exploitations agricoles et répartition par cultures en Alsace	19
Tab. 8 : Position et extension de la zone de protection des eaux de captage de Weisweil	21
Tab. 9 : Apports d'éléments nutritifs au maïs sur les parcelles quadrillées en WSG Weisweil	28
Tab. 10 : Apports d'éléments nutritifs au maïs sur les parcelles quadrillées en Alsace	28
Tab. 11 : Etudes de terrain sur les parcelles quadrillées dans la WSG de Weisweil	33
Tab. 12 : Récapitulatif des procédés d'analyse de sol	33
Tab. 13 : Récapitulatif des méthodes d'analyses des teneurs en substances nutritives	34
Tab. 14 : Caractéristiques du sol et richesse en éléments nutritifs des parcelles de Weisweil	42
Tab. 15 : Coefficients de variation des paramètres de sols et d'approvisionnement en éléments nutritifs différenciés selon les parcelles quadrillées de Weisweil	43
Tab. 16 : coefficients de variation des paramètres de sols et de richesses en éléments nutritifs de la WSG de Weisweil en fonction de l'emplacement O/E des échantillons	43
Tab. 17 : relation entre les rendements en ligne de 1998 à 2000 appréciée par les coefficients de corrélations	48
Tab. 18 : Comparaison des moyennes de rendements en ligne et des rendements parcellaires pour l'année 2000	49
Tab. 19 : rendement moyen en ligne et rendement parcellaire des trois parcelles déterminées à partir des cartes de mesures	49
Tab. 20 : Rendement potentiel , besoin en N, besoins en fertilisation N et apports en fertilisants N sur 2 parcelles en 2000 et 2001	50
Tab. 21 : Comparaison entre l'humidité du grain mesurée par gravimétrie et l'humidité évaluée en ligne par le capteur embarqué	72
Tab. 22 : Aperçu des observations et mesures réalisées en Alsace	83

Figures :

Fig. 1 : Systèmes de gestion et domaines d'utilisation du DGPS dans l'agriculture	8
Fig. 2 : Groupes de sous projets et flux d'informations au sein du projet collectif pré-agro	14
Fig. 3 : Exploitations agricoles et leurs surfaces selon des classes dans la région d'Emmendingen	17
Fig. 4 : Zone d'étude dans le Rhin supérieur de part et d'autre du Rhin	20
Fig. 5 : Zone de protection des eaux de Weisweil ...	22
Fig. 6 : Assolements d'assainissement dans la WSG de Weisweil et directives d'exploitation	23
Fig. 7 : Photographie satellitaire de la zone de protection des eaux de Weisweil	25
Fig. 8 : Grille de mise en place pour le prélèvement d'échantillons de sol et de plantes sur les parcelles quadrillées de la KSZ de la WSG à Weisweil	32
Fig. 9 : Mesure de la conductivité électrique du sol assistée par GPS	35
Fig. 10 : Densité de prélèvement pour le calcul de la conductivité électrique du sol	36
Fig. 11 : Données brutes obtenues à partir de la mesure du rendement effectuée avec une MB équipée d'un système GPS ...	37
Fig. 12 : Menu de création d'une carte de rendement dans le logiciel « Agromap basic »	40
Fig. 13 : Régression des teneurs en phosphate des 3 parcelles culturales de la WSG de Weisweil pour les échantillons Ouest/Est sur tous les points maillés	44
Fig. 14 : Régression des teneurs en magnésium	45
Fig. 15 : Cartes des mesures de rendement en ligne dans la KSZ de Weisweil	46
Fig. 16 : Histogrammes des rendements en ligne des 3 parcelles maillées	47
Fig. 17 : Régression entre les rendements en ligne 2000 et 1999 de la parcelle I2	48
Fig. 18 : Witterheim 2000 – rendement machine	52
Fig. 19 : Witterheim 2000 – rendement biologique	53
Fig. 20 : Witterheim 2000 – cartographies de la profondeur et de la RU du sol	53
Fig. 21 : Witterheim 2000- Relation profondeur du sol – réserve utile	54
Fig. 22 : Witterheim 2000- relation rendement biologique – réserve utile du sol	54
Fig. 23 : Witterheim 2000- relation rendement bio – profondeur du sol	55
Fig. 24 : Witterheim 2000- emplacement des ronds de cailloux	55
Fig. 25 : Witterheim 2000- cartographies des teneurs en éléments fertilisants	57
Fig. 26 : Witterheim 2000- cartographies du peuplement et de la densité en épis	57
Fig. 27 : Witterheim 2000- cartographie de la biomasse	58
Fig. 28 : Witterheim 2000- cartographies du PMG et du nombre de grains /m ²	58
Fig. 29 : Witterheim 2000- azote prélevé en kg/ha	59
Fig. 30 : Witterheim 2000- état de nutrition azotée	59
Fig. 31 : Ebersheim 2000 – cartographie du rendement machine	61
Fig. 32 : Ebersheim 2000 –cartographie du rendement biologique	62
Fig. 33 : Ebersheim 2000 –cartographies de la profondeur et de la RU du sol	62
Fig. 34 : Ebersheim 2000 – relation entre profondeur du sol et réserve utile	63
Fig. 35 : Ebersheim 2000 –relation entre le rendement bio et la réserve utile	63
Fig. 36 : Ebersheim 2000 –relation entre rendement bio et profondeur du sol	64
Fig. 37 : Ebersheim 2000 –cartographies des éléments stables du sol	65
Fig. 38 : Ebersheim 2000 –cartographies du peuplement et du nombre d'épis	66
Fig. 39 : Ebersheim 2000 –cartographie de la biomasse	66
Fig. 40 : Ebersheim 2000 –cartographies du nombre de grains/m ² et du PMG	67
Fig. 41 : Ebersheim 2000 –cartographie de l'azote prélevé par la culture	67
Fig. 42 : Ebersheim 2000 –relation entre le rendement biologique et l'azote prélevé	68
Fig. 43 : Ebersheim 2000 –cartographie de la nutrition azotée	68
Fig. 44 : cartes matricielles de mesures sur les 3 parcelles de la KSZ de la WSG de Weisweil	70
Fig. 45 : cartes de mesures de la résistivité électrique à Weisweil	71
Fig. 46 : rendements en ligne dans la WSG de Weisweil	75
Fig. 47 : Modélisation des rendements des parcelles de maïs à Weisweil...	76
Fig. 48 : Comparaison des intrants et des résultats de rendement ...	77
Fig. 49 : Rendement biologique sur trois ans (2000-2002) en Alsace	84

ITADA

Rapport de synthèse du Projet 1.1.1

Application de techniques d'agriculture de précision dans la région du Rhin Supérieur : analyse et interprétation de la variabilité intraparcellaire

CHEF DE PROJET	Ivika RÜHLING (IfUL), Müllheim	D
PARTENAIRES	Didier LASSERRE (ITCF), Colmar Jean Marc MULLER (ITCF), Colmar	F F
ORGANISMES ASSOCIES	entrepreneurs agricoles Entreprise Herbert und Josef Binder GmbH am Kaiserstuhl (a.K.), D-Forchheim Entrepreneur G. Dutter, F-Witternheim U. Zehner Sté Zehneck, Büro für Umwelt und Geowissenschaften, D-Buggingen Exploitants agricoles des communes de Weisweil et Forchheim a.K. (D) et du département du Bas-Rhin Dr H.Bach, Sté Vista, Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, D-München Sté Agrocom, D-Bielefeld	
CONTACTS	Projet "Virtuelle Flurbereinigung", entrepreneur L. Riegger, D-Riedhausen	
DUREE DU PROJET	01.07.1999 - 31.12.2001	

1 INTRODUCTION

Depuis plusieurs dizaines d'années déjà, la recherche agronomique étudie l'impact sur l'environnement et la stabilisation des revenus du monde agricole. La raréfaction constante des ressources naturelles génère le besoin de rechercher des solutions de développement de systèmes de gestion et de techniques agricoles allant dans le sens d'une "agriculture durable" et prenant en compte cette thématique de départ. Posé de manière concrète, le problème consiste à mettre en œuvre encore plus efficacement les moyens de production (objectif économique). Les ressources que sont le sol, l'eau et le climat, etc., peuvent également être affectées, d'où la possibilité d'orienter le choix des moyens de production en fonction de l'utilisation des ressources naturelles (objectif écologique).

Depuis une quinzaine d'années, on s'efforce de prendre en compte l'hétérogénéité des sites pour le choix d'un mode d'exploitation et dans le cadre des technologies travaillant à l'échelle intra-parcellaire. Les progrès techniques en matière d'équipements permettant de "contourner" cette hétérogénéité ont connu une évolution très rapide. Ce n'est que depuis très récemment que l'on soumet des recommandations pour une utilisation économique de ces possibilités bénéficiant d'une technologie de pointe. L'agriculture de précision peut être définie comme la

combinaison d'une technique utilisée à l'échelle intra-parcellaire avec des décisions et des objectifs d'exploitation, ainsi que des solutions et conseils de pratiques prenant en compte l'hétérogénéité des sites. Les principes de décision réunissent les différentes pratiques agricoles spécifiques de chaque site et déterminent la mise en œuvre des instruments employés.

Ce principe de culture ou de production pratiquée sur des petites zones compartimentées se caractérise par une application des pratiques agricoles en fonction de la position géographique, effectuée en tenant compte des mesures et données d'exploitation, ainsi que des caractéristiques des sites (par ex. données issues de la télédétection, données du sol, modèles de terrains numériques, etc.), avec une définition plus grande que celle de la parcelle, autrement dit avec une précision "intra-parcellaire" ou "appliquée à un site spécifique". Le système, constitué par les moyens mis en œuvre (équipements et mesures prises) et les critères de décision (décisions d'exploitation), peut aussi concerner une pratique agricole en particulier, comme par exemple la fertilisation ou la récolte. Mises en pratique au niveau intra-parcellaire ou à l'échelle d'un site spécifique (géocodées), ces mesures relèvent de l'agriculture de précision – que l'on désigne également par production à l'échelle intra-parcellaire ou adaptée à un site spécifique ou la gestion des ressources à l'échelle locale (synonymes en anglais : "precision farming", "precision agriculture", "site specific farming").

Le remembrement agricole virtuel ou l'exploitation par lots sont également des techniques qui font appel aux mêmes outils que l'agriculture de précision. Les décisions d'exploitation peuvent être prises au niveau intra-parcellaire ou inter-parcellaire (Fig. 1.1). Pour créer des unités d'exploitation (parcelles culturales) de plus grande dimension ou offrant un meilleur rendement, il est tout d'abord nécessaire de mettre en place des mesures visant à modifier la structure des parcelles et à gérer leur exploitation en commun. Là encore, on peut faire intervenir les outils techniques de l'agriculture de précision pour optimiser l'exploitation des surfaces cultivées.

Le positionnement rapide par le biais du "(Differential) Global Positioning System" (Fig. 1), ou système de localisation et de navigation assistées par satellite, est l'un des instruments ayant largement contribué à diffuser et à faciliter la mise en pratique de l'agriculture de précision. Cela fait plus de 15 ans que l'on utilise le GPS dans l'agriculture, dans le but d'effectuer des relevés de surfaces ou de points d'échantillonnage, et de calculer, en temps réel, la position des machines équipées d'un système GPS ou encore d'indiquer des trajectoires à suivre aux engins. Cette période correspond à une phase de développement intensif, notamment dans l'évolution de la technologie des machines travaillant à l'échelle intra-parcellaire, associée à celle du positionnement et de la navigation, ainsi qu'aux ordinateurs embarqués (collecte et traitement de données géocodées¹).

¹ Géocodage : paramètres avec indication de position (coordonnées).

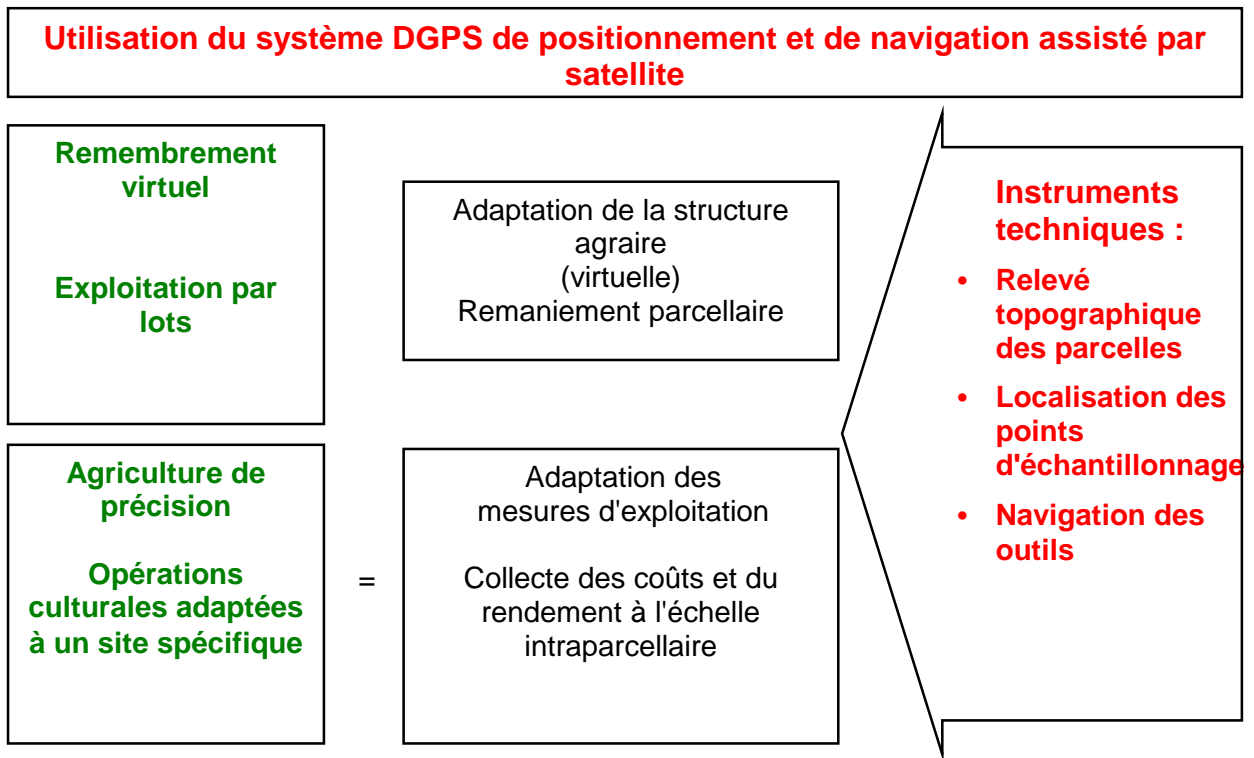


Fig. 1 : Systèmes de gestion et domaines d'utilisation du DGPS dans l'agriculture.

Les progrès considérables réalisés dans la technologie des machines agricoles et des capteurs permettent de nos jours d'effectuer des mesures de rendement géocodées et continues pour les plantes sarclées et les cultures moissonnées, la fertilisation, la protection phytosanitaire, les semis ou encore pour le travail du sol.

Les données spatiales réunies peuvent ensuite être traitées à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) et de logiciels de géographie, tels que les programmes de cartographie numérisée et d'évaluations géostatistiques. Dans la pratique agricole, ces données sont le plus souvent exploitées pour réaliser de cartes de diagnostics et d'applications.

Les mesures permettant d'atteindre l'objectif d'exploitation contribuent d'une manière décisive dans les résultats obtenus. Pour les opérations culturales, ces mesures sont les décisions prises en fonction du site spécifique, concernant le travail du sol, les semis, l'entretien général des parcelles, la protection phytosanitaire et la fertilisation. L'agriculteur, ou le chef d'exploitation, détermine les mesures grâce auxquelles il escompte atteindre l'objectif visé - seuls des critères de décision tels que ceux mentionnés ci-dessus permettront de mettre en œuvre efficacement la technologie décrite jusqu'ici. Afin de mettre en pratique les critères d'exploitation, notamment ceux qui visent à optimiser la fertilisation au niveau intraparcellaire, des règles de calcul (algorithmes) ont déjà été développées (Sommer et Voßhenrich 2000, Brozio et al. 2000, Dammer et Ehlert 2000) ou sont actuellement en cours d'élaboration dans le cadre de projets de grande ampleur (Werner et al. 2000). Ainsi, il est possible de traduire concrètement les besoins en substances nutritives constatés sur une surface spécifique en apport d'éléments nutritifs et en fumure pour une parcelle donnée. Cette méthode nécessite de connaître les teneurs en substances nutritives de base du sol, que l'on peut obtenir par le biais d'échantillonnages. A partir de ces données, ou plus exactement des cartes de substances nutritives (cartes de diagnostic), l'exploitant peut, en fonction du rendement souhaité, moduler la fertilisation selon le du taux d'approvisionnement de chaque zone parcellaire. La carte d'applications indique la répartition de fumure au sein de la parcelle ; numérisée, elle sert à

gérer les quantités d'apports dans l'épandeur pour chaque partie du terrain. Le programme informatique développé à cet égard représente une exigence technique essentielle – la décision d'exploitation revenant en définitive toujours à l'agriculteur.

Les premiers résultats et évaluations concernant l'ajustement des "rendements DGPS", du MSDR et des données des sols avec les données de télédétection pour le Land BW sont consignés dans le rapport sur le projet pilote du MLR : *"Erprobung einer teilflächen-spezifischen Bewirtschaftung zur Reduzierung / Optimierung des Düngaufwandes in Wasserschutzgebieten für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und eine optimale Standortnutzung mit Einsatz der DGPS-Technik und Fernerkundung."* (Bach et Rühling 2001). Ce projet pilote représente une contribution à la politique de pratiques culturales respectueuses de la nappe phréatique menée dans une zone de protection des eaux.

Le présent rapport comprend tous les résultats du projet *"Nutzbarmachung von Verfahren der Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein: Analyse und Interpretation der Variabilität von Ackerflächen in der Rheinebene"*, mené entre novembre 1999 et décembre 2001 à l'IfuL (Müllheim) dans le cadre du programme Interreg II. Ce rapport a pour objectif la collaboration transfrontalière entre la France, l'Allemagne et la Suisse dans la région du Rhin supérieur, coordonnée par l'ITADA. Il présente des mesures et résultats effectués jusqu'au mois de mars 2001 inclus, ainsi que leurs évaluations. Les résultats de l'année 2001 seront complétés dans une version définitive.

2 OBJECTIFS DU PROJET

Le projet avait pour objectifs principaux :

1. l'étude de la variabilité de parcelles culturales :
quels degrés d'hétérogénéité des différents sites et des rendements doivent être pris en compte lors de leur exploitation ?
2. la mise en oeuvre de la "technologie GPS" à l'échelle d'une "exploitation individuelle" ou sur "plusieurs exploitations" :
 - comment organiser l'utilisation des équipements ?
 - quelles exigences formuler quant à la collecte et au traitement des données ?

Sélection des partenaires du projet :

Les partenaires du projet devaient être des instituts spécialisés ou des experts des régions frontalières suivantes : Bade du Sud (Allemagne), Alsace (France) et nord-ouest de la Suisse. Le niveau d'expérimentation de l'institut suisse FAT (Institut de recherche de Tänikon) était la mise en oeuvre d'une mesure de rendement en ligne. La Suisse n'a pas pu pour sa part dégager des moyens financiers pour collaborer concrètement dans le cadre du projet, et il a par la suite été convenu d'un simple échange informel.

Au cours de la phase d'observation du projet, un programme commun d'étude et d'analyse a été défini avec la France sur la base des conditions techniques et de celles afférentes au projet. Ses résultats seront exposés dans le présent rapport.

3 ETAT DE L'AGRICULTURE DE PRECISION DANS LES PAYS PARTICIPANT AU PROJET

3.1 Bade-Wurtemberg

En Bade-Wurtemberg, on recense actuellement 2 projets dans le cadre desquels des agriculteurs se sont regroupés dans le but de pratiquer une exploitation par lots par le biais de la mise en commun de leurs parcelles (Tab. 3.1). Le projet Ettleben, dans la région de Schweinfurt, est en cours depuis 2000 (Friedl 2001, Anonyme 2001a) : Il concerne au départ 11 exploitants, qui se sont associés pour échanger et remanier volontairement 313 ha de parcelles (cf. Chap. 7.4), auxquels sont venus s'ajouter 168 ha supplémentaires compris entre les voies de circulations existantes. Ce regroupement des parcelles en unités d'exploitation de taille plus importante n'a affecté ni les contrats de fermage, ni les régimes de propriété. Il a été réalisé par une société à l'aide d'un SIG en tant que projet pilote, mené sur une période de 8 mois. La platitude des terrains concernés et les faibles variations dans les rendements des sols ont contribué à faciliter la mise en application du projet.

Les étapes importantes à respecter lors du remembrement virtuel pour une exploitation par lots sont (Auernhammer et Mayer 2000) :

1. la définition d'un lot :
accord visant à organiser l'utilisation et le rapprochement des parcelles gérées par une exploitation ou par les exploitants participant au projet.
2. la délimitation des parcelles :
s'il existe des bornes, il est nécessaire de valider leur position. Là où il n'y en a pas, la délimitation des parcelles doit être déterminée à l'aide de photographies aériennes ou d'une mesure topographique assistée par GPS.
3. l'affaissement des bornes :
les bornes affaissées peuvent être localisées par magnétisme.
4. la définition d'assolements communs :
par accord entre les agriculteurs, pas nécessaire en cas de monoculture.
5. la fixation d'objectifs de culture :
centrés sur le rendement (économique) :
 - centrés sur la propriété
 - selon un objectif de rendement commun
 - définis à l'échelle intra-parcellairecentrés sur l'environnement (écologique) :
 - limitation de l'érosion
 - préservation du paysage

Dans le cadre du projet Riedhausen (cf. chap.7.4), les parcelles mises en commun sont de surcroît cultivées en appliquant l'agriculture de précision (Anonyme 2000, Süß 1999, Lenge 2000).

Tab. 1 : Aperçu des projets d'agriculture de précision et d'exploitation par lots en Bade-Wurtemberg :

Projets pilotes, activités et recherche :

- remembrement virtuel, Projet Ettleben, gestion commune de parcelles,
- exploitation par lot, Riedhausen sous la responsabilité scientifique de l'institut FH Nürtingen, Prof. Mohn : études de la rentabilité,
- coopérative ZG Karlsruhe : prise d'échantillon et analyse des sols intra-parcellaires ; en collaboration avec l'Université de Hohenheim, thèse : le GPS - un instrument d'amélioration de l'économie en régions de cultures dotées de petites structures d'exploitations' ? (Schreiber 2000).

Projet annexé pre agro :

Système de management pour une conduite des cultures intra-parcellaire dans le but d'augmenter la rentabilité de l'agriculture et d'améliorer la préservation de l'environnement.

Conduite de projet : Dr. A. Werner, ZALF e.V. Müncheberg,

Publication : Dr. E. Kloepper, KTBL Darmstadt

Partie "Economie" Uni Hohenheim (Dabbert et Kilian 2000).

Certains entrepreneurs proposent jusqu'à présent différents services et technologies, dont la palette varie du mesurage des parcelles par GPS à la mesure géocodée du rendement en ligne, en passant par la fertilisation modulée en fonction des données spatiales. Les tableaux récapitulatifs qui suivent mettent en évidence les coûts engendrés par les investissements et les prestations de service.

Afin de souligner l'importance des coûts qu'entraîne le recours à l'agriculture de précision, des données dépassant le cadre du Bade-Wurtemberg sont également mentionnées plus loin dans ce rapport.

Les coûts annuels (Tableau 2) ont été calculés d'après la méthode des annuités (Zeddies 1998 dans Schreiber 2000). Pour une exploitation de 800 ha, l'utilisation d'un deuxième ACT (ordinateur de bord et récepteur GPS) entraîne une hausse des coûts d'investissement, qui augmentent à 48573 €. On a par ailleurs établi une dépense moyenne comprise entre 30677 et 35790 €, correspondant aux coûts engendrés par l'acquisition d'équipements supplémentaires pour une exploitation intra-parcellaire, concernant la récolte, les semis en lignes, l'application d'engrais, la protection phytosanitaire, le SBA et le DGPS, ainsi que le matériel informatique (Ostheim 2000, Schreiber 2000). Les coûts afférents aux réparations, à la maintenance et à la main d'œuvre n'ont pas été pris en compte. Outre le blé, les betteraves à sucre, les pommes de terre et le colza, les surfaces cultivées n'étaient constituées que de 4,4 % de maïs.

Tab. 2 : Présentation des coûts et des économies ou augmentations de rendement nécessaires pour parvenir au seuil de rentabilité, selon différentes tailles d'exploitations

		Surface cultivée en hectares			
Donnée	unité	100	200	400	800
Coûts					
Coût d'investissement	€	35.000	35.000	35.000	47.500
Coût annuel (intérêt 8 %) Amortissement sur 5 ans	€/an	8.766	8.766	8.766	11.897
Coût annuel par ha	€/ha	87,66	43,83	21,92	14,87
Augmentations de rendement ou économie en intrants nécessaires					
Augmentation nécessaire du rendement naturel jusqu'à la couverture des charges	%	9,7	4,9	2,4	1,7
Réduction nécessaire de charges variables jusqu'à couverture des coûts					
Semences	%	101,1	50,6	25,3	17,2
Engrais achetés	%	77,9	39,0	19,5	13,2
Protection des cultures	%	86,7	43,3	21,7	14,7
Total semences, engrais, produits phyto	%	29,2	14,6	7,3	5,0

Source : Schreiber (2000), modifié d'après Wagner (1999)

Ces modèles de calcul (cf. également Tableau 3) montrent que les exploitations de 100 ha doivent bénéficier d'une augmentation importante de rendement (presque 10 %) pour pouvoir rentabiliser les coûts d'investissement qui, avec 90 €/ha ou plus, s'avèrent considérables. Les structures du Bade-Wurtemberg dotées d'exploitations de plus petite taille devraient par conséquent envisager des coûts d'investissement de cet ordre, voire encore plus élevés.

Tab. 3.: Coûts d'investissement engendrés par l'agriculture de précision selon différentes tailles d'exploitations

Equipement de l'exploitation	Coûts (€) d'investissement	Surface cultivée [ha]	Coûts [€/ha]	Source
2 distributeurs d'engrais 1 pulvérisateur 1 semoir de précision 3 Mois. batteuses DGPS + capteur de rendement	98 321	3900	25	Schmerler, J. und Großkopf, M. (1999): Weniger Betriebsmittel und höhere Erträge, DLZ Sonderheft 10, 92-95.
	38 347	100	96	Wagner, P. (1999): Besseres Management, DLZ Sonderheft 10, 96-98.
Cartographie du rendement			26	Agrosat Consulting GmbH, Baasdorf

S'il décide de mettre en œuvre l'agriculture de précision en faisant appel aux services d'une entreprise spécialisée, le chef d'exploitation devra considérer les coûts détaillés ci-après (Tab. 4). D'autres auteurs parviennent aux mêmes résultats (Ostheim 2000).

Tab. 4 : Coûts générés par les prestations en agriculture de précision (sélection)

Mesures	Coûts [€/ha*a]	Source
Mesure des surfaces	1,5 - 5	AgriCon, Jahna, R. Schwaiberger
Prise d'échantillons de sol	8 - 18	Agrolab, Oberhummel
Cartographie de rendement	6	Wimex GmbH, Baasdorf, Wagner; U.
Estimation du rendement avec télédétection	2,6	Wimex GmbH, Baasdorf, Wagner; U.
Logiciels d'application	3	Landwirtschaftsberatung Greifswald
Réalisations d'applications techniques	4	Wimex GmbH, Baasdorf, Wagner; U.
Total (moyenne)	23	Wimex GmbH, Baasdorf, Wagner; U.

Dans le cadre du mémoire mentionné ci-dessus (Schreiber 2000), 42 exploitations de la région de la Bade n'ayant encore jamais eu recours aux technologies de l'agriculture de précision ont été consultées. Elles ont été sélectionnées selon les critères suivants : les exploitations présentent toutes un potentiel d'expansion sur un horizon de plus de 5 ans et ont une taille minimale de 20 ha. Elles ont été choisies par leurs responsables régionaux à partir du fichier clients général de la Coopérative (ZG) de Karlsruhe. Les chefs d'exploitation ont fait part de leur intérêt concernant un mode d'exploitation intra-parcellaire, ainsi que de leur volonté, entre autres, d'utiliser l'informatique au sein de leur exploitation et de travailler en collaboration avec d'autres agriculteurs. Les critères décisifs quant à la décision de pratiquer une exploitation intra-parcellaire ont été la simplification des exigences techniques comme par ex. au niveau du maniement des outils utilisés jusqu'au traitement des données ainsi que la collaboration entre exploitations dans le but de regrouper de plus petites surfaces cultivées.

Si les industriels, fournisseurs et autres étaient à même de proposer un soutien adapté allant au delà de l'échelle de l'exploitation agricole, l'adhésion à ce mode de culture serait alors considérée comme un investissement rentable.

Le projet le plus important concernant l'étude et l'application de l'agriculture de précision sur l'ensemble de l'Allemagne est le programme collectif "preagro" (Tableaux 2 et 5, Fig. 1), intégrant des sous-projets menés à l'échelle des Länder, y compris dans le Bade-Wurtemberg (source : Projektübersicht pre agro, état : 2001) :

Le sous-projet "Ökonomie" fait état des effets économiques impliqués par la mise en pratique de l'exploitation intra-parcellaire dans les zones concernées. On ne dispose jusqu'à présent que de résultats recueillis au cours d'une année d'essais, basés sur une seule culture (le blé d'automne), d'où l'impossibilité de tirer à l'heure actuelle des conclusions générales sur la rentabilité de l'agriculture de précision. De même, du fait des fluctuations constatées d'une année sur l'autre au niveau de la variabilité spatiale, il est impossible de déterminer quelles sont les mesures intraparcellaires "optimales" sur la base d'essais pratiqués seulement sur une période d'un an. Jusqu'à aujourd'hui, on n'a pas pu atteindre une marge brute supérieure en mettant en pratique la modulation intra-parcellaire dans les essais menés dans le cadre du projet.

Tab. 5 : Aperçu du projet **pre agro** (source : Projektübersicht pre agro, état : 2001)

<ul style="list-style-type: none"> • soutenu par le Ministère fédéral de la Recherche (BMBF) du 1.1.1999 au 31.12.2002. • 22 sous projets (Institutionen) qui sont rassemblés dans 6 groupes de projets plus un projet global, dans 5 domaines avec 16 exploitations agricoles, 3 entrepreneurs agricoles et une CUMA de matériel et 17 partenaires de projet issus de la recherche, de l'industrie et des entreprises prestataires de services. <p>Domaines :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. test de la mise en pratique 2. analyse des sites et des végétations 3. Management de l'exploitation de l'information 4. Analyse de l'effet 5. Coordination <ul style="list-style-type: none"> • Sites et exploitations des projets: 	
<p>en Bavière :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zeilitzheim <ul style="list-style-type: none"> - 6,9 ha îlot de betterave à sucre - 6 parcelles - cartographie du rendement de la Betterave encore problématique - Landshut 	<p>Dans d'autres Länder:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Raesfeld (NRW) - Groß Twülpstedt (NS) - Baasdorf (SA) - Raguhn (SA) - Thumbby (S-H) - Kassow (MV)

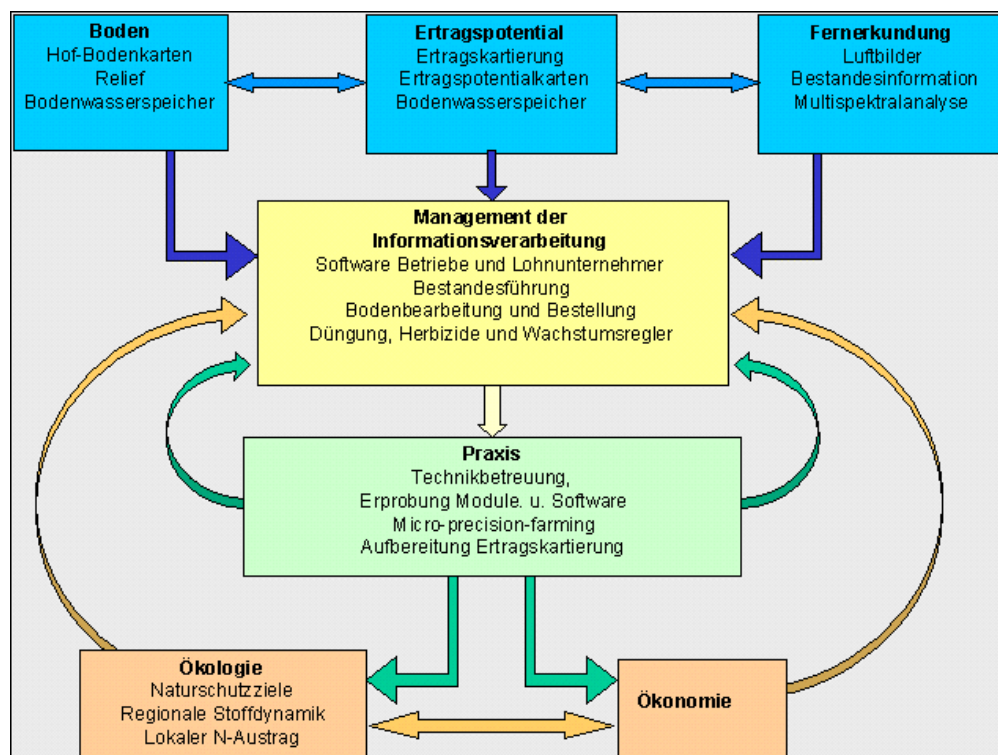


Fig. 2 : Groupes de sous-projets et flux d'informations au sein du projet collectif **pre agro**. Source : <http://www.preagro.de/index.php3> (2001).

3.2 France (Alsace)

3.2.1 Situation actuelle de l'agriculture de précision en France

La pratique de l'agriculture de précision en France a débuté en 1996 pour les pionniers de cette nouvelle technologie de l'information. Actuellement, en 2001, 150 utilisateurs (agriculteurs et entrepreneurs) sont équipés d'un capteur de rendement couplé à un GPS. En parallèle, une vingtaine d'appareils permettant la modulation des intrants (essentiellement des épandeurs à engrais) sont utilisés.

La réticence des agriculteurs vis à vis des nouvelles technologies ou leur coût élevé peuvent expliquer le retard relatif de la France comparativement au reste de l'Europe du Nord et aux Etats Unis, mais il existe d'autres raisons comme l'absence d'information quant à l'intérêt économique ou même le manque d'accompagnement des structures de la recherche et du développement.

Parmi les 150 agriculteurs qui ont fait le premier pas en achetant un capteur de rendement et un système GPS, beaucoup s'interrogent et attendent un accompagnement aussi bien au niveau du conseil d'utilisation que du développement d'outils d'aide à la décision.

Structures et organismes impliqués en France :

- Les organismes de recherche et d'enseignement montrent un intérêt croissant pour ces techniques : l'INRA s'implique de plus en plus, l'ENSA de Montpellier et l'ENITA de Bordeaux ont créé une spécialisation agroTIC, l'agriculture de précision y tient une place prépondérante. L'ENESAD et le CEMAGREF ont créé une UMR spécialisée en agriculture de précision.
- Le développement agricole est également partie prenante du projet : l'ITCF s'est impliqué depuis 10 ans, l'AGPM collabore avec l'ITCF depuis 3 ans, le CETIOM s'y intéresse depuis 2 ans et l'ITV va lancer un programme agriculture de précision. L'ITB n'en fait pas une priorité aujourd'hui mais s'implique tout de même dans l'utilisation des nouvelles technologies dont le GPS.
- Les sociétés commerciales et notamment les constructeurs français s'impliquent au niveau Recherche et Développement mais s'affichent timidement sur cette thématique. Les sociétés de l'agrofourriture s'interrogent et avancent prudemment tandis que des sociétés spécialisées dans la télédétection se développent.
- De nombreuses coopératives ont initié une démarche agriculture de précision (programmes R&D, journées techniques) et certaines coopératives proposent des services comme la cartographie du rendement ou le géo-référencement de prélèvements.

Projets Agriculture de précision en cours à l'ITCF :

Les activités de l'ITCF sur ce thème se déclinent en 3 niveau :

1 - La collecte de l'information :

- suivi d'un réseau d'étude sur la variabilité intraparcellaire (9 parcelles en France suivies depuis 1998) dans l'optique de caractériser la variabilité intraparcellaire dans différents milieux pour le sol et les cultures et de développer une méthodologie, basée sur la géostatistique, pour une prise d'échantillon compatible avec les contraintes économiques de l'agriculteur.
- évaluation et mise au point de capteurs (capteurs de rendement, de mauvaises herbes, de protéines, mesure embarquée du N sensor et de la résistivité électrique du sol)

2 - Décision de conduite des cultures :

L'objectif est de mettre à disposition des utilisateurs des outils d'aide à l'utilisation des cartes de rendement et de développer un outil informatique basé sur le multicritère pour la fusion des

données collectées par l'agriculteur via les différents capteurs. Il s'agit aussi d'adapter des modèles agronomiques afin d'aboutir à une modulation intraparcellaire.

3 – Mise en œuvre de la modulation intraparcellaire :

L'ITCF travaille sur l'accompagnement de groupes utilisant cette technique mais teste également les différents appareils existants sur le marché.

Agriculture de précision en Alsace :

La situation alsacienne est relativement proche du constat national : on dénombre seulement 4 utilisateurs et la demande d'accompagnement est nette. Pour le moment, tous les utilisateurs sont dans la phase de collecte de l'information et presque exclusivement le géoréférencement des rendements.

3.2.2. Intérêt technico-économique de la modulation intraparcellaire

Plusieurs études ont été menées sur ce thème :

Deux agriculteurs, après avoir démarré par la cartographie du rendement de leurs parcelles en 1998 se sont équipés de matériels permettant la modulation intra-parcellaire de la densité de semis de blés mais également de la dose d'azote et d'engrais de fond. Le pilotage de la densité de semis est réalisé en fonction de la teneur en argile du sol (150 analyses de sol géoréférencées suivant un maillage d'un échantillon par hectare). La dose d'azote sur colza est modulée en fonction de la réglette CETIOM (pesées géoréférencées de plantes avec une moyenne d'un échantillon par hectare) et sur blé en fonction du N sensor (mesure embarquée de la teneur en chlorophylle de la plante) pour le pilotage du troisième apport.

Au niveau économique, les agriculteurs estiment avoir économisé 30 kg/ha de semences sur une surface de 70 ha et constatent que leur dose d'azote sur colza est passée de 210 kg N/ha habituellement à 178 kg/ha en 2001. Ainsi, entre les différentes modulations opérées, les deux agriculteurs estiment pour l'instant économiser 23 €/ha sur leur ferme (9 €/ha et 15 €/ha pour l'azote respectivement sur le blé et le colza, 30 à 38 €/ha sur le P et K, 7,6 à 9 €/ha pour les semences de blé), même s'ils reconnaissent que l'évaluation n'est pas évidente (TAP : France Agricole, 27 avril 2001)

En 1998 et 1999, l'ITCF a réalisé une étude où l'objectif était de vérifier s'il faut varier la dose d'azote sur les blés en parcelles hétérogènes. Cette étude a été faite sur le site de Boigneville sur une parcelle marquée par une forte hétérogénéité de la profondeur de sol. A l'issue des 2 ans de recherches, l'ITCF a montré que des différences de rendement de 30 quintaux par hectare de blé tendre sur une même parcelle peuvent justifier des adaptations de la fertilisation azotée non négligeables (50 à 80 kg N/ha entre les zones extrêmes de la parcelle respectivement en 1998 et 1999). Cependant, s'il est relativement aisé de déterminer les doses d'azote grâce à la méthode du bilan, caractériser les hétérogénéités de la parcelle l'est beaucoup moins. Pour décider de varier les doses d'azote, restent des outils de diagnostic en temps réel de l'état de la nutrition azotée par exemple (TAP : Perspectives Agricoles – novembre 2000).

Ces résultats semblent montrer un intérêt non négligeable de la modulation intraparcellaire au niveau technique et environnemental mais le volet économique n'est que très peu pris en compte. Une simulation de l'intérêt de l'agriculture de précision en France a donc été réalisée par l'ITCF en 2000. Cette simulation a été faite sur 3 exploitations types représentant chacune une région de grandes cultures. Dans chaque cas, la marge conventionnelle a été comparée à la marge Agriculture de précision. Deux cas ont été simulés :

Cas 1 : modulation de la dose d'engrais de fond

Cas 2 : modulation de la dose d'engrais de fond, de semis, d'herbicide.

L'ensemble des résultats figurent dans le tableau ci-dessous :

Tab. 6 : Simulation des effets économiques de l'agriculture de précision pour des exploitations types en France

Site	Poitou	Champagne	Landes
Surface	90 ha	200 ha	600 ha
Cultures	Blé, orge, maïs, pois, tournesol	Blé, betterave, luzerne, Orge H, pois, tournesol, orge P, colza	Maïs
Marge directe	340 €/ha	514 €/ha	488 €/ha
Charges en intrants	270 €/ha	320 €/ha	427 €/ha
Δ Marge			
Cas 1	- 24 €/ha	13 €/ha	38 €/ha
Cas 2	- 12 €/ha	30 €/ha	56 €/ha

En conclusion, même si cette technique participe au respect de l'environnement et à une meilleure traçabilité des productions, les gains potentiels restent limités, ciblés pour les exploitations ayant une surface importante et des charges en intrants élevées et liés à une augmentation du rendement.

4 Situation structurelle actuelle pour le projet de l'ITADA

4.1 Plaine du Rhin - Bade du Sud

Dans la région de la Bade du Sud (Rhin supérieur), l'agriculture se caractérise par des unités d'exploitation de taille modeste. L'ajustement structurel accompli par les exploitations agricoles de cette zone en l'espace de 16 ans peut être illustré par l'exemple du Dienstbezirk (circonscription) d'Emmendingen, situé au nord du Kaiserstuhl, où se trouve la zone étudiée de Weisweil (Fig. 3).

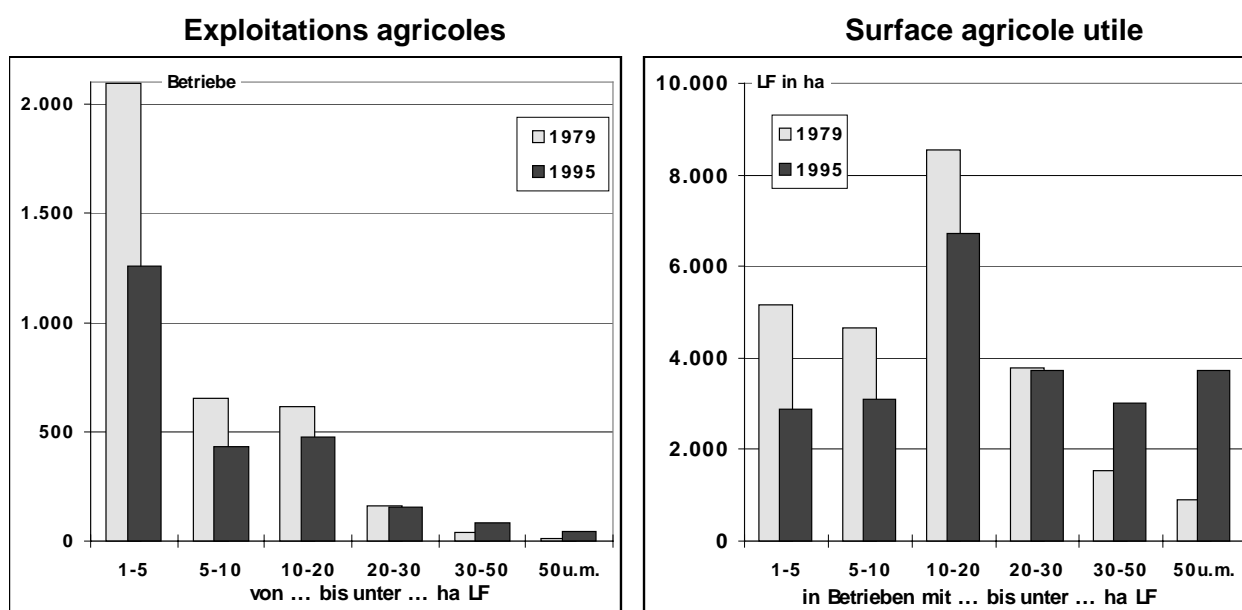


Fig. 3 : Exploitations agricoles et leurs surfaces selon des classes de taille dans la circonscription du bureau de l'agriculture de Emmendingen. source: Stat. Landesamt, Stuttgart, Bearbeitung: LEL Abt. 3, Schwäbisch Gmünd, 1998 (Infothek 2001).

Le nombre et la taille des exploitations de 30 ha et plus ont quasiment doublé. On enregistre en revanche un net recul des exploitations agricoles de 20 ha et moins, notamment de celles de moins de 5 ha, pour qui l'agriculture est l'activité principale : leur nombre a en effet diminué d'environ un tiers.

Le graphique de droite montre que la surface agricole utile des exploitations de 10 à 20 ha est en forte diminution, tendance qui profite aux exploitations de plus de 30 ha, dont le nombre est en hausse (cf. graphique "Exploitations agricoles") ; cette évolution a également une incidence sur leur surface agricole utilisée (cf. graphique "Surface agricole utile"), elle aussi en augmentation.

Avec 84 %, la part des exploitations en activité secondaire dans les communes d'Endingen, Wyhl et Weisweil se situe 15 % au-dessus de la moyenne enregistrée au Bade-Wurtemberg.

La principale culture arable dans la circonscription (Dienstbezirk) d'Emmendingen est le maïs grains, qui couvre 40 % des surfaces cultivées ; sa proportion est encore plus importante dans la vallée du Rhin. Entre 1979 et 1995, la surface cultivée a doublé, avec une tendance à la baisse pour les cultures de céréales à paille. Cette évolution s'est en partie effectuée au détriment du maïs ensilage, dont la surface cultivée est passée de 1084 à 691 ha. Cette baisse est due au recul de l'élevage, impliquant des besoins moindres en céréales fourragères, ainsi qu'à une couverture des besoins par des importations de soja. La sécurité de rendement garantie par le maïs, qui bénéficie également de coûts de production moindres et de rendements en grain élevés qui offrent une bonne rentabilité, est à l'origine du développement de cette culture dans la région concernée. Ces données structurelles, associées à l'augmentation du nombre des exploitations de grande taille, ont une incidence considérable sur les décisions d'exploitation, de même que sur les possibilités et les limites de l'utilisation des sols. Avec des parcelles cadastrales ou culturelles dont la taille moyenne est inférieure à 1 ha, le périmètre de protection des eaux de Weisweil, décrit plus en détail ci-après, présente cette structure parcellaire morcelée. Dans ce secteur, environ 75 % des surfaces sont cultivées en maïs grains (Stöcklin 1998).

4.2 Plaine du Rhin - Alsace

La plaine d'Alsace se caractérise, malgré une forte diminution au cours des dernières années, par un nombre élevé d'exploitation et une surface moyenne régionale voisine de 22 hectares. Cette faible superficie des exploitations est souvent à mettre en relation avec un parcellaire dispersé ce qui implique une taille moyenne des parcelles très faible.

Au niveau des cultures, les céréales et plus particulièrement le maïs restent les cultures prépondérantes : le maïs occupe 40 % de la SAU dans le Bas-Rhin et 43 % dans le Haut-Rhin. Il connaît d'ailleurs une nette progression ces dernières années au détriment des céréales à pailles essentiellement mais la situation se stabilise actuellement dans le Bas-Rhin. La culture du maïs implique également, pour la plaine Sud Alsace et la bordure du Rhin le recours systématique à l'irrigation.

L'ensemble des caractéristiques (cf. tableau ci dessous) font que les techniques d'agriculture de précision ne se développent que très lentement et ce particulièrement pour des raisons de parcellaire dispersé et limité. Un investissement de type GPS ou modulation intraparcellaire n'est pour l'instant réalisé que dans le cas d'une exploitation conséquente ou d'une CUMA.

On peut néanmoins l'envisager pour la constitution de lots homogènes dans le cadre de remembrement virtuel ou simplement d'échanges de terrains. Cela permettrait de rationaliser ou d'optimiser certaines interventions culturales sur des surfaces plus homogènes.

	Bas –Rhin	Haut – Rhin	ALSACE
Nb exploitations	8730	6790	15 520
Surface moyenne	22.5	21	22
Surface SCOP et jachère	112 500	97 700	210 200
Maïs grain	76 000	60 700	136 700
Blé tendre	24 200	15 000	39 200
Colza	1 820	2 550	4 370
Jachère	12 600	9 000	21 600

Tab. 7 : Structure des exploitations agricoles et répartition des cultures en Alsace
Source : AGRESTE (2000)

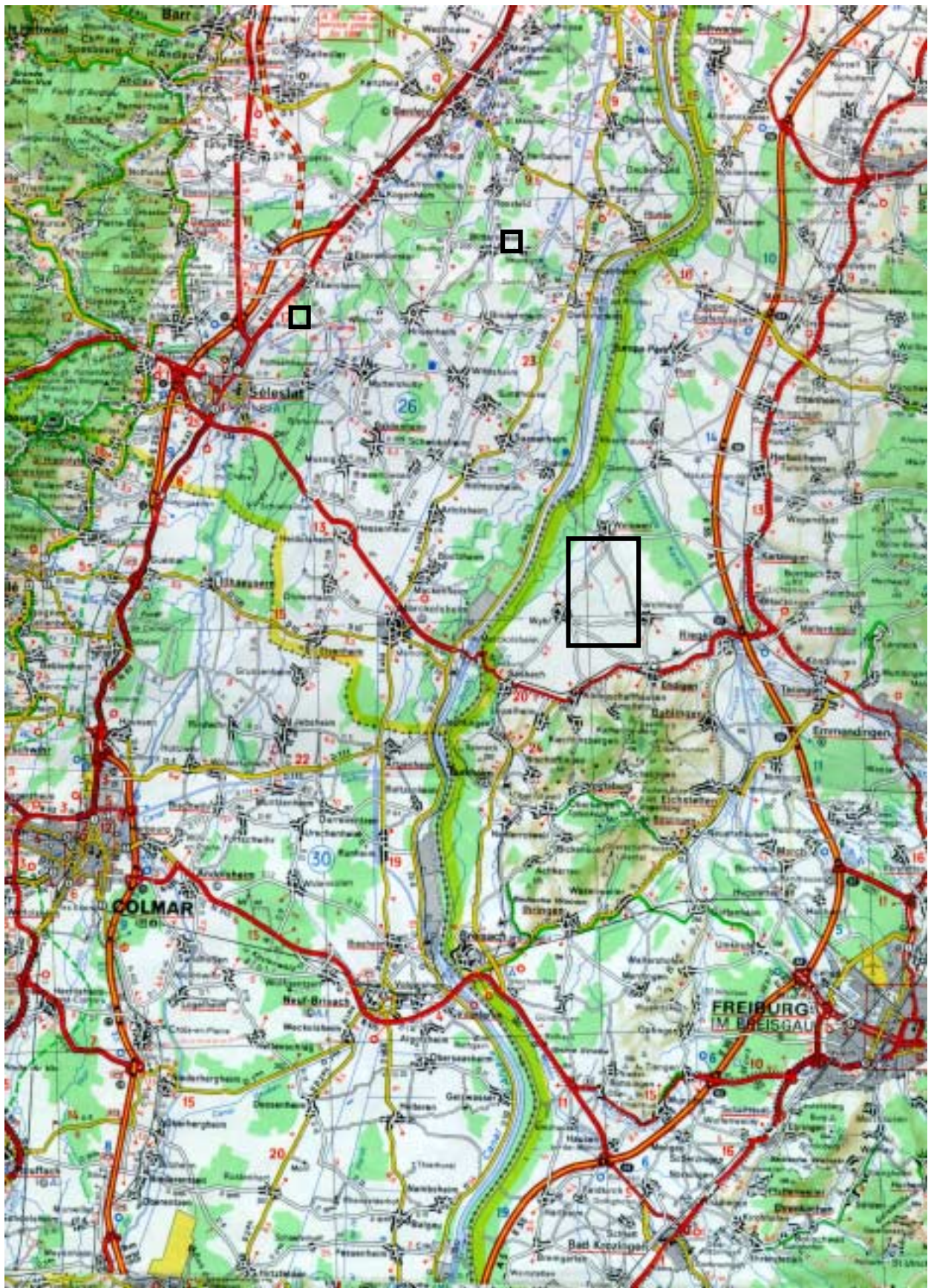


Fig 4 : Zone d'étude dans le Rhin supérieur de part et d'autre du Rhin (source: Carte Michelin 1:200.000 'Pays Rhénans')

5 Zones étudiées et sites

5.1 Bade du Sud : Weisweil (D)

5.1.1 Conditions générales dans la zone de protection des eaux de Weisweil – projet d'assainissement

Le renouvellement de la nappe phréatique est assuré en grande partie par le biais des eaux d'infiltration. L'approvisionnement en eau potable de la commune de Weisweil s'effectue depuis des couches aquifères proches de la surface, au moyen d'un puits profond (Anonyme 2001b). Dans le secteur de Weisweil et des communes avoisinantes (Tableau 7), les teneurs en nitrates de l'eau potable sont de l'ordre de 60 à 65 mg/l depuis 1985. Au regard du taux maximal de 50 mg/l prescrit par le décret sur la qualité de l'eau potable de 1986, ces teneurs rendent sa consommation dangereuse. C'est la raison pour laquelle la préfecture d'Emmendingen a accordé à la commune de Weisweil une dérogation l'autorisant à prendre un arrêté provisoire pour l'utilisation de l'eau, tout en la contraignant à développer un "concept d'activités agricoles assainissantes des nappes phréatiques", ainsi que des mesures pour la gestion de l'eau. Elaboré en 1994 dans le cadre d'un plan général d'assainissement (Rohmann et Rödelsperger 1994), ce concept prévoit des mesures concernant aussi bien la zone en elle-même que la manière d'utiliser l'eau, visant à réduire le lessivage des nitrates. La zone de protection des eaux étendue de Weisweil prévue sur 20 ha en 1993 a été définie sur 550 ha en 1995 en fonction du bassin versant potentiel (Rohmann et Rödelsperger 1994).

L'écoulement des eaux souterraines vers le puits de Weisweil s'effectue selon la direction nord-sud. L'aquifère détermine l'extension de la zone de protection, ainsi que la répartition selon les secteurs de protection dans les territoires communaux concernés, mentionnés ci-après (Tableau 7 et Fig. 5) :

Tab. 8 : Position et extension de la zone de protection des eaux (WSG) de Weisweil (Rohmann et Rödelsperger 1994)

Zone	Surface [ha]	Communes
I et II	env. 4	Weisweil
III a	env. 210	Weisweil, Wyhl et Forchheim
III b	env. 340	Wyhl, Forchheim et Endingen
Zone centrale de l'assainissement (KSZ)	env. 100	Weisweil, Wyhl, Forchheim
Zone (WSG) totale	env. 550	Wyhl, Forchheim und Endingen

Le concept du mélange a servi de base à la délimitation de la zone centrale d'assainissement. L'eau d'infiltration de la zone centrale d'assainissement se mélange à celle du reste de la ZPE, une configuration qui devait abaisser la teneur en nitrates dans la nappe phréatique à moins de 50 mg/l (Anonyme 2001b). Sur la base de ces considérations hydrogéologiques, on a imposé aux différents secteurs de la WSG des directives d'exploitation (Fig. 5) qui, au sein d'une zone centrale destinée à garantir l'assainissement de l'aquifère, vont au-delà des exigences formulées par la loi SchALVO (Fig. 6).

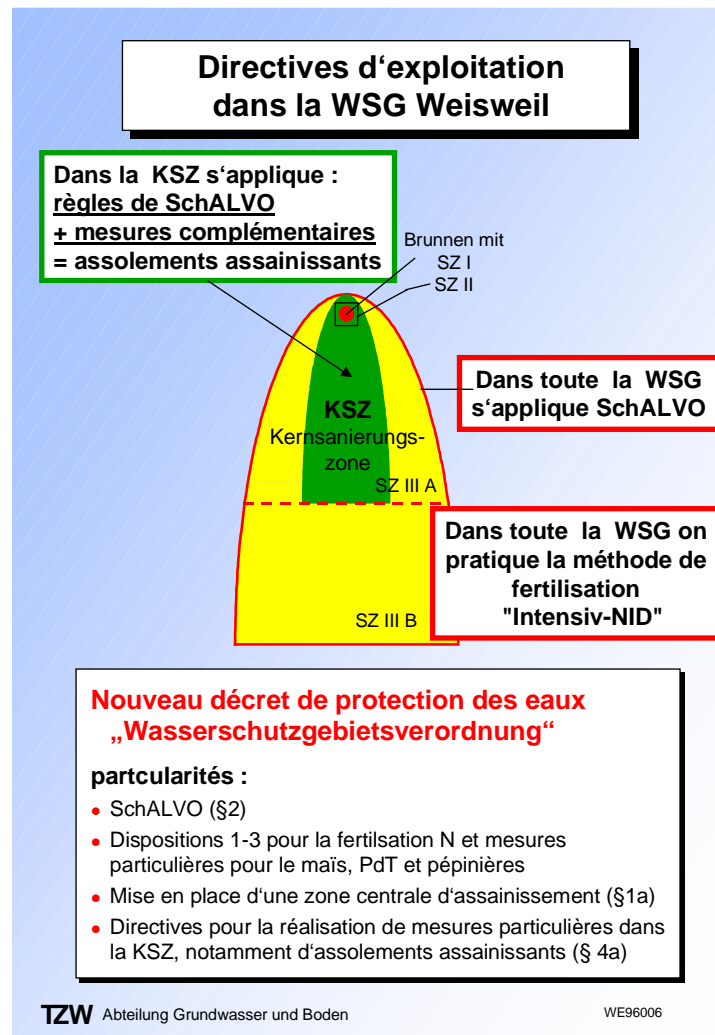


Fig. 5 : La zone de protection des eaux de Weisweil avec les secteurs protégés et les directives d'exploitation (Source : TZW de Karlsruhe, Ball 2001).

Les mesures d'exploitation suivantes devaient être mises en œuvre sur l'ensemble de la WSG au cours d'une période d'assainissement de 10 à 12 ans, de manière à empêcher toute infiltration de nitrate dans la nappe phréatique :

- Assolements respectueux de la nappe phréatique = "assolements d'assainissement"
- Couverture complète du sol par des mesures d'enherbement ("System Immergrün")
- Mise en repos du sol sur la période automne-hiver pour réduire les effets de minéralisation
- Travail du sol simplifié (option !)
- Fertilisation azotée ciblée et adaptée aux besoins spécifiques, principalement selon la méthode de mesure ("NID intensif")

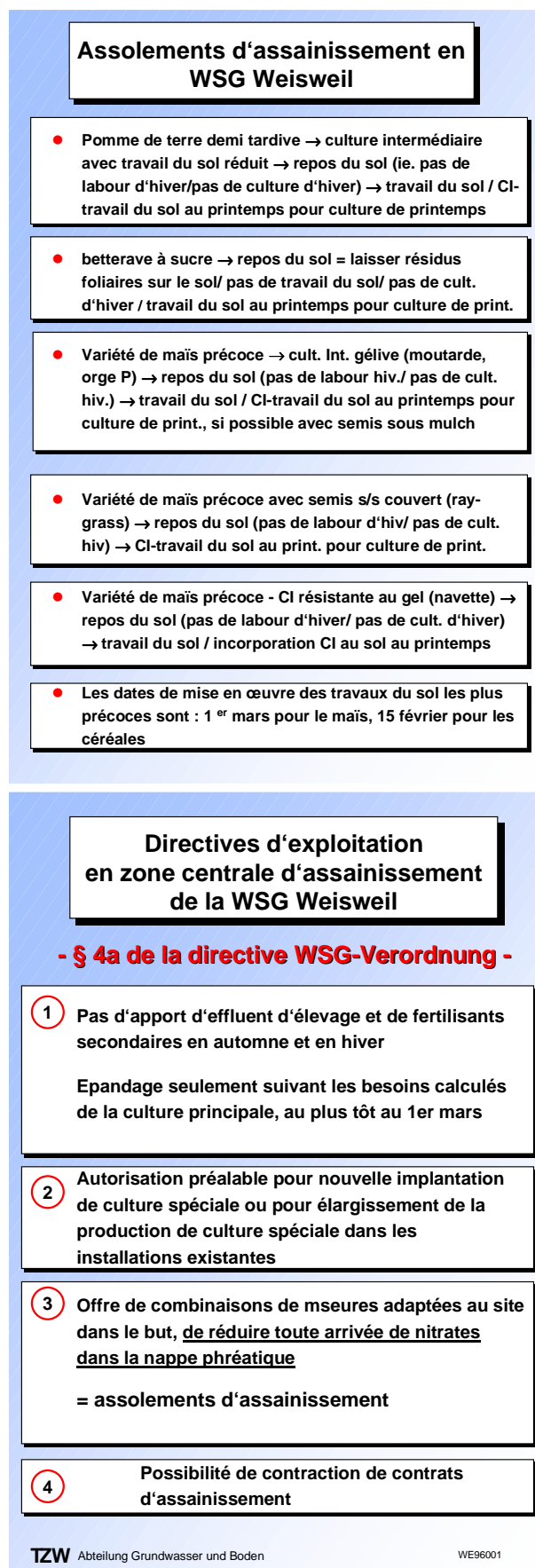


Fig. 6 : Assolements d'assainissement dans la WSG de Weisweil et directives d'exploitation dans la KSZ (Source : TZW, Karlsruhe 2001).

Etant donné qu'il s'agit ici de nouvelles méthodes d'exploitation, le Land a soumis des contrats aux exploitants, fixant des obligations et des paiements compensatoires de 179 €/ha destinés à contrebalancer les pertes de rendement et les surcoûts, à titre de compensation forfaitaire. Il n'y a eu aucune restriction au niveau du paiement de compensations individuelles. Par ces contrats, les exploitants s'engageaient à observer les directives du règlement concernant la WSG (§ 4 Alinéa 3), de même qu'à pratiquer une fertilisation du maïs au niveau inter-exploitations. Entre 1997 et 1999, la culture de variétés de maïs précoces et le "battage avant le 15 septembre" avaient un caractère obligatoire.

D'après les dernières indications de la Préfecture de Freiburg, ce concept d'assainissement n'est plus en vigueur dans la WSG de Weisweil. On a déjà creusé un nouveau puits sous une zone forestière située à l'ouest de la WSG de Weisweil, destiné à assurer l'approvisionnement en eau du secteur. Le renouvellement de la nappe phréatique dans la WSG, telle que cette dernière existait jusqu'à présent, était trop faible pour permettre de respecter les teneurs limites en nitrates. Eu égard à cette évolution de la situation, les contrats d'exploitation ne seront pas reconduits et ne resteront en vigueur que jusqu'en 2001. La SchALVO s'applique lorsque aucun contrat n'a été conclu.

5.1.2 Zone étudiée – sélection et caractéristiques

La zone étudiée de Weisweil comprend, entre autres, la surface agricole utile des communes de Weisweil, Wyhl, Forchheim et Endingen ; elle est circonscrite géographiquement selon les limites de la WSG de Weisheim (Fig 7). Elle existe depuis 1995. Sur la base des études déjà menées dans la WSG de Weisweil et des directives sur des interventions culturales respectueuses de la nappe phréatique, on s'est également servi de cette zone afin d'y étudier la variabilité des parcelles ainsi que la mesure de rendement en ligne assistée par GPS.

La WSG de Weisweil est exploitée exclusivement à des fins agricoles. Le maïs grains est la culture dominante. On y trouve également des céréales à paille, ainsi que des cultures spécialisées (production maraîchère, pépinières). La zone étudiée est située sur des terrasses basses constituées d'une couche de loess, au relief plat ou en forme de replat, au nord du Kaiserstuhl (Schuler 1991). Les sols constituant la WSG de Weisweil ont été profondément modifiés par des pratiques culturales intensives. Il s'agit principalement de sols bruns podzoliques, voisinant avec de la rendzine. Les premiers sont constitués d'une couche de lehm épaisse de 4 à 8 dm reposant sur du limon calcaire, lui-même sur une couche de gravier calcaire et sablonneux. La limite sud de la KSG se caractérise par des sols alluviaux ou des sols à gley, dotés d'une couche de 4 à 6 dm de limon légèrement chargé de sables grossiers ou d'une couche de lehm reposant sur du gravier. La nappe phréatique est ici située entre 9 et 13 dm (ou plus) de profondeur. Dans la partie sud de la WSG, on trouve des sols à gley avec du lehm (de 3 à 6 dm) sur du limon, lui-même posé sur du sable et du gravier. Les sols bruns podzoliques et les sols à base de rendzine de la partie centrale et septentrionale de la WSG sont particulièrement fertiles et classés en indice de fertilité agronomique entre 80 et 100. Le sud de la KSG et le sud-ouest de la WSG présentent plus de sols alluviaux et de sols à gley. Les parcelles y présentent un indice de fertilité situé entre 60 et 80 (GLA 1990).

La moyenne annuelle des précipitations s'élève à environ 700 mm (sur la période 1984 - 1993, Rohmann et Rödelsperger 1994) et la profondeur moyenne de la nappe phréatique est de 4 m. La température annuelle moyenne est de 10 °C.

Les études menées dans le cadre du présent projet de l'ITADA ont pu débuter en 2000. On disposait déjà de données se référant à 1998 et 1999 pour la WSG de Weisweil. Les résultats sont consignés dans le rapport sur le projet pilote „Pilotprojekt zur Erprobung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zur Reduzierung / Optimierung des Düngaufwandes in Wasserschutzgebieten für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und eine optimale Standortnutzung mit Einsatz der DGPS-Technik und Fernerkundung“, commandité par le MLR de Bade Wurtemberg. L'objectif visé à travers ce projet pilote du MLR était de parvenir à mettre en œuvre des pratiques culturales respectueuses de la nappe phréatique et d'optimiser l'exploitation des sites au sein d'une zone de protection des eaux à dominante agricole.

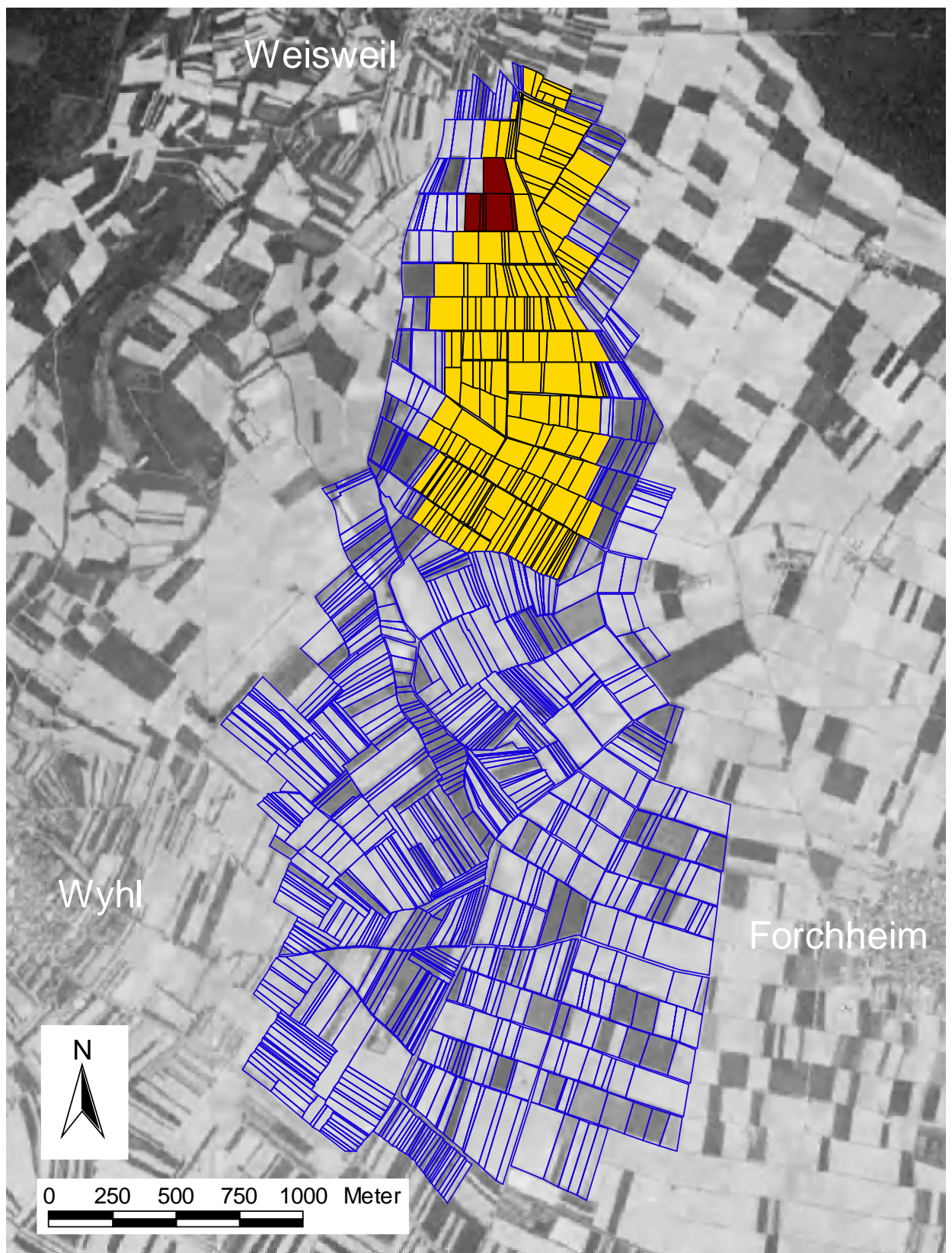


Fig. 7 : Photographie satellite KVR montrant la zone de protection des eaux de Weisweil et les limites de parcelles cadastrales avec la zone centrale d'assainissement (Bach² et Rühling 2001). Les parcelles à quadrillage sont représentées en noir et sont situées au nord de la KSZ.

² à partir du SIG de Weisweil, de la sté Vista (2001)

5.1.3 Sélection des parcelles pour l'échantillonnage quadrillé

Les études et collectes de données suivantes ont été effectuées en 1998 et 1999 dans la WSG de Weisweil :

- Mesure géocodée du rendement en ligne sur 10 à 20 parcelles.
- Collecte de composantes de rendement et échantillonnage du sol sur l'une des parcelles quadrillée d'après le schéma de prélèvement basé sur les classes de rendement du blé d'automne (KSZ) ; en 1999, prélèvements effectués sur 16 points, à partir de la carte de rendement de l'année précédente. Les analyses complètes de sol et les mesures de composantes de rendement à la récolte ont été réalisées sur ces points.
- Fertilisation azotée modulée à l'échelon intraparcellaire sur 6 parcelles, avec deux objectifs de rendement (nivellement et expression du potentiel de rendement, sur respectivement trois parcelles).

Pour évaluer la structure de rendement de différents sites, il est nécessaire de procéder à des calculs de rendement sur des parcelles déterminées géographiquement (Auernhammer 2001), basés sur plusieurs années. Si les techniques culturales modulées ou si la fertilisation ne sont pas adaptées directement à une évaluation simultanée des besoins, effectuée par exemple au moyen d'un système N-Sensor (en ligne), elles ne peuvent être réalisées qu'après la saisie de la structure de rendement. C'est pourquoi on considère les données géocodées de rendement intraparcellaire, réunies de préférence sur plusieurs années, comme un critère de décision essentiel.

En accord avec les partenaires français du projet et les trois exploitants, trois parcelles ont été sélectionnées pour y étudier la variabilité parcellaire. Elles seront désignées ci-après comme les parcelles quadrillées I1, I2 et I3.

Critères de décision :

1. récolte effectuée par l'entrepreneur avec une moissonneuse-batteuse équipée d'un système DGPS,
2. existence, si possible, de données de rendement géocodées pour les années 1998 et 1999
3. culture récoltée par battage au cours de toutes les années étudiées,
4. aucune modulation intraparcellaire de la fertilisation effectuée auparavant,
5. surfaces les plus grandes possibles.

En 2000, on a réalisé un échantillonnage quadrillé des paramètres du sol et de cultures sur les trois parcelles culturales citées (6 parcelles cadastrales), suite à quoi on a mesuré la conductivité du sol, en mars 2001.

5.1.4 Données d'exploitation et de site

Weisweil (D) : Parcelle culturale I 1

1998

Semis :	23.04.98
Travail du sol : canadien	22.04.98
Herse rotative	23.04.98
Binage	04.06.98
Variété/densité de semis : Maïs grains var. Helix, 105 000 plantes/ha	
Fumure de fond : Potasse 60 %, 180 kg/ha K ₂ O	27.03.98
DAP, 31 kg/ha N, 78 kg/ha P ₂ O ₅	23.04.98
Urée, 100 kg/ha N	04.06.98
Protection phytosanitaire : 5 l de Harpun (metolachlore+pendiméthaline)	26.04.98
Récolte :	16.09.98

1999

Semis :	04.11.99
Culture/densité de semis : Blé d'automne, 200 kg/ha	
Fumure de fond : 400 kg/ha de PK (18+10),	
72 kg/ha P ₂ O ₅ , 40 kg/ha K ₂ O	
130 kg/ha N (3 applications)	
Récolte :	22.07.99
Culture intermédiaire : Moutarde après la récolte	

2000

Semis :	18.04.00
Travail du sol :	
Espèce/Densité de semis : Maïs grains, var. Marista 85 000 plantes/ha	17.04.00
Fumure de fond : Potasse 60 %, 180 kg/ha K ₂ O	
DAP, 31 kg/ha N, 78 kg/ha P ₂ O ₅	
Urée, 69 kg/ha N	
Protection phytosanitaire : Mikado (sulcotrione)-Motivell (nicosulfuron) 0,8 l + 0,8 l/ha	
Banvel 4S (dicamba), 0,2 l/ha	
Lutte contre la pyrale : Baythroid, 0,75 l/ha	
Récolte :	16.10.00

2001

Semis :	01.05.01
Travail du sol : herse rotative	01.05.01
Variété/densité de semis : Maïs grains Benicia 85000 pl/ha	
Fumure de fond : DAP (18,46) 170 kg/ha P ₂ O ₅	
180 kg/ha K ₂ O	
100 kg/ha N	
Protection phytosanitaire : Mikado-Motivell : 1 l + 1 l/ha	
Banvel 4S 0,3 l/ha	
Récolte :	18.10.01

Weisweil (D) : Parcelle culturale I 2

2000

Semis :	22.04.00
Travail du sol herse rotative (2 passages)	03.03.00
Variété/densité de semis : Maïs grains Marista	
Fumure de fond : 170 kg/ha DAP (18 :46) ; 78 kg P ₂ O ₅	

	31 kg/ha N localisé au semis	22.04.00
	180 kg K ₂ O	25.03.00
	Urée	
Protection phytosanitaire :	1 l Mikado + 1 l Motivell	19.05.00
	0,3 l/ha Banvel 4 S	
Récolte :		16.10.00

2001

Semis :		01.05.01
Travail du sol :	labour	12.03.01
	nivellement du labour	12.03.01
	herse rotative	13.03.01
Variété/densité de semis :	Maïs grains var. Peso	
Fumure de fond :	78 kg P ₂ O ₅	
	180 kg K ₂ O	
	31 kg N/ha localisé au semis	
	250 kg urée (115 kg N/ha)	05.06.01
Fumure organique :	env. 20 t/ha de fumier porcin env. 40 kg/ha N	10.03.01
Protection phytosanitaire :	1 l Mikado + 1 l Motivell	30.05.01
Récolte :		16.10.01

Les apports d'engrais ont apporté les quantités suivantes d'éléments nutritifs (Tab. 9). Il n'y a pas eu d'apport de magnésium par les engrais minéraux.

Tab. 9 : Apports d'éléments nutritifs au maïs sur les parcelles quadrillées³ en WSG Weisweil:

[kg/ha]	parcelle I 1				parcelle I 2	
	1998	1999*)	2000	2001	2000	2001
N	131	130	100	131	110**)	147 (+40)
P ₂ O ₅	78	72	78	78	83	83 (+20)
K ₂ O	180	40	180	180	180	180 (+70)

*) blé d'hiver

**) préconisé par NID (apporté par le fumier)

Les quantités d'engrais apportées expliquent le haut niveau d'alimentation (parfois au dessus de l'optimum) en éléments nutritifs sur ces sites (cf. chap. 7.1).

Les applications d'engrais qui ont été réalisées ont apporté les quantités d'éléments nutritifs suivantes (Tab. 10).

Tab. 10 : Apports d'éléments nutritifs au maïs sur les parcelles quadrillées en Alsace :

[kg/ha]	Witternheim		Ebersheim	
	2000	2001	2000	2001
N	230	Pas d'info	220	230
P ₂ O ₅	75	Pas d'info	92	70
K ₂ O	150	Pas d'info	120	90

³ Selon les données des agriculteurs.

5.2 Alsace : Ebersheim et Witternheim (F)

5.2.1 Choix des parcelles

Le choix des sites a été réalisé en 1999. L'agriculteur retenu, M. Dutter (qui est également entrepreneur) était déjà équipé du matériel nécessaire à la réalisation de cartes de rendement. Les parcelles choisies se situent respectivement à Witternheim et Ebersheim dans un secteur assolé essentiellement en maïs grain irrigué. Cependant, le blé tendre occupe encore une place importante dans le secteur d'Ebersheim liée à la présence d'élevages

La parcelle de Witternheim :

Cette parcelle, appartenant à M. Dutter, a une surface totale de 20 ha mais la zone étudiée est de 5 hectares pour une raison de faisabilité des mesures. Cette parcelle a été choisie car elle avait déjà été cartographiée en 1998 et la zone sélectionnée présentait une forte variabilité au niveau du rendement. En effet, l'hétérogénéité de cette parcelle est à l'origine de l'équipement GPS de M. Dutter.

Le sol est de type caillouteux, peu profond (30 à 40 cm), calcaire sur alluvions caillouteuses du Rhin. Il se caractérise par une réserve utile très faible et une irrigation indispensable. La nappe phréatique est à une profondeur moyenne (3 à 5 m) et le taux de cailloux est élevé notamment par zones appelées *Heichin*.

Ce type de sol nécessite des apports d'engrais azotés fractionnés en 3 fois et des carences en oligo-éléments peuvent apparaître.

Cette parcelle est conduite en monoculture de maïs irrigué (pivot) pendant la durée du projet.

La parcelle d'Ebersheim :

Cette parcelle appartient à M. Rohmer, un client de l'entreprise de battage de M. DUTTER. Le choix a été réalisé car il s'agit d'un client volontaire et intéressé qui possède une parcelle de 2.9 hectares dans un milieu différent mais dont les signes d'hétérogénéité sont moins marqués.

Le sol est de type sableux profond sur alluvions du Giessen. Il correspond au cône alluvial du Giessen sablo-caillouteux. Cependant, la plupart des dépôts sont sableux ou limono-sableux. Ces épandages peuvent localement recouvrir des loess. Ce sol se caractérise par une sensibilité au tassement et une faible hydromorphie. Un niveau argileux peu perméable de profondeur variable (entre 70 et 120 cm) ralentit l'infiltration des eaux mais le ressuyage est tout de même rapide dans les cas les plus favorables (2 à 3 jours).

Ce type de sol nécessite des apports d'engrais azotés fractionnés en 2 fois et des amendements calciques sont indispensables pour maintenir le pH du sol entre 6.5 et 7.

Cette parcelle est conduite en rotation Maïs – Blé (dans le cadre du projet). Les cultures sont irriguées à l'enrouleur si nécessaire (essentiellement le maïs).

5.2.2 Interventions culturelles

◆ Année 2000

Parcelle Witternheim (F)

Semis le 25 / 04 / 2000,	variété Clarica 100 000 gr/ha
Désherbage :	Alachlore 5 L/ha tout en post semis pré-levée
	Prowl 1,5 L/ha
	Atrazine 1.5 kg/ha
Engrais :	500 kg/ha 0 . 15 . 30 en pré-semis soit : 0 unités N
	75 unités P ₂ O ₅ 150 unités K ₂ O
	Urée (46 %) à 100 kg/ha soit 46 unités N au semis
	Urée (46 %) à 400 kg/ha soit 186 unités N au stade 6 feuilles
	Soit au total : 232 u N/ha, 75 u P ₂ O ₅ /ha et 150 u K ₂ O /ha
Irrigation :	apports non limitants
Récolte :	10 octobre

Parcelle Ebersheim (F)

Semis le 17 / 04 / 2000, variété DK 312 98 000 gr/ha levée bonne et régulière
Désherbage : Alachlore 4 L/ha tout en post semis pré-levée (20/04/00)
Prowl 2 L/ha
Atrazine 1 kg/ha
Insecticides : Cyperméthrine 0.8 L/ha le 12/06/2000
Engrais : 200 kg/ha 18 . 46 . 0 le 10/04/00 soit :
36 unités N
92 unités P₂O₅ en pré-semis
200 kg/ha de chlorure de potassium (60%) le 10/04/00 soit :
120 unités K₂O en pré-semis
Urée (46 %) à 220 kg/ha soit 100 unités N le 14/05/00
Urée (46 %) à 180 kg/ha soit 83 unités N le 24/05/00
Soit au total : 220 u N/ha, 92 u P₂O₅/ha et 120 u K₂O /ha
Irrigation : 35 mm le 15/06/00
35 mm le 02/07/00
Récolte : 16 octobre

◆ Année 2001

Parcelle Witternheim (F)

Semis le 28 / 04 / 2001, variété Clarica 100 000 gr/ha
Désherbage : Alachlore 4.5 L/ha tout en post semis pré-levée
Prowl 1,5 L/ha
Atrazine 1.5 kg/ha
Fongicides : Amistar pro 0.8 + Opus 0.5 L/ha le 20 / 04 / 2001
Ogam 0.7 L/ha le 25 / 05 / 2001
Engrais : 700 kg/ha 12 . 8 . 18 soit :
84 unités N
56 unités P₂O₅ en pré-semis
126 unités K₂O
Urée (46 %) à 320 kg/ha soit 150 unités N au stade 6 - 8 feuilles
Soit au total : 234 u N/ha, 56 u P₂O₅/ha, 126 u K₂O /ha
Irrigation : apports non limitants
Récolte : 20 octobre

Parcelle Ebersheim (F)

Semis le 22 / 10 / 2000, Blé hiver, variété Cézanne
Désherbage : Isoproturon 2.5 L/ha le 10/11/2000
Pronto 1 L/ha le 15 / 03 / 2001
Régulateur de croissance : Cycocel C5 2 L/ha le 15/03/2001
Moddus 0.4 L/ha
Fongicides : Amistar pro 0.8 + Opus 0.5 L/ha le 20 / 04 / 2001
Ogam 0.7 L/ha le 25 / 05 / 2001
Engrais : le 15 / 03 /2001, soit :
60 unités N / 70 unités P₂O₅ / 90 unités K₂O
Ammonitrate 135 kg/ha N le 05 / 04 / 2001
Ammonitrate 33 kg/ha N le 15 / 05 / 2001
Irrigation : Non
Récolte : 20 juillet 2001

6 Méthodes

6.1 Niveaux de régionalisation

Les parcelles retenues dans le cadre du projet mené dans la zone de Weisweil ont été essentiellement étudiées selon deux échelons (niveaux de régionalisation) :

1. Niveau local :

Sur trois parcelles (parcelles cadastrales regroupées en unités d'exploitation) on a mesuré et géocodé en grilles (2000) les composantes de rendement et les paramètres du sol et par un dispositif GPS en ligne, on a aussi mesuré en continu les rendements et la conductivité électrique du sol.

2. Niveau de la Zone :

La mesure de rendement en ligne des parcelles a été menée sur l'ensemble de la zone de Weisweil, ainsi que sur les territoires communaux avoisinants. On a ainsi pu recenser la variabilité intraparcellaire des rendements sur environ 80 parcelles culturales. Les données de rendement intraparcellaire ainsi collectées ont été comparées aux rendements déterminés à partir de photographies satellitales, également intraparcellaires, puis évaluées pour la zone couverte par les clichés satellitales – incluant la WSG – (Bach et Rühling 2001).

Cette méthode devait permettre de mesurer la variabilité à l'échelle des parcelles culturales et d'en déduire des informations fiables relatives à l'hétérogénéité des potentiels des différents sites localisés sur une zone donnée.

Collecte des données de la zone :

Au commencement du projet, on disposait déjà des données sur les sols sous forme de cartes analogiques pour la zone de Weisweil (feuille de Kenzingen), celles-ci ont été numérisées (Sté Vista 1999). Les informations concernant les types de sols, l'état des surfaces cultivées, la valeur agronomique des sols, l'origine des sols ainsi que le système hydrologique, étaient ainsi disponibles pour un secteur d'environ 2 km², incluant l'ensemble de la zone centrale d'assainissement (KSZ).

6.2 Echantillonnage des sols et des végétaux selon une grille et assisté par GPS

Parallèlement à la mesure continue de rendement effectuée avec des moissonneuses-batteuses équipées de systèmes DGPS, on a prélevé des échantillons de sol et effectué la récolte sur des parcelles (Tableau 11). L'écart entre deux prises d'échantillons a été arrêté à 40 m conformément aux connaissances suivantes :

- Relation locale large (Haneklaus et al. 1997, Rühling 1999) des propriétés du sol peu évolutives dans le temps telles que la texture, la capacité au champ et la teneur en humus et l'alimentation en éléments nutritifs de base, qui est fortement variable dans le temps, comme par ex. la teneur en azote minéral du sol,
- Les nouveaux conseils de la LUFA pour l'inventaire des éléments nutritifs de base avec des distances entre prélèvements de 30 à 50 m (Boysen et al. 2000).
- Connaissances du site disponibles (pas d'hétérogénéités particulières relatives au sol)

L'écart entre prises d'échantillons a été adaptée à l'écartement entre rangs du maïs et à l'orientation des rangs semés. On a ainsi pu déterminer pour chacune des trois parcelles culturales, d'une superficie comprise entre 1,1 et 1,4 ha, des intervalles entre points de la grille de 39 m (Fig. 8). Ceci correspond à une densité de 4 échantillons par hectare

A l'instar de la localisation des points de la grille, la détermination des limites de parcelles a été exécutée en contournant à pied les différents champs, avec un récepteur GPS porté (ACT) et une antenne. Le récepteur était alimenté par une batterie automobile 12 V. Les données ont été

ensuite enregistrées à l'aide de l'ACT sur une carte à mémoire et, comme ce fut le cas avec les données de rendement issues du battage, extraites sur un ordinateur portable.

Au niveau de chaque point de la grille, on a prélevé systématiquement un échantillon moyen sur la limite ouest et sur la limite est (limites O et E, désignés par "échantillons parallèles" dans ce qui suit) avec jusqu'à 10 prises à chaque fois, dans un demi-cercle d'1 m de rayon autour du point. Grâce aux échantillons moyens prélevés dans un faible rayon autour des points de la grilles, il est possible de minimiser la micro-variabilité, c'est-à-dire la variabilité provoquée par des effets parasites, tels que ceux constatés lorsque l'on enfonce la tarière dans une zone d'accumulation de substances nutritives (amas de granulés d'engrais ou autre concentration de substances nutritives à un endroit donné pour un motif quelconque, substance organique, etc.) Les échantillons parallèles permettent de représenter la variabilité de proximité.

On a également effectué une analyse complète de sol au niveau des échantillons prélevés avec la tarière dans la couche superficielle (jusqu'à 30 cm de profondeur). En raison de son coût élevé, l'analyse granulométrique n'a été réalisée que sur les échantillons ouest.

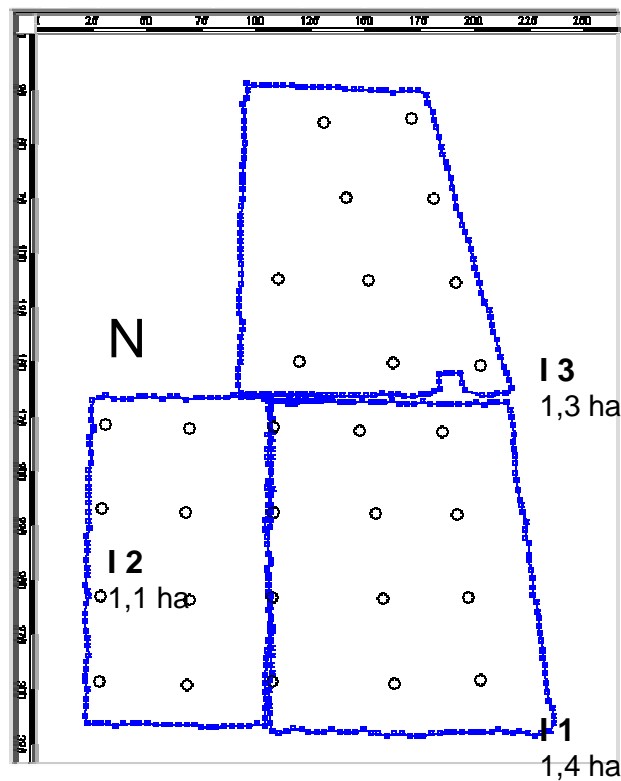


Fig. 8 : Grille mise en place pour le prélèvement d'échantillons de sol et de végétaux sur les parcelles quadrillées de la KSZ de la WSG de Weisweil.

Pour déterminer les composantes de rendement et les carences en éléments nutritifs, on a également prélevé des échantillons de plantes entières par le biais d'une récolte manuelle sur une surface d'un mètre carré. La récolte a été effectuée sur 1,33 m de longueur, à partir du point de la grille en direction du sud, ce qui correspond à une surface d'1 m² pour des écartements de rangs de 0,75 m.

Le choix de la grille d'échantillonnage

Chaque parcelle est couverte par une grille de 10 points /hectare. A partir de cette grille de prises d'échantillons établie au préalable, il est possible de commencer d'établir une

cartographie, lorsque aucune information établie à l'aide de capteurs n'est disponible. Au milieu de chaque grille, il y a un point autour duquel les prélèvements manuels sont effectués (prélèvements de sols, composantes du rendement,...). A Ebersheim il y a 29 points de prélèvements et à Witternheim 49.

Au fil du temps, cette pratique est abandonnée au profit d'un échantillonnage orienté (smart sampling) sur la base des cartographies déjà disponibles. Moins de points par hectare s'avèrent alors nécessaire.

6.3 Analyse du sol et des végétaux

Les analyses et échantillonnages suivants ont été réalisés selon la grille mentionnée ci-dessus

Tab. 11 : Etudes de terrain sur les parcelles quadrillées dans la WSG de Weisweil

Analyses selon la grille		Battage avec une M.B. équipée 'DGPS'
Sol	Plante	Rendement grain
<ul style="list-style-type: none"> - analyse complète du sol : P, K, Mg, pH, teneur en humus. - Type de sol (test manuel et analyse) 	<ul style="list-style-type: none"> - Plantes/m² - Teneurs en éléments ou absorption (N, P, K Mg) - Humidité du grain - Composantes de rendement : <ul style="list-style-type: none"> - Épis : nombre par plante - Nbre grains / épi - PMG - Poids de grains par épi 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure de rendement géocodée - Teneur en humidité du grain, prise d'échantillon (trémie de grains)

Les analyses de sol des échantillons allemands et français ont été menées par le LUFA d'Augenstenberg. En Bade-Wurtemberg, on applique les méthodes suivantes d'analyse de sol (Tab. 12) :

Tab. 12 : Récapitulatif des procédés d'analyse de sol (Wagner et Degen 1998)

Caractéristique du sol	Pratique d'analyse
Type de sol	Test manuel de routine plus analyse granulométrique par décantation
Valeur de pH	Mesure dans une solution de chlorure de calcium, pour les sols fortement acides dans une solution d'acétate de calcium
Teneur en phosphore, en potassium	Extraction mit solution de Calcium-Acetate-Lactate (CAL-Methode)
Teneur en Magnésium, sodium	Extraction avec solution de chlorure de calcium
Teneur en azote total	Incinération à sec avec analyse photométrique
Humus	Incinération à sec avec analyse photométrique

On a pesé de manière différenciée les différentes parties des plantes, d'une part les grains, et d'autre part le reste des plantes (la tige et le feuillage). La matière sèche est déterminée (taux d'humidité des grains) après séchage à l'étuve (à 105 °C). Le poids de mille grains a été déterminé à l'aide d'un compteur à grains et par la pesée de 2 à 3 échantillons parallèles de 500 à 200 grains. L'analyse des substances nutritives de base pour l'évaluation des absorptions a été également menée de manière différenciée, selon les méthodes du LUFA (Tableau 13). On a également analysé les teneurs en éléments nutritifs et la matière sèche contenus dans le reste des plantes.

Tab. 13 : Récapitulatif des méthodes d'analyse des teneurs en substances nutritives des végétaux (Michels 2001)

Élément nutritif	Pratique d'analyse
N	Détermination N total : méthode d'incinération selon le livre VDLUFA Band II (1995), § 3.5.2.7
P K Mg	Dilution avec de l'acide nitrique selon les méthodes du livre VDLUFA Band VII (1996) § 2.1.2, Mesure avec ICP-OES

Les analyses des substances nutritives des échantillons français et allemands ont été réalisées par le LUFA d'Augustenberg.

6.4 Méthode de mesure continue assistée par GPS

6.4.1 Evaluation de la conductimétrie du sol

La conductimétrie (conductivité électrique) du sol (CE) mesurée et géocodée est une mesure continue destinée à caractériser les variations du sol ; cette méthode offre un rendement important et peut être réalisée à vitesse élevée et, par conséquent à faible coût (Domsch et Wartenberg 2000).

On dispose des informations concernant cette méthode de mesure : La CE est positivement corrélée à la teneur en argile, à la teneur en eau et en sel du sol à la capacité au champ ainsi que de la température. Cependant, une analyse réalisée avec une sonde EM38 (développée par la société Geonics Limited, Ontario) n'a permis de déterminer aucune relation entre la CE et la teneur saline de la solution du sol ; par contre, on a pu mettre en évidence une relation entre la CE et la capacité au champ (Schmidhalter et Zintel 1999). Parmi toutes les composantes minérales, c'est l'argile qui possède la meilleure conductivité, suivie du limon et du sable. C'est pourquoi il est possible d'identifier grâce à la CE les différents types de sols et leur répartition au sein des horizons étudiés (Domsch, Lück et Eisenreich 1999). Les tassements dus à la granulation, résultant de teneurs en argile plus élevées dans certains horizons du fait d'une accumulation, peuvent ainsi être mises en évidence. A partir de la relation existant entre la CE et la répartition granulométrique, il est possible de déterminer la capacité en eau du sol. Cette dernière augmente avec la teneur en argile à la capacité au champ⁴, jusqu'à une répartition de la granulométrie donnée (Scheffer et al. 1984).

⁴ Lorsque la capacité au champ est atteinte, la saturation en eau du sol est telle que celui-ci ne retient plus l'eau par les forces de capillarité.

Le dispositif de mesure du système Veris 3100 est constitué d'électrodes et de disques, qui pénètrent de quelques centimètres dans le sol (Fig. 9). La diminution du courant conduit par le sol est mesurée par le biais des chutes de tensions enregistrées (induction électromagnétique). Le champ électrique peut ainsi pénétrer de plusieurs décimètres dans le sol. Le coutre est tiré par le véhicule tracteur, ce qui induit une mesure permanente en [mS/m]. Grâce à l'antenne GPS montée sur le capteur et au récepteur GPS installé sur le véhicule tracteur (ACT), la position correspondant à chaque valeur mesurée est calculée puis enregistrée.



Fig. 9 : Mesure de la conductivité électrique du sol assistée par GPS, réalisée en mars 2001 avec le système Veris 3100 dans la KSZ de Weisweil.

Le 10.03.2001, le système Veris 3100, doté de capteurs de sol, a été utilisé pour évaluer simultanément, à la fréquence d'une mesure par seconde, la conductivité des parcelles culturales en deux horizons, de 0 à 30 cm et de 0 à 90 cm. A une vitesse de 10 km/h, la densité de mesures est de l'ordre d'une mesure tous les 2 à 3 m environ, soit 860 à 960 valeurs par ha (Fig. 9). Cette densité correspond à un rendement approximatif de 4 ha à l'heure, sans compter le temps nécessaire à la mise en place des équipements.

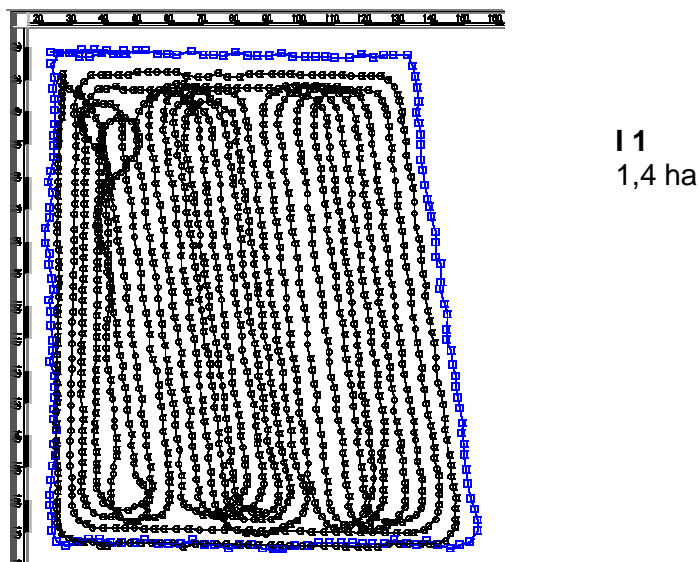


Fig. 10 : Densité de prélèvement pour le calcul de la conductivité électrique du sol avec un système GPS (géocodé), sur la base de 1389 points de mesure (parcelle I1).

Dans le cadre d'autres études, on a utilisé la sonde EM38 (également un appareil de mesure tracté) pour mesurer la conductivité du sol. La densité de prélèvement, avec 75 à 100 points de mesure par ha, soit l'équivalent d'un rendement journalier de 150 ha, était sensiblement plus faible (Behnken et al. 2000).

Au cours de ces essais, la densité a été réduite par élimination des valeurs incorrectes : ainsi on n'a pas tenu compte des valeurs négatives dans l'analyse des résultats, ni de celles relevées à l'extérieur des limites des champs concernés.

6.4.2 Mesure des rendements (récolte en ligne)

En 1998, l'entreprise Herbert et Josef Binder GbR a.K. a fait l'acquisition d'une moissonneuse-batteuse Claas Lexion 480 à chenilles, dotée d'une largeur de coupe de 6 m. Cette machine était semblable à la Lexion 480 utilisée en 2000, équipée d'un système de navigation DGPS, de capteurs de rendement et de taux d'humidité, ainsi que d'un ordinateur ACT développé par la société Agrocom, assurant une mesure du rendement géocodée et continue ("rendements DGPS"). Depuis 1998, ce système est utilisé pour le calcul de rendement dans la WSG de Weisweil. D'après les renseignements fournis par le fabricant, les machines que possède cette entreprise sont les seules équipées d'un système de mesure du rendement employé pour le battage de maïs grains en Allemagne. La marge des erreurs de mesure de rendement est de 2 à 5 % (Rolf 2000, Sté Agrocom). C'est en 2000 que l'on a pour la première fois établi des cartes de rendement à partir d'un nombre important de parcelles culturales (environ 80) au sein des territoires communaux de Weisweil, Wyhl et Forchheim. A l'heure actuelle, la mesure de rendement en ligne est effectuée sur approximativement 50 ha de maïs en grains, propriété de l'entreprise. Elle permet d'obtenir de précieuses informations sur l'évolution de l'hétérogénéité du rendement intraparcellaire à partir d'un grand nombre de parcelles culturales.

L'entreprise a essentiellement effectué les mesures de rendement sur du maïs grains aux mois de septembre et octobre, sur ses propres parcelles culturales et celles d'exploitants participant à l'opération. Les rendements ont été ensuite géocodés et enregistrés avec l'ordinateur ACT sur la carte à mémoire. L'enregistrement a été réalisé dans des fichiers relatifs aux parcelles culturales, que l'on avait au préalable créés sur PC. Lorsque ces transferts sont correctement appelés et terminés au départ et à la fin du battage d'une parcelle culturale, les coordonnées, les rendements, l'humidité des grains, la date et l'heure, ainsi que d'autres paramètres techniques, sont consignés dans un fichier individuel. Une valeur moyenne de rendement est enregistrée toutes les 5 secondes en lien avec la position (géocodée) (Fig. 11).

La résolution des ordres DGPS (données brutes) est déterminée à partir de la largeur de travail de 6 m de la moissonneuse-batteuse et de la distance parcourue durant l'intervalle d'enregistrement de 5 secondes lors du battage. Une valeur de rendement est enregistrée tous les 5 à 10 m (Fig. 11). On obtient ainsi des densités de mesure de l'ordre de 200 valeurs de rendement par ha en 26 – 27 minutes. En éliminant les valeurs incorrectes, cette densité de prélèvement est réduite de 10 à 30 % pour des parcelles d'approximativement 1 ha. Dans le graphique supérieur de la figure 11, ces valeurs, très probablement incorrectes, sont signalées comme valeurs de rendement constamment basses (plusieurs valeurs égales à zéro) au travers d'une couleur plus foncée. Elles sont principalement enregistrées lors des démarrages ou des virages, lorsque le grain n'est pas encore parvenu au niveau du capteur dans l'élévateur. Le système volumétrique de Claas (Claas Quantimeter) donne des valeurs sur-évaluées lors de rendements trop faibles (<19 t/ha). Cette erreur est encore plus forte pour des débits < 13 t/ha (Isensee et Krippahl 2001). Le système Claas arrive à limiter de manière satisfaisante ces erreurs pour des débits > 20 t/ha, c'est à dire une vitesse proche de 4 km/h, pour des passages de 5,5 m. Par ailleurs, de fortes teneurs en impuretés peuvent conduire à des erreurs de mesure. Ces sources d'erreurs rendent nécessaire de fréquents calages par la réalisation de contre-pesées des volumes présents dans les trémies.

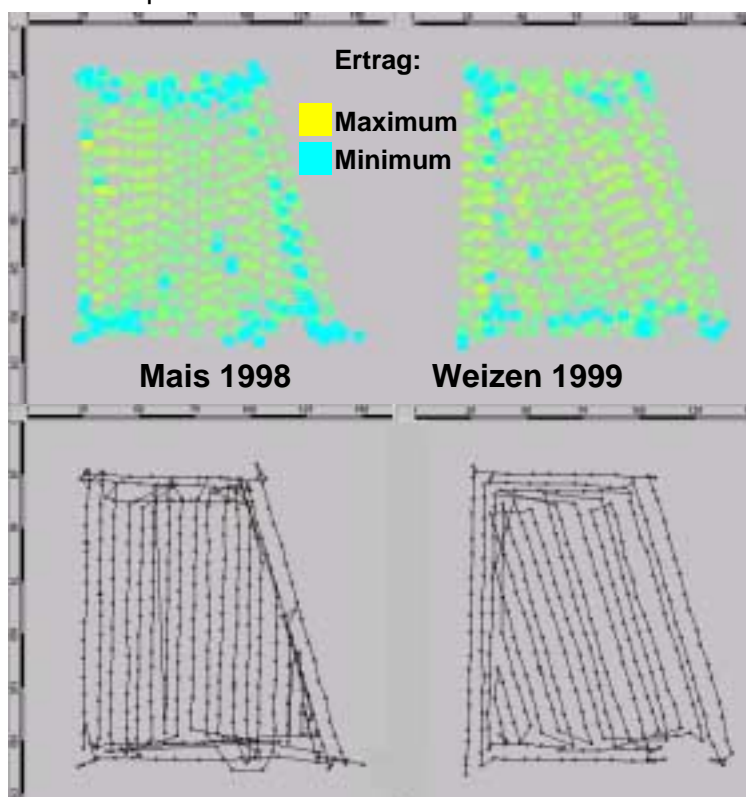


Fig. 11 : Données brutes obtenues à partir de la mesure du rendement effectuée avec une moissonneuse-batteuse équipée d'un système GPS – rendements en ligne et trajectoires avec points de mesures (position) sur la parcelle I3, en 1998 et 99.

Selon les renseignements les plus récents communiqués par Agrocom, la correction des données brutes n'est réalisable qu'en recourant ensuite au traitement "automatisé" par le biais du logiciel AMB, en fixant une plage de valeurs (filtre minimum) pour la création de la carte de rendement à partir de valeurs interpolées (cf. Chap. 6.5.2). Des filtres plus intelligents sont actuellement en cours de développement ; les efforts sont principalement concentrés sur l'élimination des deux premières valeurs mesurées lors des démarrages. Une solution alternative consiste à exclure manuellement les valeurs incorrectes des données brutes (filtrage individuel).

Taux d'humidité des grains :

Jusqu'en 1999, les valeurs mesurées du taux d'humidité des grains étaient extrêmement variables. Ainsi, les valeurs moyennes mesurées en continue s'écartaient parfois de plus de 5 % du taux d'humidité enregistré lors de la livraison (pesée) du grain. Sur la Lexion 480 (construite en 1998) le capteur d'humidité des grains a été monté sur la paroi de la trémie. La mesure commençait à partir d'un taux de remplissage de la trémie de 70 %. Résultat : on obtenait une valeur mesurée pour approximativement 7 t de grain battu. L'année suivante, on a utilisé un capteur de mesure continue de conception similaire, mais monté cette fois-ci dans l'élévateur et doté d'une fréquence de mesure plus élevée, offrant par-là même une plus grande précision.

La moissonneuse-batteuse, utilisée pour la première fois en 2000 (Lexion 480, année de construction : 2000) bénéficie d'une technologie de mesure du taux d'humidité des grains améliorée par rapport à la Lexion 480 utilisée l'année précédente. Le capteur d'humidité installé dans l'élévateur à proximité du capteur de rendement permet de calculer le taux d'humidité des grains par la mesure de la conductivité. La conductivité du grain battu est évaluée dans une chambre de mesure (solution dite de "by-pass") à la fréquence de deux à trois mesures par minute (Claas 2000). Pour chaque remplissage de la trémie, on obtient ainsi 16 à 36 mesures du taux d'humidité des grains, pour une durée de battage comprise entre 8 et 12 minutes. Avec cette méthode, la densité de valeurs mesurée est plus élevée, ce qui se traduit par une plus grande précision des données.

Sur certaines parcelles, afin de tester les mesures d'humidité faites par le capteur, il a été prélevé des échantillons de grains dans la trémie de la moissonneuse-batteuse pendant le battage, pour mesurer ultérieurement l'humidité par séchage à l'étuve (105°C). Les résultats ont été consignés dans un protocole chronologique.

Lors de la récolte en ligne des trois parcelles ITADA quadrillées de Weisweil, il a été réalisé une prise d'échantillon dans la trémie à chaque remplissage de celle-ci. Ainsi, on a effectué au minimum pour 3 remplissages de la trémie par parcelle 3 prélèvements sur lesquels on a déterminé l'humidité par méthode gravimétrique. Ces valeurs ont ensuite été comparées à celles déterminées par le capteur à bord de la MB.

6.4.3 Interprétation des données

a. rendement machine et rendement « biologique »

La donnée finale obtenue sur chaque parcelle est le rendement machine issu de la moissonneuse-batteuse. On dispose également du rendement dit « biologique » calculé à partir des données « composantes de rendement » mesurées sur les points de prélèvement de la parcelle : peuplement, grains par épi et PMG. Ces deux cartes « machine » et « biologique » sont les points de départ de l'interprétation des données. Il s'agit alors d'essayer de trouver le ou les éléments explicatifs des différences de rendement observées au sein des parcelles.

b. les corrélations

Pour chaque élément potentiellement explicatif, on compare tout d'abord visuellement les cartographies obtenues et les cartographies de rendement. Si on observe une certaine similitude dans les zonages, on calcule le coefficient de corrélation entre les deux facteurs. On utilise, pour l'instant uniquement le rendement biologique car nous disposons du même nombre de points que pour la variable mesurée. Il sera également possible de réaliser des études de corrélations sur les cartes interpolées, cependant cela demande plusieurs années de récolte d'information.

6.5 Conversion des données

Les données brutes ont été exploitées avec le logiciel d'interpolation « Spatial Analyst » afin de réaliser une carte. Lors de l'interpolation des résultats d'analyse de sol, la « méthode de la distance inverse » a été utilisée. La carte est fondée sur les six valeurs mesurées les plus proches du point concerné. Les cartes des rendements ont été réalisées après filtrage des données brutes. Elles résultent de la valeur moyenne des 8 cellules environnant le point de mesure. Les valeurs aberrantes peuvent par cette démarche être éliminées (surtout lors des démarrages). Cette pratique est appliquée pour les données mesurées en continue.

6.5.1 Transfert des données

Les signaux enregistrés sur la carte à mémoire ont été lus à l'aide du logiciel "Agromap Auftrag" (de la société Agrocom, 2000) en format ASCII. Ces données seront désignées ci-après par "données brutes de rendement". Le logiciel "Agromap Basic" (AMB) permet de gérer les signaux. Conformément à la structure de la base de données existante, ces derniers ont été tout d'abord affectés par le système aux différents exploitants. AMB dispose d'un module grâce auquel il est possible de convertir les coordonnées GPS en coordonnées Gauss-Krüger, condition nécessaire pour pouvoir les intégrer dans un SIG. Les coordonnées des données brutes et les cartes de valeurs mesurées ont été converties de cette manière.

6.5.2 Interprétation des données et réalisation des cartes de mesures

On a établi des cartes de mesures à partir des données brutes issues de l'échantillonnage quadrillé du sol et des récoltes effectuées sur les parcelles, afin de bénéficier d'une représentation lisible et, avant tout, d'appliquer ces informations à une grille homogène. Pour réaliser ces cartes d'isolignes se référant à des parcelles spécifiques, on a utilisé sur les valeurs mesurées une méthode d'interpolation spatiale (Kriging), proposée dans le logiciel AMB. On a interpolé sur une grille de 10 m correspondant à la résolution de l'image satellite (Bach et Rühling 2000). Par le biais du menu "Messwertkarte erstellen" (création d'une carte de mesure), on a pris pour base de calcul les paramètres suivants :

Résolution : 40 m,

Légende et plage de valeurs de 5 à 15 t/ha (maïs grains),

Taux d'humidité : normalisation sur l'humidité de stockage, 14 %.

Facteur de pertes : 1,3 % (prévu dans AMB depuis 2001)

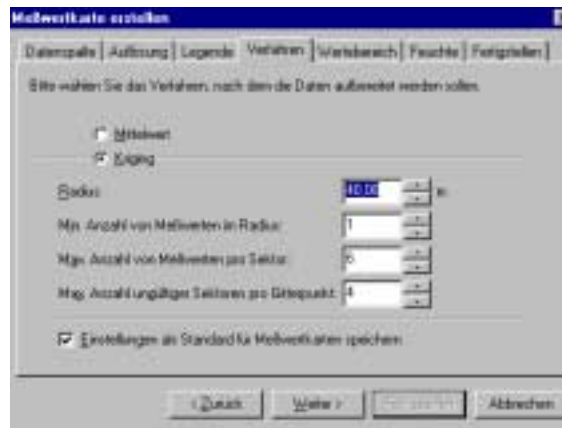


Fig. 12 : Menu de création d'une carte de rendement dans le logiciel "Agromap Basic" (Agrocom, 2000) avec un rayon de recherche de 40 m – onglet "Verfahren" (méthode).

Lors de la création des cartes de mesures, le tri des données brutes (voir Chap. 6.4.2) a été effectué en fixant la plage de variation des valeurs de rendement. On a paramétré les rendements minimum et maximum du maïs grains à respectivement 5 et 20 t/ha. Une méthode plus pointue permettrait de minimiser encore la marge d'erreur, au moyen d'informations supplémentaires sur les facteurs qui influencent le rendement (foyers de mauvaises herbes, par ex.) ; pour des motifs d'ordre technique, elle se révèle cependant impossible à appliquer. Cette plage de variation a été calculée de manière empirique à partir des valeurs de rendement trop basses enregistrées au démarrage de la moissonneuse-batteuse, que l'on a comparées aux variations de rendement observées lors du battage et aux distributions de fréquence des rendements. Ces valeurs correspondent à des rendements frais, normalisés en tenant compte de l'humidité des grains pour une humidité de stockage de 14 % (86 % de matière sèche).

Du côté du programme AMB, il est impossible de calculer une fréquence de la répartition des données brutes. Il manque donc ici la comparaison de l'histogramme de répartition des données brutes et des données interpolées. De même, le programme ne calcule que la valeur moyenne des rendements en ligne pour la parcelle et ne donne pas les maximum et minimum (cf. Tab 18).

Afin de pouvoir évaluer les liaisons entre les rendements, les composantes du rendement et les absorptions d'éléments nutritifs avec les teneurs du sol et les caractéristiques du sol peu évolutives tels la granulométrie et la capacité au champ, il a été calculé les coefficients de corrélation (coefficient de Pearson) pour tous les paramètres du sol et des plantes et donné leur signification (annexe).

Lors de la production des cartes de données mesurées, les rendements en ligne (données brutes) ont été travaillées de manière à ce que les coordonnées interpolées issues des 4 années de rendement soient comparées les unes aux autres (fichier mvk. Issu de fichier aft.). Les positions (coordonnées) et les valeurs de rendement correspondantes qui ne sont pas retenues pour chacune des 4 années pour la production de la cartographie des mesures ont été éliminées. Les enregistrements de données brutes ont ainsi été réduits d'environ 5 %.

6.6 Recours aux prestations d'entrepreneurs et d'agriculteurs

Depuis 1998, l'entrepreneur Binder propose comme prestation supplémentaire l'utilisation d'une "moissonneuse-batteuse DGSP" équipée d'un capteur de rendement et d'un système de création de cartes de rendement. Cet entrepreneur évalue actuellement à 10 €/ha la mise en œuvre du système et les mesures préparatoires nécessaires. Sa prestation comprend toutes

les étapes allant de la mesure de rendement permanente et géocodée, jusqu'à l'interprétation des données et la création des cartes de mesures (cartes de rendement). Cette dernière phase, qui vient s'ajouter au battage effectué par l'entrepreneur, requiert au minimum une personne supplémentaire pour les travaux réalisés par ordinateur.

La modulation intra-parcellaire de la fertilisation demande une préparation encore plus pointue : la carte d'application de la fertilisation doit être réalisée à partir de la carte de rendement et d'autres cartes de mesures, si ces dernières sont disponibles (paramètres de sol, composantes de rendement, etc) ; l'ordre doit ensuite être écrit en fonction de l'exploitant et de la parcelle culturale concernés (voir Chap. 3.2).

Il est renoncé à présenter ici le questionnaire de 10 pages, "GPS – ein Instrument zur Verbesserung der Ökonomie in kleinstrukturierten Ackerbauregionen" (établi par Schreiber en 2000) car seul un exploitant était prêt à donner les renseignements demandés. Les partenaires français ont l'intention de conduire une enquête analogue lors des prochaines années du projet.

7 Résultats et évaluations

7.1 Etudes de terrain et interprétation de la variabilité

7.1.1 Niveau local – variabilité des parcelles quadrillées

7.1.1.1 Sol

Les caractéristiques du sol et la richesse en substances nutritives (Tableau 12) des trois parcelles culturales étudiées se situent dans un niveau normal à sur-enrichi pour ces sols (moyennement) lourds constitués d'argile alluviale (Deller et al. 1999). Les gammes d'écart des différentes valeurs se trouvent dans l'annexe (Tableau A1-3). Le degré d'approvisionnement en calcaire est bon si bien qu'un simple chaulage d'entretien est suffisant (valeurs de pH dans le domaine légèrement alcalin). La richesse en phosphate et en potassium est plus que suffisant, rendant en partie superflue toute fertilisation, comme le montre la catégorie de richesse E. La richesse en magnésium est située dans la classe C et une fertilisation d'entretien suffit au niveau de la plupart des points.

Avec 1 à 2 % d'humus, la couche superficielle est faiblement humique (AG Boden 1996), ce qui est typique des horizons A des terres arables labourées. La répartition granulométrique et la texture de sol sont sensiblement similaires sur les trois parcelles. Seule une modification du type de sol au sein des parcelles pourrait entraîner des différences plus conséquentes. La réserve utile au champ est comprise entre 150 et 169 mm/m étant donné que les sols sont des lehms à tendance limoneuse, pour une densité brute moyenne de 1,45 à 1,65 g/cm³ (AG Boden 1996). Ceci correspond à une réserve utile moyenne pour l'espace racinaire effectif.

Tab. 14 : Caractéristiques du sol et richesse en substances nutritives des parcelles quadrillées de la WSG de Weisweil

		I 1	I 2	I 3
Humus	[%]	1,8	1,7	1,7
N _{total}	[%]	0,111	0,110	0,105
pH		7,4	7,5	7,4
Richesse en Ca		E	E	E
P ₂ O ₅	[mg/100g]	31,7	36,9	30,3
Richesse P		D-E	(C)-D-E	(C)-D-E
K ₂ O	[mg/100g]	33,7	37,5	34,3
Richesse K		D-E	D	D-E
MgO	[mg/100g]	9,3	8,2	8,4
Richesse Mg		B-C	B-C	B-C
Argile (A)	[%]	25,3	26,1	23,5
Limon (L)	[%]	54,1	50,2	52,5
Sable (S)	[%]	20,6	23,7	24,0
Texture du sol		UL Schluffiger Lehm	uL	uL

Domaine de variabilité :

Les coefficients de variation permettent de déterminer facilement la variabilité (CV = écart type divisé par la valeur moyenne ; cf. Tableaux 15 et 16, A3 et A4). Cet indicateur statistique a été sélectionné car, contrairement à l'écart type, il autorise une comparaison des caractéristiques de sol entre-elles, bien que celles-ci soient de dimensions différentes. Etant donné que par manque de temps, il est impossible de présenter ici une analyse géostatistique, on devra se contenter des CV, qui constituent avec les représentations cartographiques et l'interprétation des données une source d'information supplémentaire sur l'hétérogénéité de l'horizon superficiel des parcelles étudiées.

Pour une grande partie (80 %), l'erreur d'une valeur d'analyse est imputable à l'échantillonnage, le reste pouvant être globalement attribué à l'analyse chimique (Vermeulen 1960). Ici, "l'erreur" représente également la part d'hétérogénéité d'un échantillon pouvant être mise sur le compte de la variabilité du substrat. Les progrès réalisés en matière d'analyses ont permis jusqu'ici de diminuer considérablement cette part dans l'erreur. "L'erreur" résidant dans l'échantillonnage et l'échantillon ne sera pas foncièrement plus faible.

Globalement, on constate que le CV des paramètres de sol analysés affichent une variabilité analogue et faible. Dans l'absolu, l'hétérogénéité (CV) de certains paramètres caractérisant ces parcelles n'est pas foncièrement différente de celle relevée sur d'autres sites (Rühling et al. 1997, Rühling 1999). Ainsi, par exemple, les valeurs de pH sont généralement les paramètres de sol qui varient le moins.

Les CV des parcelles (Tableau 15) et ceux des prélèvements parallèles voisins (Tableau 16), O par rapport à E (échantillon prélevé à l'ouest et à l'est de chaque point maillé) de tous les points maillés sont comparés ici.

Tab. 15 : Coefficients de variation de paramètres de sols et d'approvisionnement en substances nutritives différenciés selon les parcelles maillées de la KSG de Weisweil

CV [%]	Parcelle I 1	Parcelle I 2	Parcelle I 3
Nombre de points maillés (= n)	12	8	10
Humus	6	9	5
N total	4	8	1
pH	1	1	1
P ₂ O ₅	15	9	24
K ₂ O	10	8	13
MgO	13	20	13
argile	5	9	6
limon	4	4	6
sable	9	8	10

L'objectif consiste à déterminer si, avec des intervalles réduits entre les prises d'échantillons, la variabilité des différents paramètres de sol est différente de celle observée entre les trois parcelles culturales, c'est à dire pour des intervalles de prélèvement plus importants. Ce ne sont pas les valeurs absolues des CV mais les différences qui sont prépondérantes pour cette distinction.

Les CV des parcelles peuvent être grossièrement répartis selon deux groupes : l'un rassemblant des paramètres ne fluctuant que légèrement (valeur du pH, la granulométrie et les matières organiques : humus, teneurs en azote), l'autre regroupant les teneurs en substances nutritives dotées de CV plus importants (Tableaux 15 et 16). Dans le second groupe, les teneurs en phosphate (P₂O₅) varient considérablement entre les différentes parcelles. Dans la plupart des cas, les paramètres de sol géographiquement "homogènes" sont également invariables dans le temps (Haneklaus et al., Rühling et al. 1997, Rühling 1999).

Tab. 16 : Coefficients de variation des paramètres de sol et de richesse en substances nutritives des trois parcelles culturales de la WSG de Weisweil, différenciés selon les échantillons O et E (proximité) sur tous les points maillés

	éch-Ouest CV [%]	éch-Est CV [%]	Éch. O- et E B=r ²
n	30	30	30
Humus	8	7	0,48
N total	6	7	0,55
pH	1	1	0,81
P ₂ O ₅	21	19	0,68
K ₂ O	14	11	0,47
MgO	13	14	0,95

Etant donné que le nombre d'échantillons prélevés sur chaque parcelle est trop restreint, les CV des échantillons O et E (de proximité) ont été calculés sur l'ensemble des trois parcelles, et non séparément. En comparant les CV de chaque parcelle (Tableau 15) avec les CV de proximité (Tableau 16), on constate des différences importantes selon les parcelles, notamment au niveau des teneurs en substances nutritives. On peut en conclure que plus l'intervalle d'échantillonnage est élevé, plus l'augmentation de la variabilité des teneurs en P_2O_5 et en MgO, notamment, est forte par rapport à celle des autres paramètres du sol.

Le coefficient de corrélation r^2 traduit l'intensité de la relation entre deux grandeurs. Plus cette dernière est étroite – il s'agit ici de la corrélation existant entre les deux échantillons moyens prélevés à proximité l'un de l'autre –, plus r^2 est élevé (Tableau 15). Avec respectivement 95 et 81 % de concordance, la corrélation la plus étroite est celle des teneurs en magnésium et des valeurs de pH du sol. D'après le coefficient de corrélation, les teneurs en MgO dans une zone de voisinage ne varient que faiblement, ce qui vaut également pour les valeurs de pH. Cette constatation se retrouve dans les CV, quasi-semblables ou identiques. Par conséquent, pour ces paramètres, la variabilité du sol est comparativement réduite.

Caractéristique des paramètres étudiés, la relation entre les teneurs en P_2O_5 des deux échantillons parallèles O et E peut être décrite par une régression du second degré (Fig. 13). En d'autres termes, la teneur en P_2O_5 de l'échantillon O concorde à hauteur de 68 % avec celle de l'échantillon E.

Les taux de MgO des échantillons parallèles prélevés à l'ouest et à l'est des points maillés présentent une concordance encore plus élevée de 95 % avec une régression linéaire⁶. Ceci se retrouve dans les CV quasiment identiques des couples d'échantillons parallèles (Tab.16).

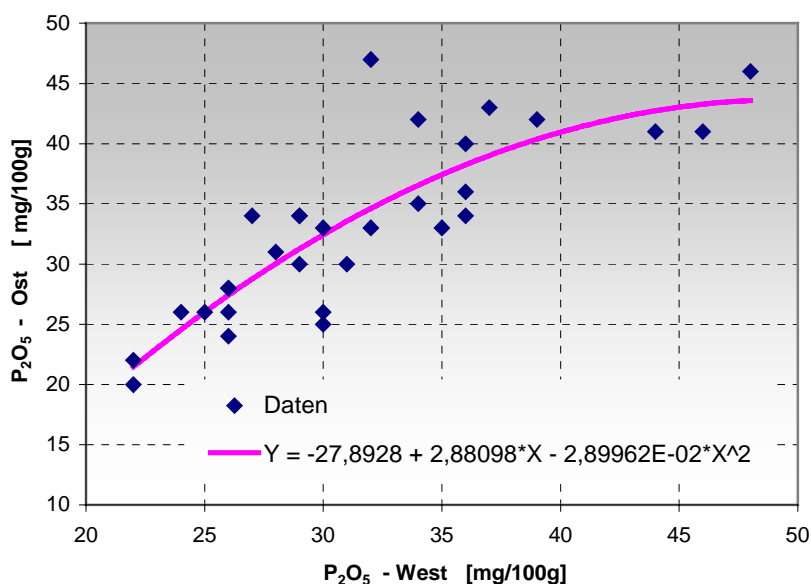


Fig. 13 : Régression des teneurs en phosphate des trois parcelles culturales de la WSG de Weisweil pour les échantillons O et E sur tous les points maillés (n=30) et avec un coefficient de détermination $r^2=68$.⁷

⁶ comme de nombreuses paires de points sont identiques et reposent les unes sur les autres, le nombre de points est réduit d'autant

⁷ Bien qu'il n'existe aucune dépendance exclusive des échantillons entre eux, on a employé la régression pour décrire la corrélation et l'adaptation d'une fonction (courbe).

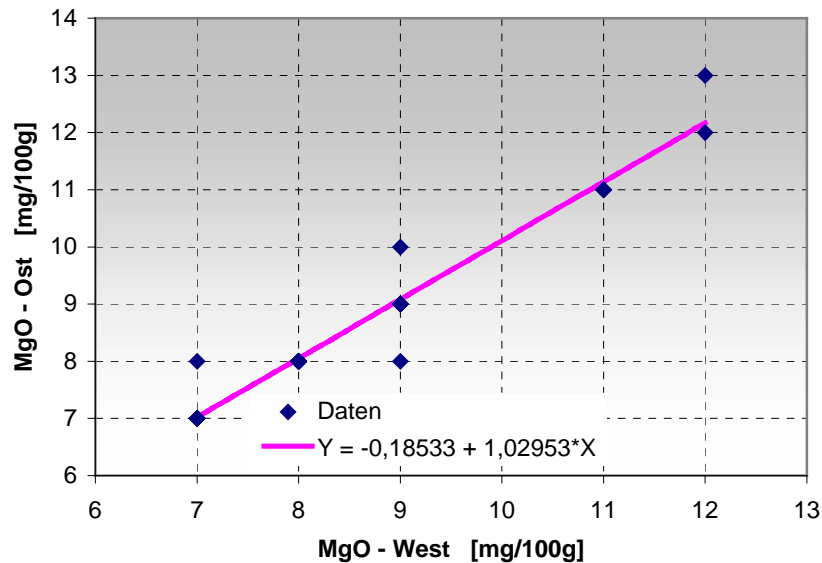


Fig. 14 : Régression des teneurs en magnésium des trois parcelles culturales de la WSG de Weisweil pour les échantillons O et E sur tous les points maillés (n=30) avec un coefficient de détermination de $r^2=95$

7.1.1.2 Rendements

7.1.1.2.1 Pays de Bade

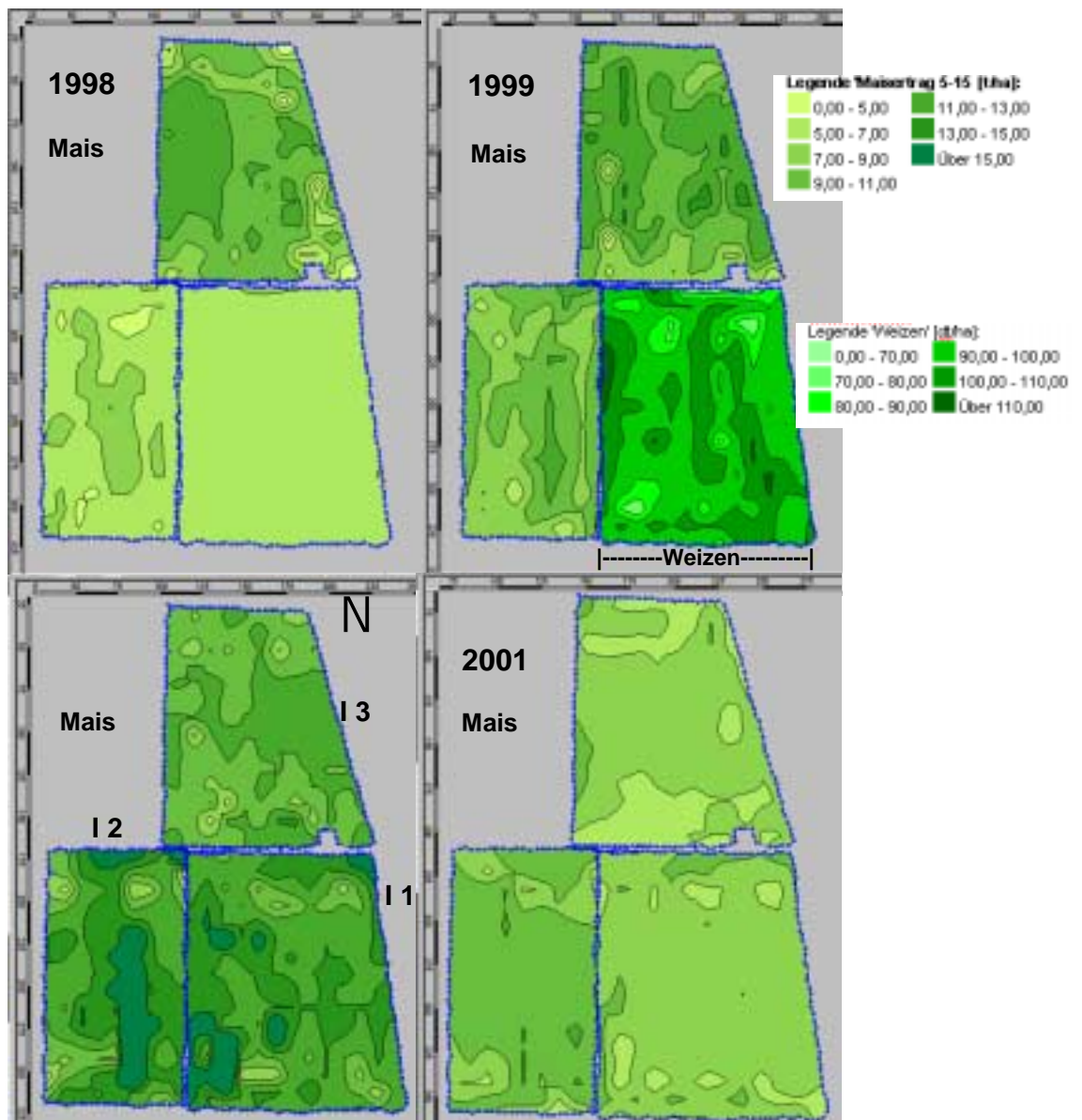
Jusqu'en 1998, le concept d'assainissement de la zone de protection des eaux de Weisweil, obligeait à l'emploi de variétés précoces pour la culture du maïs grains, avec un indice compris entre 200 et 220. La récolte devait être effectuée avant la mi-septembre, afin de permettre le semis d'une culture intermédiaire. Les pertes de rendement ainsi engendrées ont été évaluées à environ 10 à 15 q/ha (Stöcklin 2000). Elles ont été compensées par une indemnité forfaitaire de 400 €/ha (ou de 511 €/ha au maximum sur justification des pertes). C'est pourquoi, sur les trois parcelles quadrillées, on a cultivé jusqu'en 1999 la variété précoce Helix (Fig. 15).

Sur les cartes de rendement (Fig 15), on remarque particulièrement la fréquence des faibles rendements sur les extrémités. Lors des démarrages ou des demi-tours des moissonneuses batteuses, des valeurs trop faibles ont été mesurées qui n'ont pas été totalement écartées par la suite. Ces valeurs ne peuvent pas être distinguées des mauvais rendements qui proviennent souvent dans les extrémités de parcelle du mode d' exploitation,

En 2000, les variétés Benicia (I 3) et Marista (I 1 et I 2) ont été semées puis en 2001 la variété Peso sur la parcelle I 2 et Benicia sur les deux autres parcelles. On peut constater une tendance à la hausse des rendements moyens enregistrés de 1998 à 2000 (Tableau 16), due non seulement à la variété cultivée, mais également à des années favorables.

En 2001, le mois de septembre exceptionnellement pluvieux et frais a conduit après un printemps humide et froid à une mauvaise maturation de ces variétés tardives et à l'obtention de rendements plus modestes (Tab. 18 et 19). Cet effet se retrouve dans les cartes de rendement interpolées et les histogrammes de mesures, établis par année (Fig. 15 et 16).

Fig. 15 : Cartes de rendement en ligne du maïs grains (86 % MS) et du blé d'automne (1999) sur les trois parcelles maillées dans la KSZ de la WSG de Weisweil.

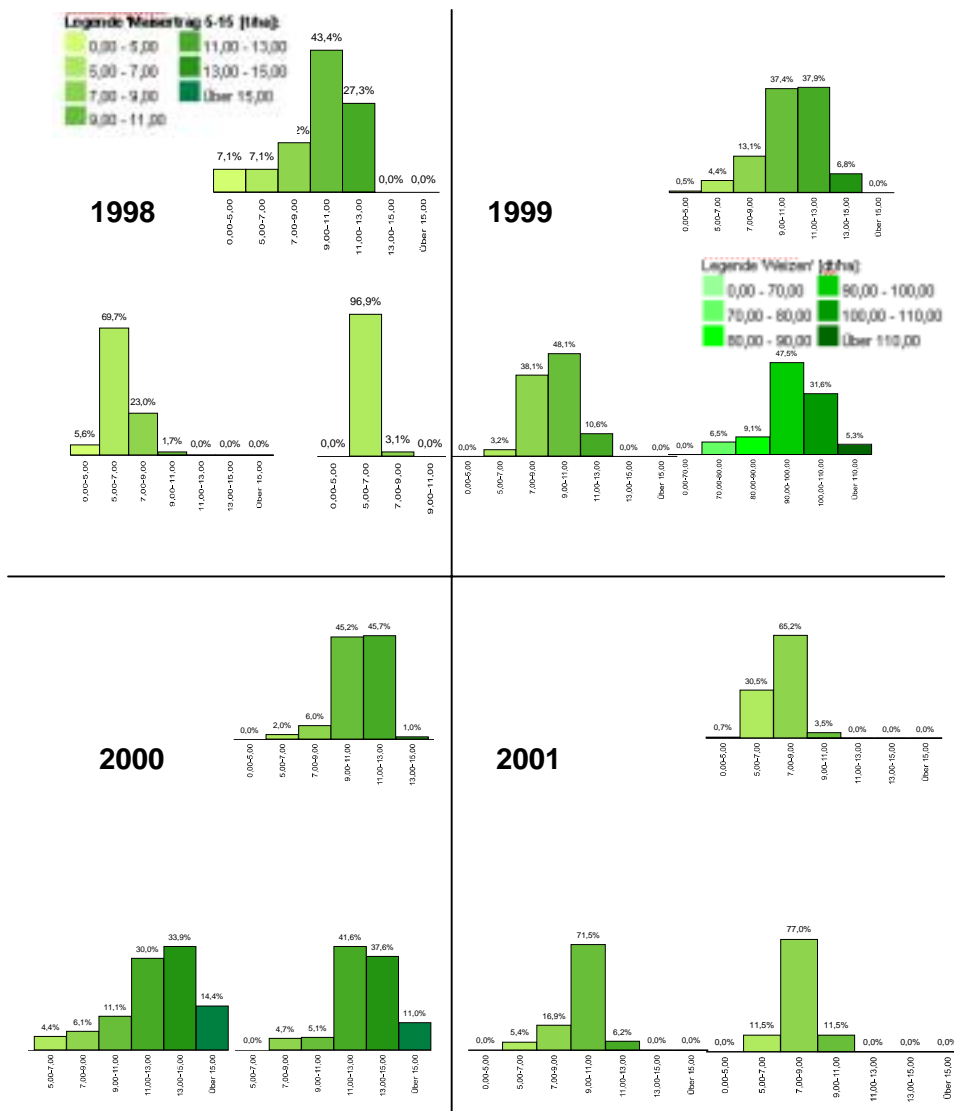


Les rendements faibles sont représentés en clair, les rendements élevés en couleur plus foncée.

Lors des années à plus faible productivité, la gamme de variation et les classes de valeurs correspondantes sont moindres, la répartition des valeurs se faisant dans moins de classes. La répartition des rendements en 1998 est homogène et de modeste niveau jusqu'à la parcelle I3, de même qu'en 2001. Les rendements plus faibles de 1998 et 2001 s'expliquent par un niveau de faible rendement généralisé ces années là et de plus pour 1998 par des variétés précoces. Cette répartition des rendements se retrouve dans les cartes de rendement comparativement homogènes.

On discerne très clairement sur les cartes de rendements les structures inter-parcellaires dans la répartition des rendements à l'intérieur des parcelles. Sur la parcelle culturale I 2, on peut constater au fil des années qu'on retrouve un rendement maximum dans la partie ouest. De par la situation géographique qui ne varie pas, on peut conclure à une influence du site, qui offre au niveau local des rendements supérieurs à la moyenne. Ceci est confirmé par les coefficients de corrélation (Tab. 17). Au fil des années, on retrouve une relation étroite et positive entre les rendements ce qui indique une continuité certaine du modèle local d'élaboration de rendement.

Fig. 16 : Histogrammes des rendements en ligne des 3 parcelles maillées

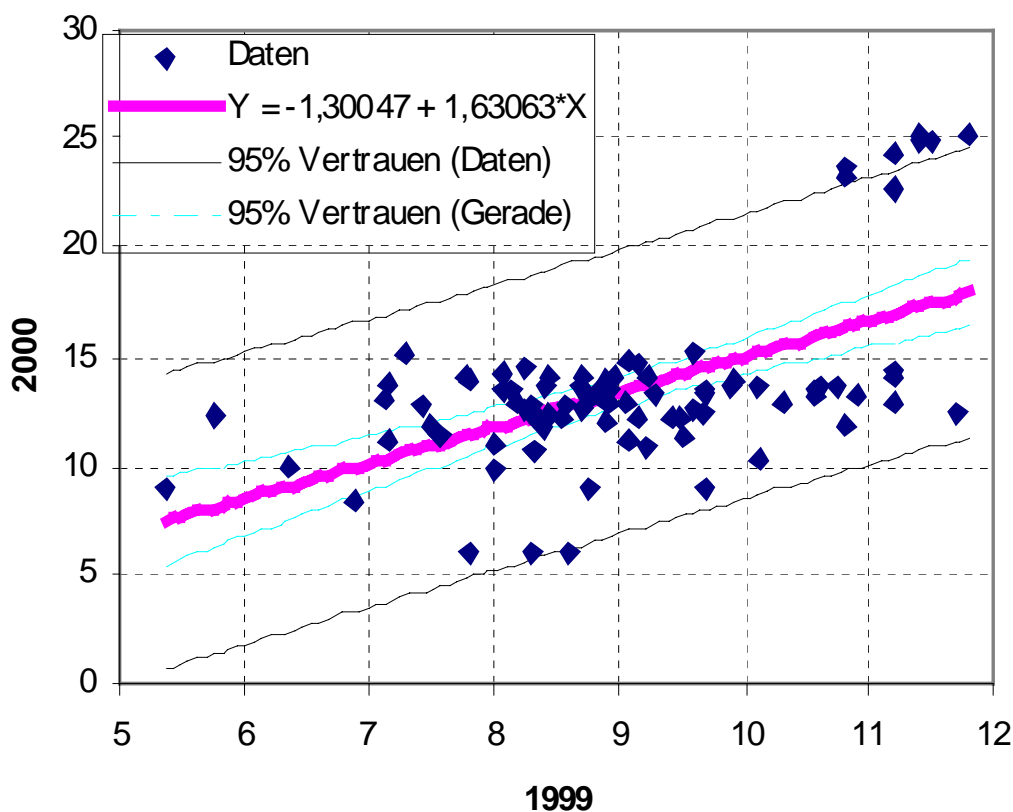


Tab. 17 : Relation entre les rendements en ligne de 1998 à 2000 appréciée par les coefficients de corrélations.

r significativité	1999	2000	2001	1999	2000	2001
	Parcelles I 1, 2 et 3 n=344			Parcelle I 3 n=113		
1998	-0,51 0,000	-0,24 0,000	-0,27 0,000	0,24 0,004	0,06 0,262	0,14 0,066
1999		0,18 0,000	-0,10 0,039		0,01 0,446	0,23 0,007
2000			0,38 0,000			0,16 0,045
	Parcelle I 2 n=87			Parcelle I 1 n=144		
1998	0,37 0,000	0,39 0,000	0,50 0,000	0,01 0,462	0,09 0,129	0,25 0,001
1999		0,57 0,000	0,32 0,001		-0,06 0,223	0,02 0,408
2000			0,26 0,007			0,24 0,002

La relation faiblement significative entre les rendements de 1999 et 2000 pour la parcelle I 2 est décrite par une fonction du premier degré avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,32$ (Fig. 16). Ceci signifie que l'équation permet d'expliquer 32 % des variations entre ces deux variables.

Fig. 17 : Régression entre les rendements en ligne 2000 et 1999 de la parcelle I 2



Comme on pouvait s'y attendre, la variabilité des rendements en ligne est plus élevée que celle des rendements des parcelles comme le coefficient de variation le montre bien (Tab. 18)

Tab. 18 : Comparaison des moyennes de rendements en ligne et de rendements des parcelles (q/ha) pour l'année 2000

2000 Parcelle	Rendements en ligne			Rendements des parcelles			
	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1.2.3
Moyenne	133	124	118	141	137	137	138
Min	66	55	57	114	111	101	101
Max	149	150	149	169	169	167	169
Ecart type.	19	26	17	19	21	17	19
CV [%]	14	21	14	13	16	13	14
n	138	73	229	12	8	10	30

Malgré des densités de mesures plus faibles, les CV des rendements des parcelles (à partir des prélèvements manuels sur placettes) se montrent d'évolution analogue à ceux des rendements en ligne : le CV de la parcelle I2 se montre plus élevé que celui des parcelles I1 et I3 mais dans une proportion plus forte dans le cas des rendements en ligne. Ceci pourrait s'expliquer par la taille de la parcelle plus modeste et par le nombre de demi-tours plus fréquents et par là donc un nombre de données aberrantes plus important.

Tab. 19 : Rendement moyen en ligne et rendement parcellaire (86 % MS) des trois parcelles déterminés à partir des cartes de mesures (valeurs interpolées) et rendements des parcelles non interpolés

rendements, moyenne		Année	Parcelle I 1	Parcelle I 2	Parcelle I 3
surface [ha]					
			1,8	1,2	1,5
1.	Online (interpol.) [q/ha]	1998	59,9	64,1	99,5
2.	Online (interpol.) [q/ha]	1999	(97,3*)	92,3	106,7
3.	Online (interpol.) [q/ha]	2000	129,3	133,1	106,0
4.	Online (interpol.) [q/ha]	2001	81,1	96,9	73,4
5.	Parcelles (interpol.) [q/ha]	2000	141,8	142,1	134,1
6.	Différence Parc.-Online (interpol.) [q/ha]	2000	- 13	- 9	- 28
7.	Différence Parc.-Online (interpol.) [%]	2000	- 9	- 6	- 21
8.	Différence Parc.-Online [q/ha]	2000	- 8	- 13	- 19
9.	Différence Parc.-Online [%]	2000	- 6	- 9	- 14

(*blé H)

Les valeurs moyennes des rendements en ligne interpolés en 2000 (Tab. 19 – L 3) sont nettement inférieures à celles des rendements des parcelles 2000 (Tab. 19 L 5) ce qui est souligné par les valeurs de différences absolues (6) et relatives (7). Cette forte différence est en partie à rapporter à l'enlèvement de toutes les valeurs plus petites que 50 q/ha et plus grandes que 150 q/ha. Par l'intermédiaire de ce tri, il est probable que des valeurs valables dotées de faible marge d'erreur ont été éliminées et que cette élimination de données provoque une plus forte différence vis à vis des rendements de parcelles. La différence entre les rendements de parcelles et les rendements en ligne non interpolés est moins important (Tab. 19 L 8 et 9).

Globalement, une part de cette différence est aussi à attribuer à la plus faible densité de relevés pour les rendements réalisés à partir de récoltes manuelles (rendements de parcelles) vis à vis des rendements mesurés en continu (rendements en ligne).

L'interpolation des valeurs mesurées permet de calculer les valeurs non enregistrées, localisées entre les valeurs mesurées dans la parcelle étudiée. On peut en déduire des écarts types entre les valeurs moyennes des données mesurées (qui sont ici les valeurs de rendement) et celles des données interpolées (Tab. 19).

L'écart de rendement moyen de la parcelle I2 avec les autres parcelles en 2001 est encore plus prononcé qu'en 2000 (Fig. 15 et Tab. 19). Un apport d'azote supplémentaire de 187 kg N/ha sous forme fumier a en particulier contribué à l'obtention de ce rendement plus élevé (cf. apports en éléments fertilisants dans le Tab. 9). Les reliquats azotés du sol mesurés en mai 2001 sur la parcelle I2 ne sont pas significativement plus élevés que la parcelle I 1 et ne semblent donc pas responsable de la différence de productivité (Tab. 20, voir aussi annexe K 12-15). Une autre raison pouvant expliquer la différence de rendement est le potentiel de rendement différent entre les variétés (Peso sur la parcelle I2 et Benicia sur les autres parcelles).

Afin de déterminer les besoins exacts en azote, les variantes de calcul suivantes ont été mises en comparaison (Tab. 20 et en annexe Tab. T 10).

Tab. 20 : Rendement potentiel, besoin en N, besoin en fertilisation N et apport en fertilisants N sur 2 parcelles en 2000 et 2001 (valeurs selon NID et cf. Tab , T8 et T 10 en annexe).

Source	Caractéristique	Unité	Parcelle I 1		Parcelle I 2	
			2000	2001	2000	2001
NID Calculé par IfuL	Rendement objectif du maïs	[q/ha]	110	105	110	105
	Besoin total en N (correspond à N prélevé à la récolte)	[kg/ha]	262	251	262	251
	Reliquat N _{min} fin mai, 0-90cm	[kg/ha]	106	44	45	48
	Besoin en fertilisation N	[kg/ha]	69	137	110	133
	Besoin en fertilisation N (prise en compte de l'apport de fumier)	[kg/ha]				(93)
info agriculteur	Fertilisation N apportée	[kg/ha]	100	131	110	187
IfuL	Bilan N (solde) (prise en compte de l'apport de fumier)	[kg/ha]	+ 31	+ 6	± 0	+ 54 (+ 94)
	Rendement maïs (rendement parcelles)	[q/ha]	142	142	142	142
	Besoin en N (corresp. à N prélevé)	[kg/ha]	158	158	154	154
	N _{min} fin mai, 0-90cm	[kg/ha]	106	44	45	48
	Besoin en fertilisation N	[kg/ha]	0	44	23	0
	Bilan N (solde)	[kg/ha]	+ 100	+ 87	± 87	+ 187
	N Absorbé (plantes entières., pour comparaison)	[kg/ha]	291		282	

Selon la méthode de calcul en vigueur en Bade Wurtemberg (méthode NID pour Nitrat Information Dienst), le besoin en fertilisation N est l'absorption total en azote de la culture (plante entière) additionné de 20 kg N/ha pour les résidus de récolte non exportables (racines, chaumes...). L'absorption selon NID considère que la totalité de la partie végétative de la plante est récoltée et exportée. Il n'est qu'en partie pris en compte que les parties non récoltées des plantes restent en place et soient restitués au sol. Jusqu'en 2001, il était de plus pratiqué en périmètre de captage protégé (WSG) une soustraction de 20 % à la quantité calculée nécessaire selon la bonne pratique agricole afin de limiter les risques (Tab. 20 et en annexe Tab. T 10).

Les calculs effectués à posteriori par l'IfUL sont fondés sur les rendements des placettes mesurés à la main en 2000 et les quantités d'azote absorbées à la récolte calculées pour le grain. Le reste des plantes retourne au sol. Leur teneur en azote n'a pas été retenue pour base dans le calcul de l'absorption en azote. Autrement, les réductions ou augmentations relatifs au précédent et à l'azote libéré par le sol ont été pris en compte dans le calcul du besoin en azote de la culture selon les préconisations NID. On a calculé le bilan en azote (solde) dans les deux situations à partir des besoins en azote estimés et des apports en fertilisants réalisés. Dans la variante de l'IfUL, le solde (surplus d'azote) est encore plus important que dans celle selon NID.

La comparaison du besoin en fertilisation calculé avec la mesure de l'azote réellement absorbé par la culture à celle du besoin en azote évalué selon NID montre l'écart sensible du besoin en fertilisation azotée calculé par celle-ci avec les valeurs calculées à partir des quantités d'azote réellement absorbées. La raison tient aux besoins en azote retenus par NID qui sont nettement plus élevés (besoin unitaire de 2,2 multiplié par le rendement objectif, plus le reliquat pour les restes non exportables). Dans la variante de l'IfUL, on atteint même un plus fort rendement avec moins d'azote apporté que dans le calcul de NID car dans la première variante on prend en compte un besoin en azote nettement plus faible.

7.1.1.2.2 ALSACE

- Parcelle de WITTERNHEIM

ANNEE 2000

a. rendement machine

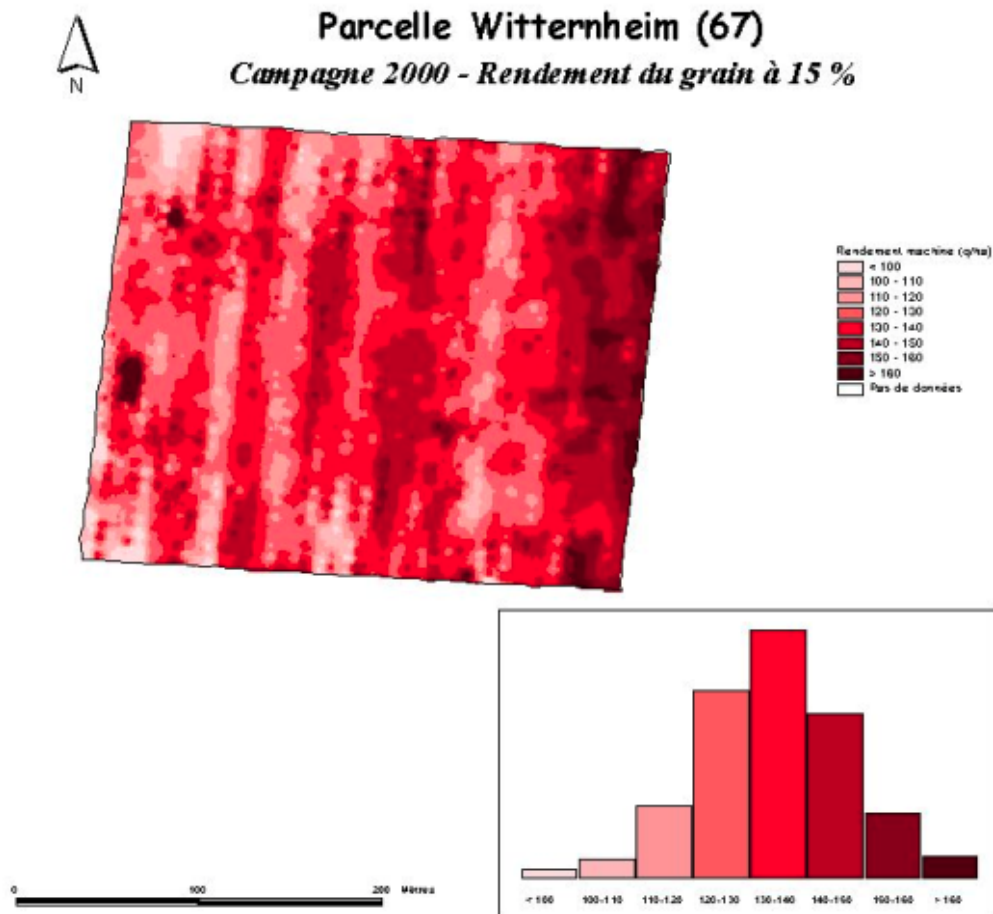


Fig. 18 : Witternheim 2000- rendement machine

Le rendement 2000 atteint en moyenne 133.6 quintaux/ha. La dispersion des résultats va de 100 quintaux à plus de 160 quintaux selon les zones. L'histogramme des rendements montre que la majeure partie des résultats se situent entre 120 et 150 quintaux avec un maximum entre 130 et 140 quintaux. La cartographie issue de la moissonneuse montre globalement des rendements plus forts à l'Est et plus faibles à l'Ouest (différence de 10 à 20 quintaux). On observe aussi une répartition en bandes Sud-Nord, qui correspond au sens du travail du sol, du semis et de la récolte. Signalons également que le pied du pivot d'irrigation se trouve à l'extérieur de la parcelle côté Ouest. Les bandes de rendement différents sont-elles à rapprocher du passage des buses d'irrigation ? Un contrôle de l'homogénéité d'arrosage sera réalisé au cours de l'été 2001 pour prendre en compte ou exclure cette hypothèse.

b. rendement « biologique » calculé à partir des prélèvements

Les rendements vont de 89 à 161 quintaux avec une moyenne de 130.3 q/ha. La cartographie issue des 49 points de mesure montre que la partie Ouest est moins productive que la partie Est (différence de 15 à 30 quintaux) ce qui correspond à la remarque énoncée plus haut sur le rendement machine. Il y a également une disposition des résultats dans le sens Sud-Nord.

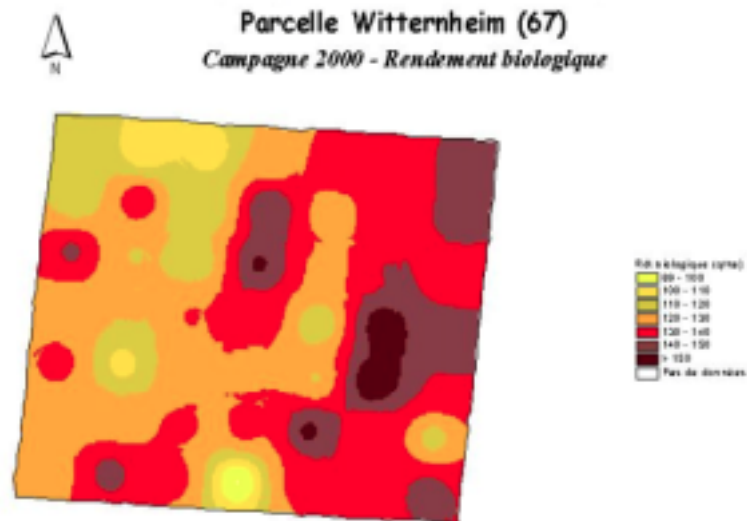


Fig. 19 : Witternheim 2000 - rendement biologique

c. profondeur de sol et réserve utile

La profondeur est mesurée à la tarière lors des sondages pédologiques. En fonction des caractérisations de chaque horizon et à l'aide du triangle des textures, on estime la valeur de la réserve utile.

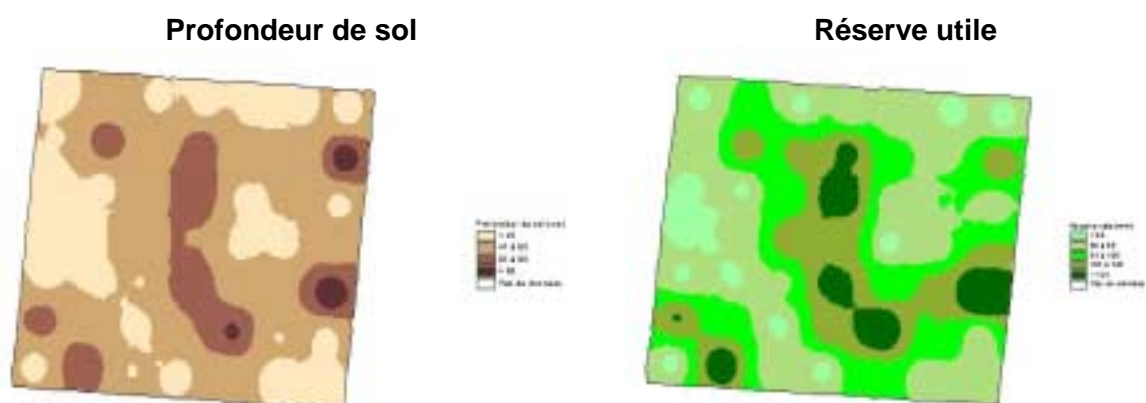
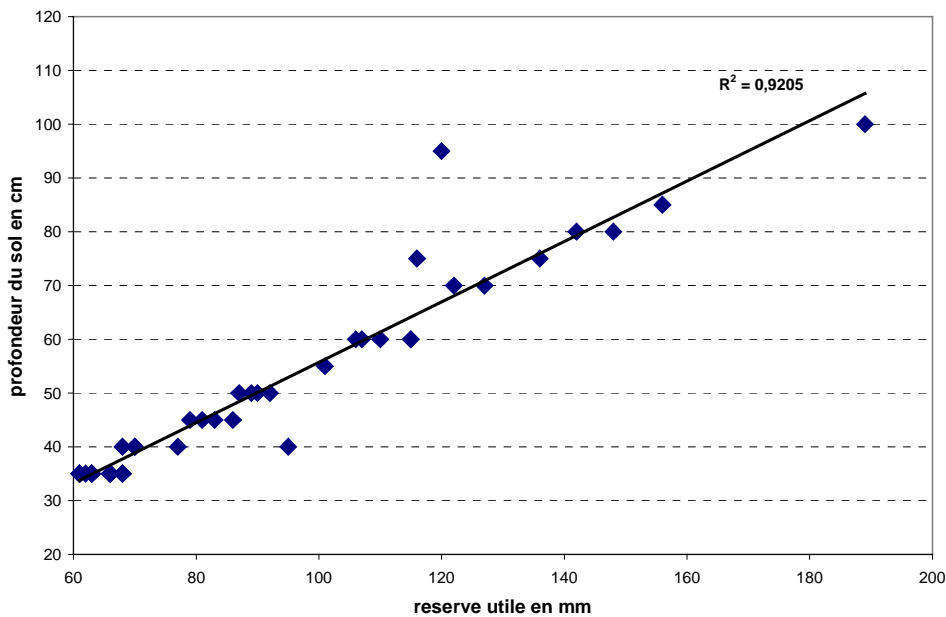


Fig. 20 : Witternheim 2000 – cartographies de la profondeur et de la réserve utile du sol

L'observation des deux cartes correspondantes montre un lien entre profondeur et RU, comme le confirme d'ailleurs l'allure du graphique et le coefficient de corrélation ($r^2 = 0,92$).

Figure 21 : Witternheim 2000 - Relation Profondeur du sol - réserve utile



Par contre, il n'y a pas de lien fort entre le rendement et la profondeur du sol ou encore la réserve utile. Les coefficients de corrélation sont faibles. Cela doit provenir du fait que la parcelle est irriguée à l'optimum dans les endroits les plus caillouteux. L'apport d'eau est non limitant sur l'ensemble de la parcelle et gomme d'éventuels déficits hydriques.

Figure 22 : Witternheim 2000 - Relation Rendement bio - réserve utile

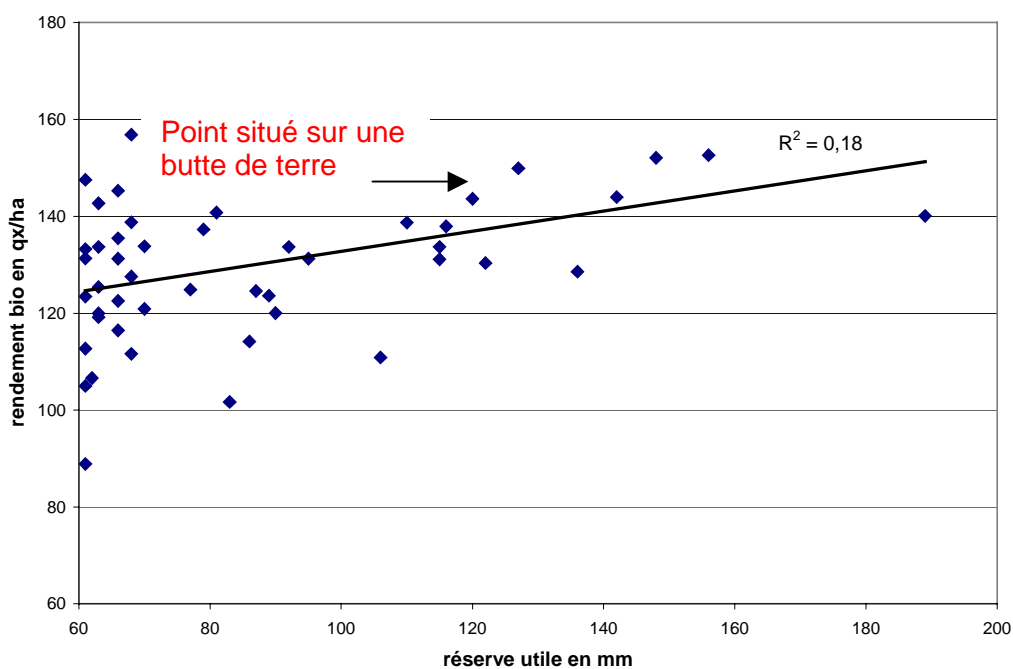
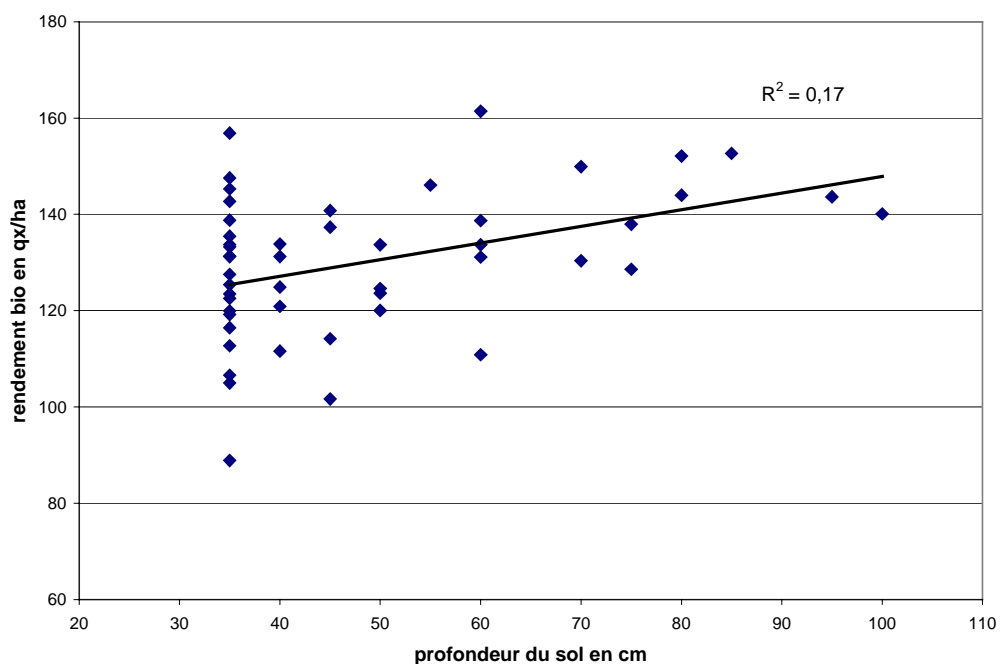


Fig. 23 : Witternheim 2000- Relation Rendement bio - profondeur du sol



d. présence de cailloux

Des ronds de cailloux se remarquent à la surface du sol. A ces endroits, le sol est plus superficiel et plus séchant. Le GPS portatif de l'Iful a été utilisé pour délimiter au plus près ces zones caillouteuses.

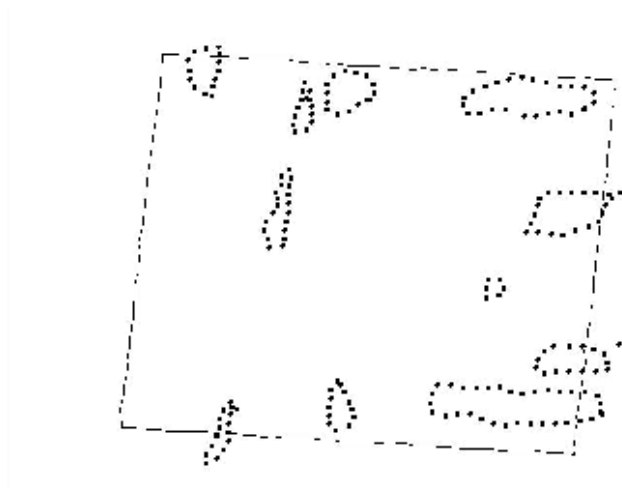


Fig. 24 : Witternheim 2000 – ronds de cailloux

Lorsqu'on compare cette cartographie avec celle du peuplement (voir page 8), on s'aperçoit que les zones caillouteuses correspondent assez bien aux endroits où la densité est la plus faible (à l'exception du coin Sud-Est). Cela devra être confirmé les années suivantes.

e. analyse chimique du premier horizon

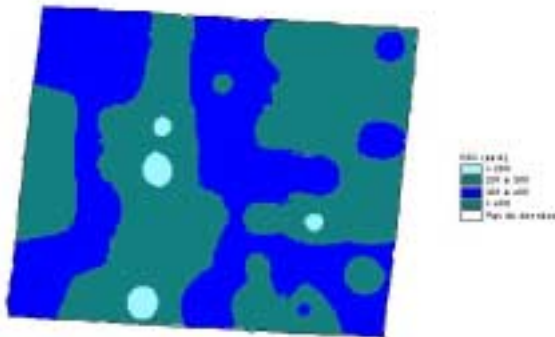
Les teneurs en Potasse révélées par l'analyse sont moyennes (170 ppm) à élevées (jusqu'à 510 ppm) et ne peuvent à priori pas induire de différences significatives de rendement.

Les résultats concernant le Phosphore sont également élevés, en moyenne (217 ppm) mais montrent une plus grande disparité (60 à 430 ppm). Là encore, les teneurs mesurées ne peuvent expliquer les différences de rendement.

Pour la Magnésie, la cartographie semble indiquer un gradient inverse à celui observé pour le rendement. Pourtant, l'analyse statistique ne montre pas de corrélation entre ces deux facteurs (r^2 proche de 0). On peut faire la même remarque en ce qui concerne la teneur en Zinc. Signalons que comme pour la potasse et le phosphore, les teneurs en magnésie et zinc ne sont pas limitantes sur l'ensemble de la parcelle si l'on se réfère aux valeurs seuils définies dans ce type de sol.

Le taux d'humus (% MO) et le pH ne sont pas très hétérogènes selon l'emplacement des analyses dans la parcelle. En effet, le % d'humus varie de 2.4 à 4.5 avec une moyenne de 3.0 et le pH passe de 6 à 7.3 avec une moyenne de 7.0. Avec de telles valeurs, il n'y a pas d'incidence sur le rendement du maïs-grain.

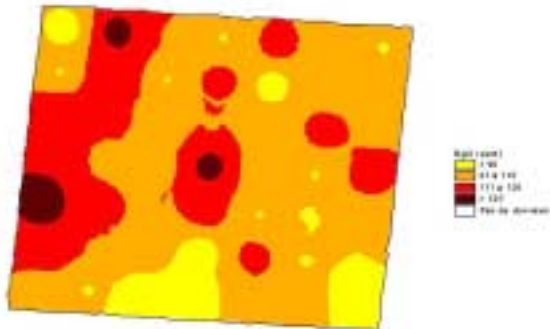
Potasse K2O :



Phosphore P2O5



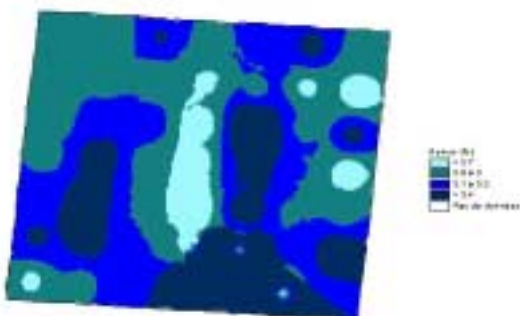
Magnésie MgO :



Zinc Zn :



% Humus :



PH :

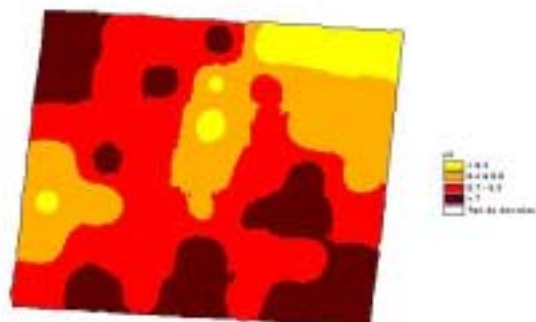


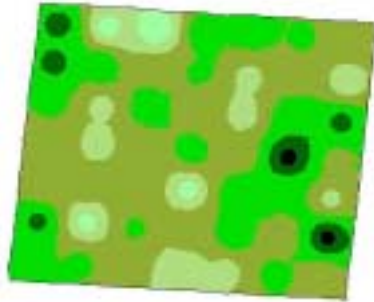
Fig. 25 : Witternheim 2000 - cartographies des teneurs en éléments fertilisants
10/04/2003

f. les données annuelles

f1. Peuplement (pieds/ha) et épis/ha

La densité de ces deux facteurs est assez variable selon les zones de prélèvement mais il ne semble pas y avoir d'incidence directe sur le rendement. C'est confirmé par l'analyse statistique qui ne montre pas de lien d'un de ces facteurs avec le rendement ($r^2 < 0.1$). Il faut alors rechercher auprès des autres composantes du rendement l'explication des différences de production.

Pieds / ha :



Epis / ha :

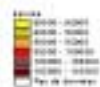
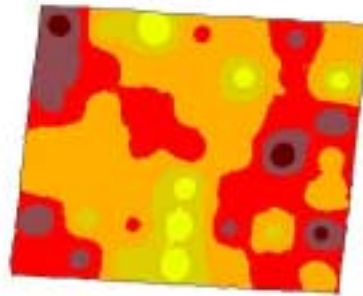


Fig. 26 : Witternheim 2000 – cartographies du peuplement et de la densité en épis

f2. Biomasse à la maturité :

En comparant visuellement les cartographies de rendement grain (bio) et de biomasse (t MS/ha), on remarque une certaine similitude entre les zones.

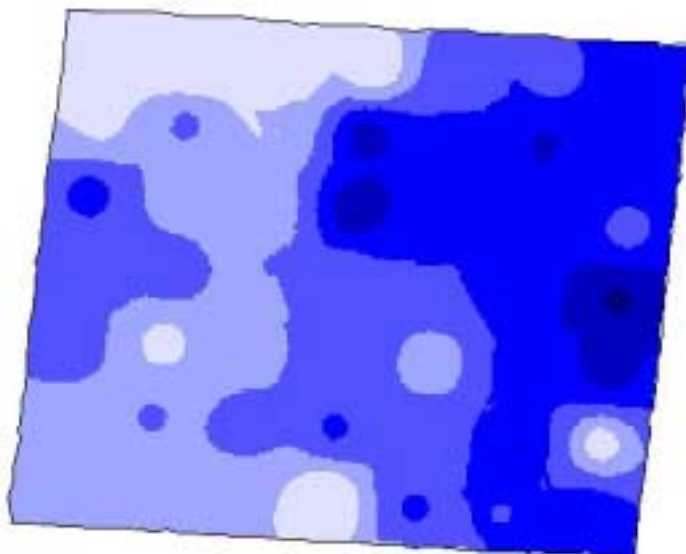


Fig. 27 : Witternheim 2000 – cartographie de la biomasse

La figure confirme une certaine liaison entre ces deux facteurs ($r^2=0.62$), ce qui est assez logique car le rendement grain intervient pour une bonne part (50 % au moins) dans le rendement de biomasse (matière sèche totale).

f3. Autres composantes du rendement

En regardant les composantes l'une après l'autre, on observe qu'elles sont toutes plus ou moins liées à l'obtention du rendement final, ce qui est logique. Le nombre de rendement grains/m² est assez bien corrélé, ainsi que le PMG. C'est à l'Est de la parcelle que celui-ci est le plus élevé (jusqu'à 317 grammes pour la variété DK 312 cultivée en 2000). C'est dans cette même zone que la densité, bien que non corrélée au rendement, est la plus élevée. On aurait pu s'attendre à trouver des grains moins gros à cause d'un problème éventuel de concurrence entre plantes. Ce n'est pas le cas. Il y a un très bon remplissage des grains dans ce secteur de la parcelle. Cela signifie que la productivité de l'Est de la parcelle a été favorable sur les différentes composantes et que la différenciation entre zones a été précoce. Il ne semble pas y avoir eu de problème entre zones lors du remplissage du grain.

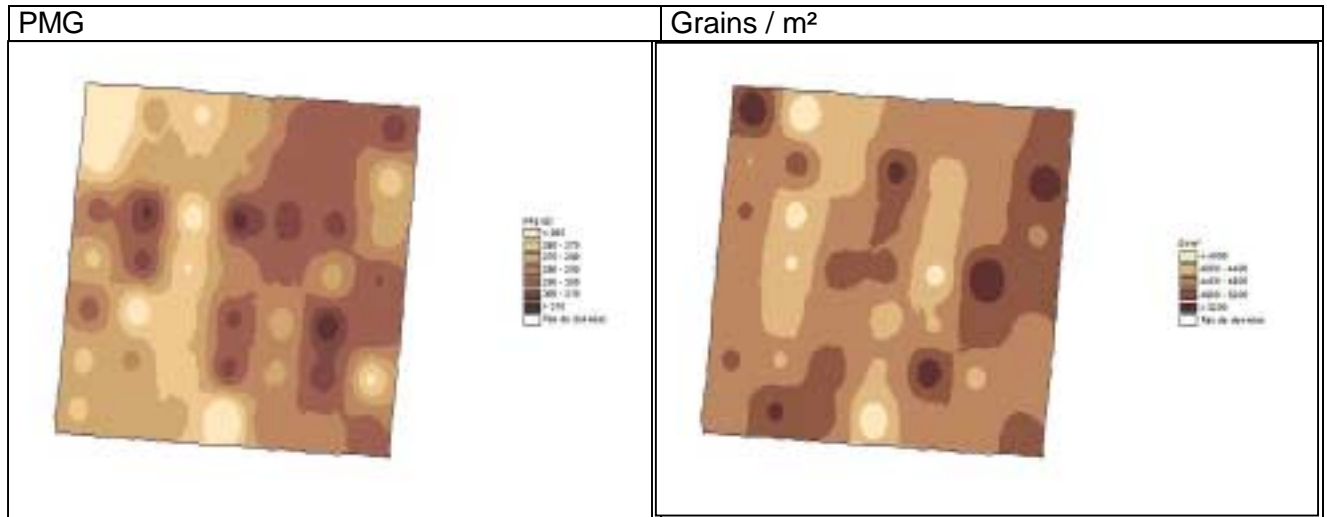


Fig. 28 : Witternheim 2000 – cartographies du PMG et du nombre de grains/m²

f4. Les prélèvements par les plantes :

Les quantités d'Azote, Potasse, Phosphore et Magnésie prélevées par les plantes ont été mesurées en septembre 2000. Seule la cartographie de l'azote prélevé semble être corrélée à celle du rendement. Pourtant, l'analyse statistique fait état d'une faible liaison entre ces deux facteurs. Pour les trois autres éléments, il n'y a aucune liaison nette avec le rendement.

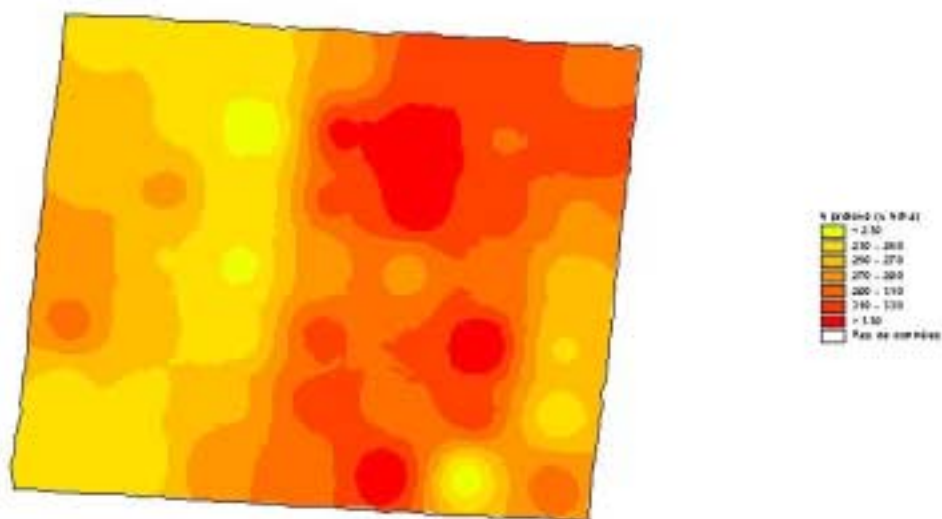


Fig. 29 : Witternheim 2000 - Azote prélevé en Kg/ha (2000)

f5. L'état de nutrition azoté

Parmi les méthodes et outils permettant de diagnostiquer l'état de nutrition azotée des plantes de maïs, l'Hydro N-Tester a été choisi pour sa facilité d'emploi. Elle consiste à mesurer à l'aide d'une pince munie d'une cellule photoélectrique la transmission de la lumière à travers la feuille de maïs. La valeur obtenue est liée à la teneur en chlorophylle des feuilles, elle-même dépendante de l'alimentation en azote de la culture. Les essais conduits ces dernières années ont montré qu'une mesure réalisée entre la floraison mâle et la floraison femelle, sur la feuille de l'épi est pertinente pour diagnostiquer en excès ou une carence en azote.

HNT maïs 2000 (réalisé 1 point sur 2)

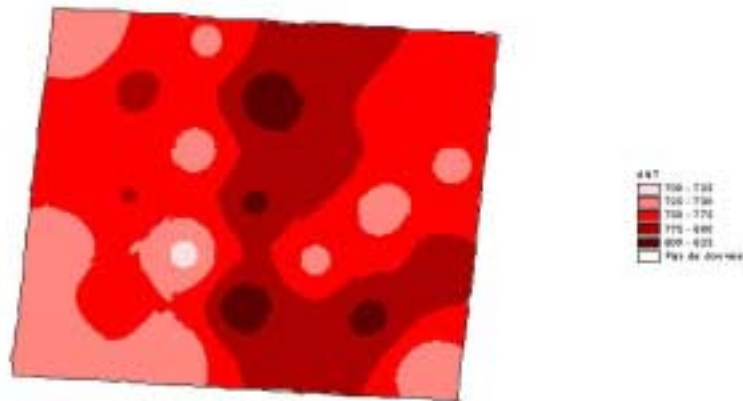


Fig. 30 : Witternheim 2000 – état de nutrition azotée

L'analyse ne montre pas de relation entre les données HNT mesurées et le rendement 2000.

f6. L'indice foliaire

La surface de feuilles correspond à la capacité des plantes à intercepter la lumière et conditionne le fonctionnement de la photosynthèse. Plus la surface de feuilles (indice foliaire) est importante, plus l'hectare de maïs a la capacité de fabriquer des quintaux. Pour connaître ce paramètre, soit on mesure la surface de chaque feuille d'un échantillon de plantes, soit on utilise une mesure indirecte. C'est cette option qui a été choisie en utilisant le Picquélios qui mesure par beau temps l'interception de la lumière par le feuillage. Les données obtenues en 2000 ne sont pas encore exploitées et feront l'objet d'un commentaire dans le rapport définitif.

Premières conclusions sur la parcelle de Witternheim

Les observations montrent :

Une bonne corrélation entre le rendement « machine » et le rendement « biologique ».

Une corrélation entre le rendement bio et la biomasse produite.

Pas de corrélation nette entre le rendement et les autres composantes.

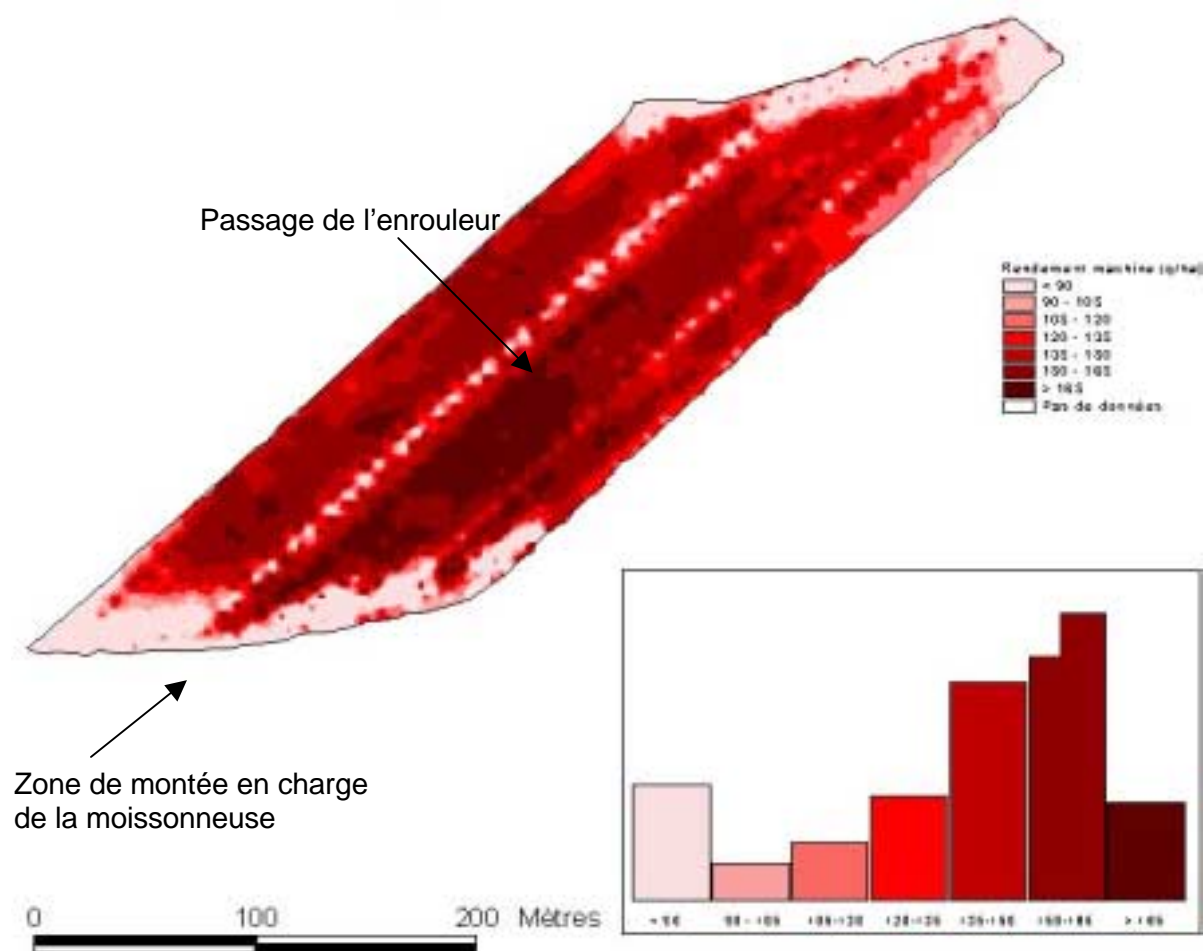
Une certaine incohérence entre l'état de nutrition azoté (azote prélevée et Indice N-Tester) et le rendement.

L'année 2000, relativement pluvieuse, a été favorable à la végétation. Si on ajoute le fait que la parcelle d'étude est irriguée, on comprend que ces conditions ont pu « lisser » les effets d'hétérogénéité intra-parcellaire. Après une campagne de mesures, nous ne disposons pas de suffisamment d'éléments pour mettre en évidence et surtout expliquer la variabilité intra-parcellaire.

Parcelle d'Ebersheim – Année 2000

a. Rendement machine -

Fig. 31 : Ebersheim 2000 - Cartographie du rendement machine (15 % H₂O)



Le rendement 2000 atteint en moyenne 126.6 quintaux/ha. La dispersion des résultats va de 100 q/ha à plus de 150 q/ha selon les zones. L'histogramme montre que la majeure partie des résultats se situe au dessus de 140 quintaux et même qu'une part importante de ceux –ci sont supérieures à 150 quintaux. La cartographie issue de la moissonneuse batteuse montre des rendements faibles au Nord et au Sud. Cela peut être dû à la présence de tournière à ces endroits (sol tassé, plantes moins productives...) mais aussi au temps de montée en charge du grain dans la moissonneuse-batteuse ce qui fausse le résultat du capteur de rendement en début de voie. On observe aussi une bande plus claire Nord-Sud, qui correspond à l'emprise de l'enrouleur pour l'irrigation. Il manque généralement 2.5 m de maïs à cet endroit. Il y a aussi une petite bande, moins large, vers l'Est qui correspond peut-être à une récolte pas en pleine barre de coupe pour finir la parcelle. On aperçoit une zone moins productive dans le travers de la parcelle vers le Nord

b. Rendement « biologique » - Campagne 2000

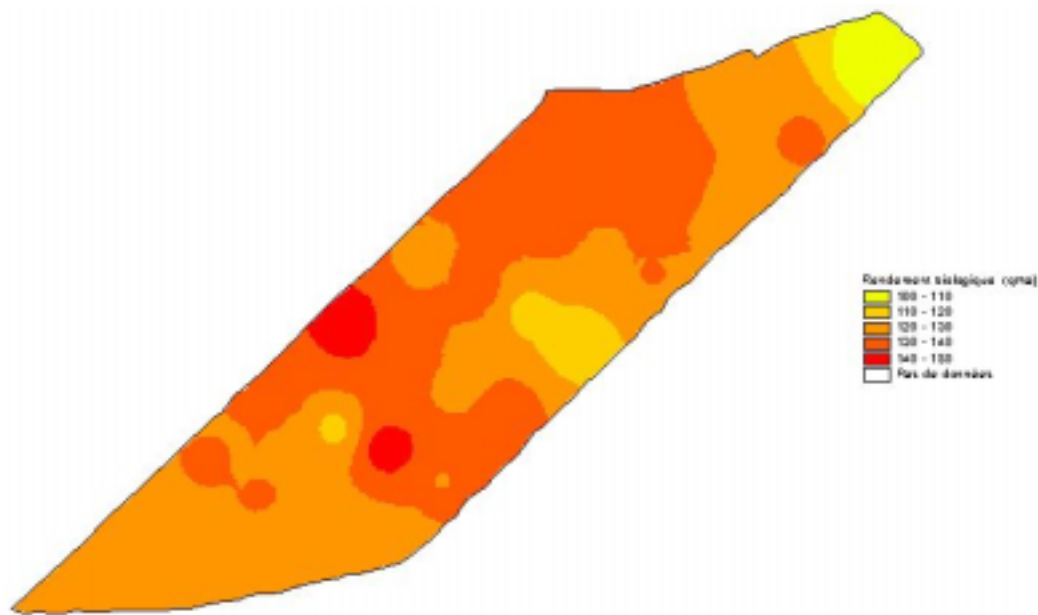
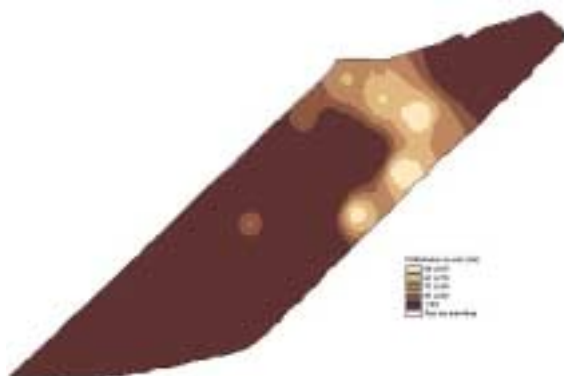


Fig. 32 : Ebersheim 2000 – cartographie du rendement biologique

Le rendement biologique s'établit à 133.7 q/ha avec une variabilité de 103.9 à 152.6 q/ha selon les zones de la parcelle. Globalement, les zones les plus productives sont situées au centre de la parcelle. On retrouve les mêmes zones à fort rendement que sur la carte du rendement machine.

c. Profondeur du sol et réserve utile

Profondeur du sol :



Réserve utile en mm :

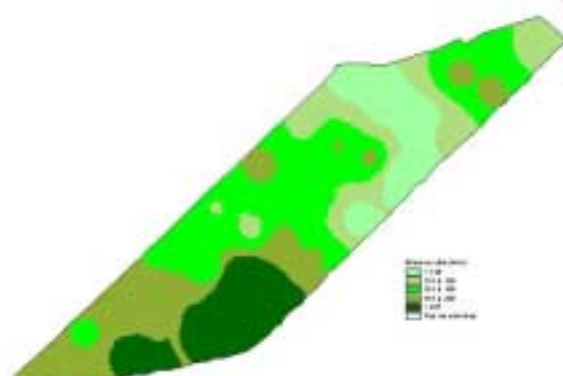
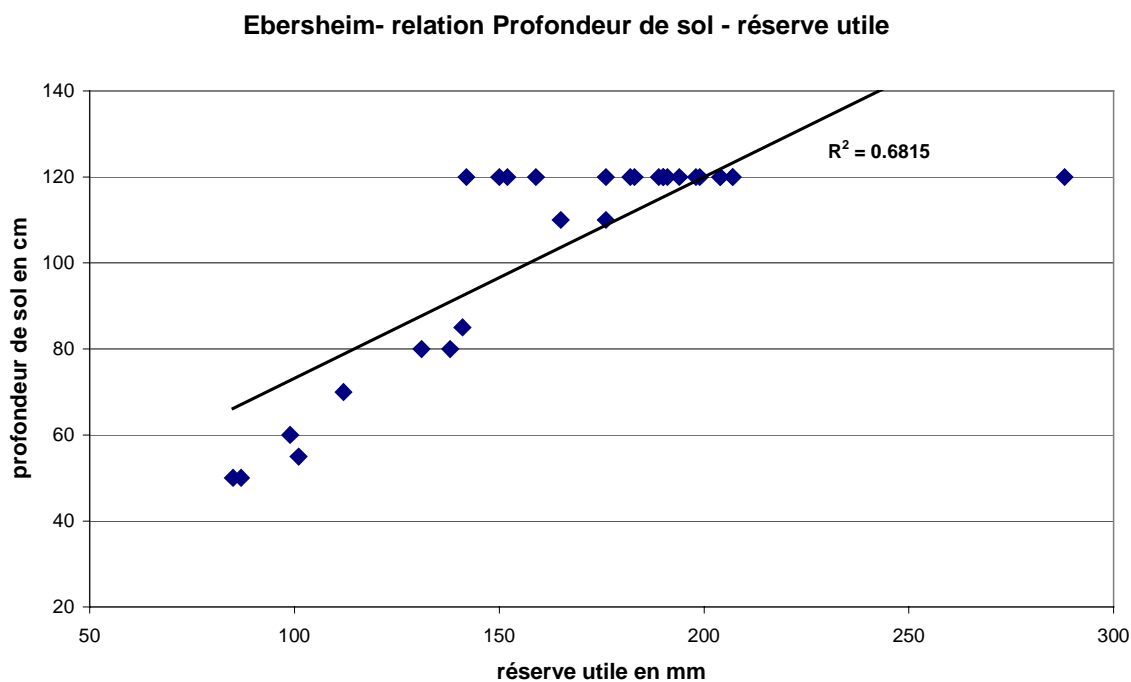


Fig. 33 : Ebersheim 2000 – cartographies de la profondeur et de la RU du sol

L'observation des deux cartes montre des similitudes ce qui est logique car la RU est estimée en fonction de la profondeur mesurée et de la texture de chaque horizon. On retrouve une zone transversale en haut à faible profondeur (<80 cm) et à « plus faible » RU (<120 mm) qui correspond à la zone moins productive révélée par le rendement machine. C'est moins net avec le rendement bio comme le démontre le graphique ci-dessous et le coefficient de corrélation.

Fig. 34 : Ebersheim 2000



Comme à Witternheim, il n'y a pas de lien étroit entre rendement et profondeur du sol ou encore réserve utile. L'irrigation à l'optimum en est peut-être la cause en « gommant » d'éventuelles différences.

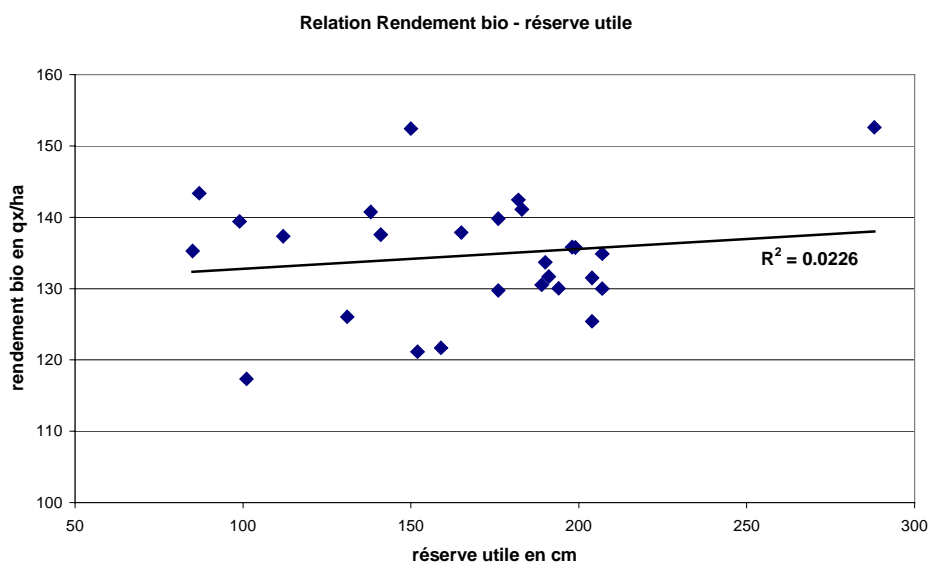
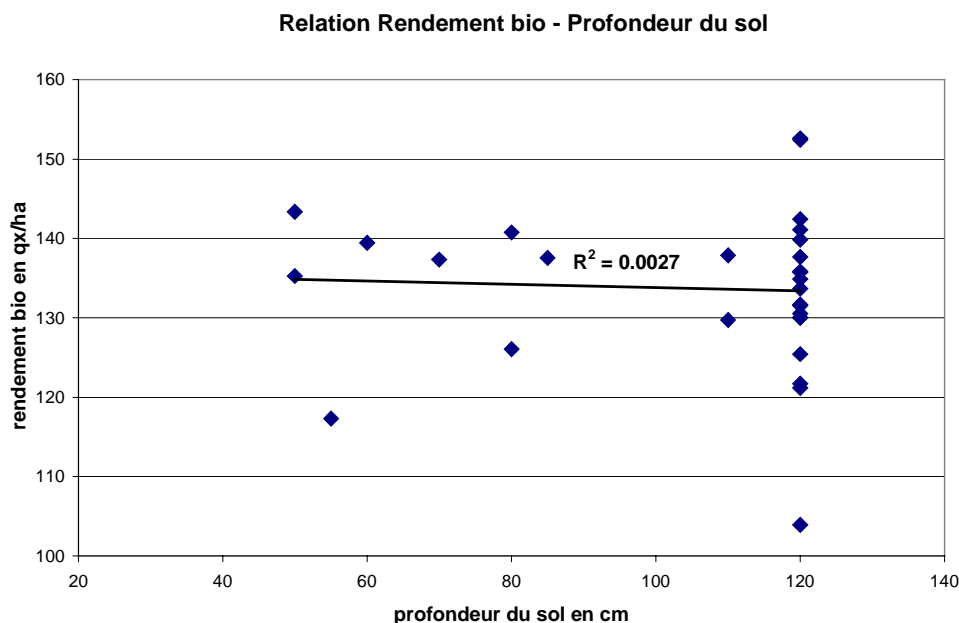


Fig. 35 : Ebersheim 2000 – relation rendement bio – réserve utile du sol

Fig. 36 : Ebersheim 2000



d. Analyse chimique du premier horizon

Les teneurs en Potasse révélées par l'analyse en moyenne de 182 ppm ce qui justifie dans ce type de sol d'apporter 90 unités pour un maïs grain irrigué de 120 quintaux. La dispersion des teneurs est assez faible (ETR 35 ppm). Pourtant, ces teneurs ne peuvent pas à priori induire de différences significatives de rendement.

Les résultats concernant le Phosphore sont élevés avec une moyenne de 161 ppm. La dispersion est plus importante (100 à 340 ppm avec ETR de 53 ppm). Là encore, les teneurs mesurées ne peuvent expliquer les différences de rendement.

Pour la Magnésie, la moyenne est de 76 ppm pour un ETR de 13 ppm. A ces teneurs, le maïs ne peut pas montrer de sensibilité vis à vis du rendement. On peut faire la même remarque en ce qui concerne la teneur en Zinc (8 ppm). Signalons que comme pour les autres éléments, les teneurs en magnésie et zinc ne sont pas limitantes sur l'ensemble de la parcelle si l'on se réfère aux valeurs seuils définies dans ce type de sol.

Le taux d'humus (% MO) est assez homogène selon l'emplacement des analyses dans la parcelle. En effet, le % d'humus varie de 1.7 à 2.7 avec une moyenne de 2.0. Pas de problème à craindre pour le bon fonctionnement du sol et des plantes. Le pH est par contre assez variable (5.3 à 7.2) pour une moyenne de 6.0. La zone la plus faible (pH < 6) est réduite en surface et est située dans une partie de sol plus profond.

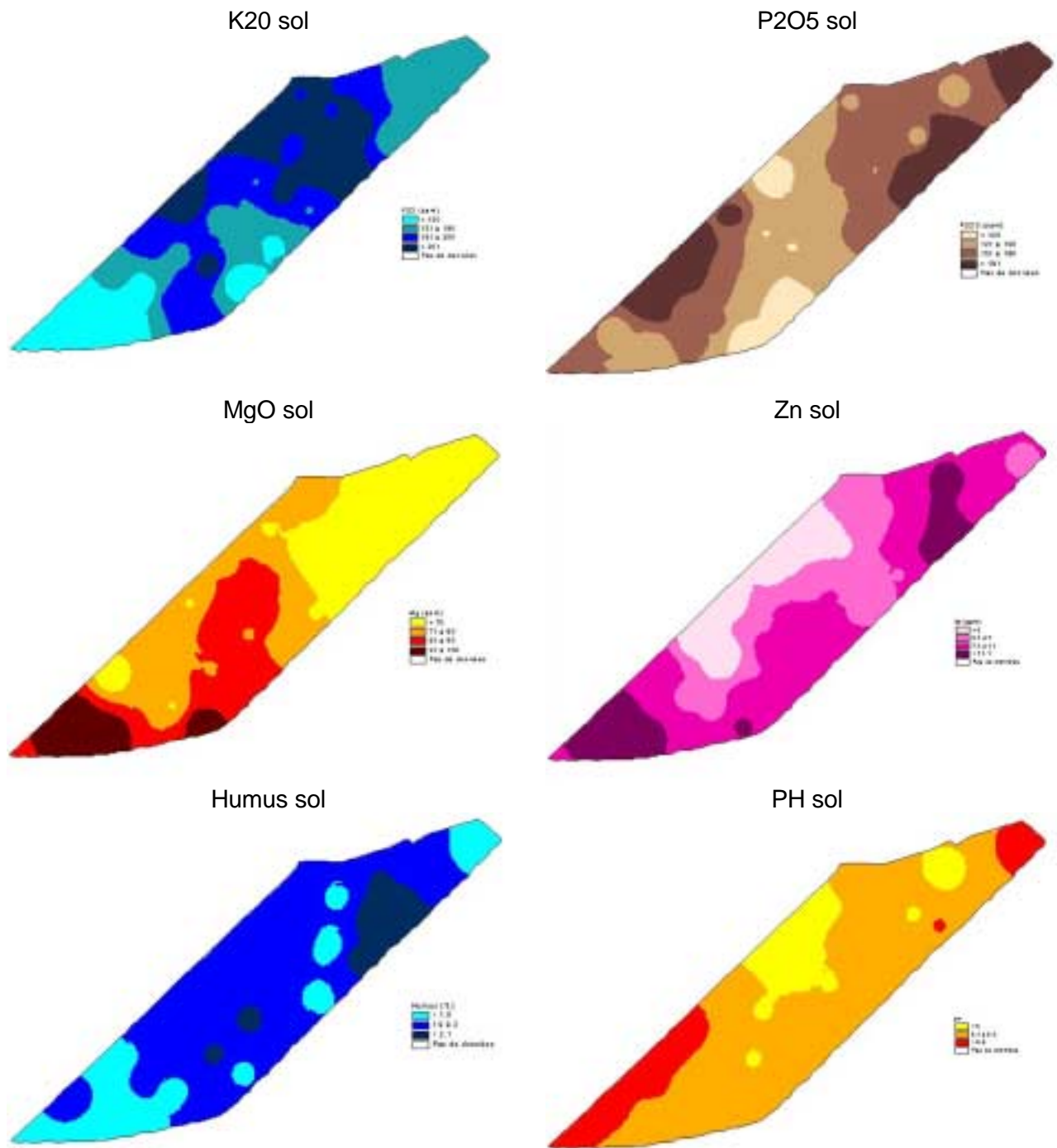


Fig. 37 : Ebersheim 2000 – cartographies des éléments stables du sol

e. les données annuelles

e1. Peuplement (pieds/ha) et épis/ha

La densité de ces deux facteurs est très variable selon les zones de prélèvement et montre un gradient Est-Ouest.

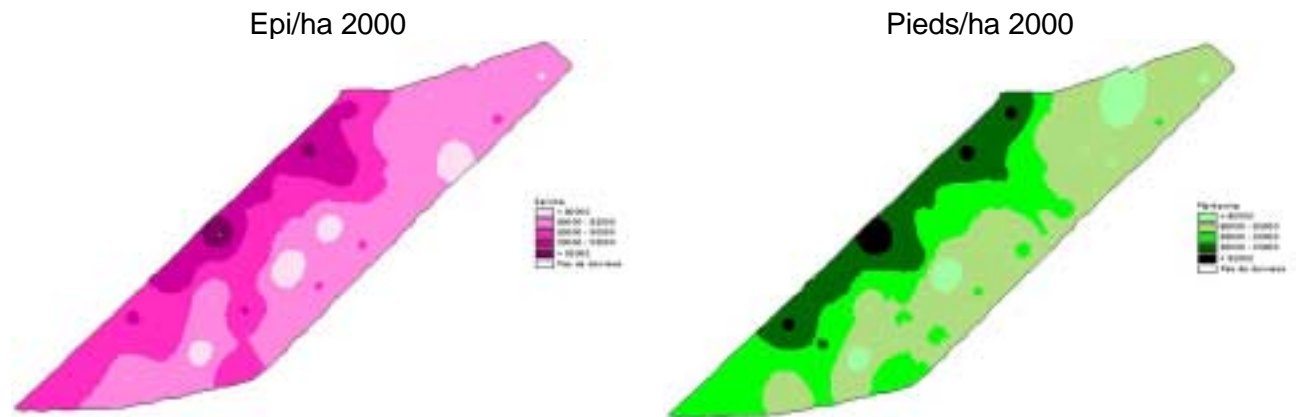


Fig. 38 : Ebersheim 2000 – cartographies du peuplement et du nombre épis

Ainsi, suite au semis annoncé de 98000 grains/ha, on se retrouve en moyenne à la récolte avec 86140 pieds/ha pour la variété Dk 312. Cette densité moyenne est proche de l'optimum (environ 90000) ce qui se traduit d'ailleurs par un bon rendement (126.6 qx/ha). Pourtant, la densité est très variable selon les zones de mesures en allant de 74839 à 98065 pieds/ha. On peut faire les mêmes observations pour la densité épis car il y a 0.99 épi/pied en moyenne. Les mini et maxi sont les mêmes que pour la densité. Il en résulte que les cartographies de ces deux composantes sont quasiment identiques. Si on essaye d'établir une relation avec le rendement bio calculé, on ne trouve pas de liaison nette. Le coefficient de corrélation $r^2 = 0.21$ pour la densité plantes indique que d'autres facteurs entrent en jeu pour expliquer la variabilité intraparcélaire du rendement. Même remarque pour la densité épis avec $r^2=0.31$. Ainsi, on obtient 130 qx/ha aussi bien avec 74839 épis/ha que avec 87742 épis/ha.

e2. Biomasse à la maturité

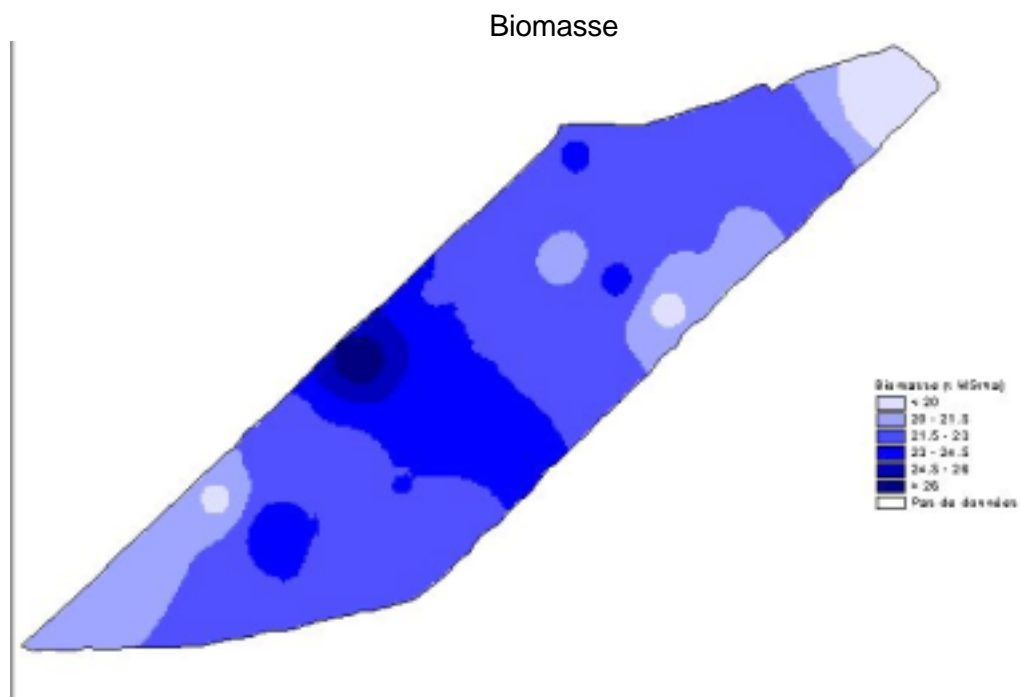


Fig. 39 : Ebersheim 2000 – cartographie de la biomasse

Il apparaît une certaine correspondance entre les zones de production de grain et de biomasse mais cela est moins net que à Witternheim. La corrélation est faible ($r^2=0.29$).

e3. Autres composantes du rendement

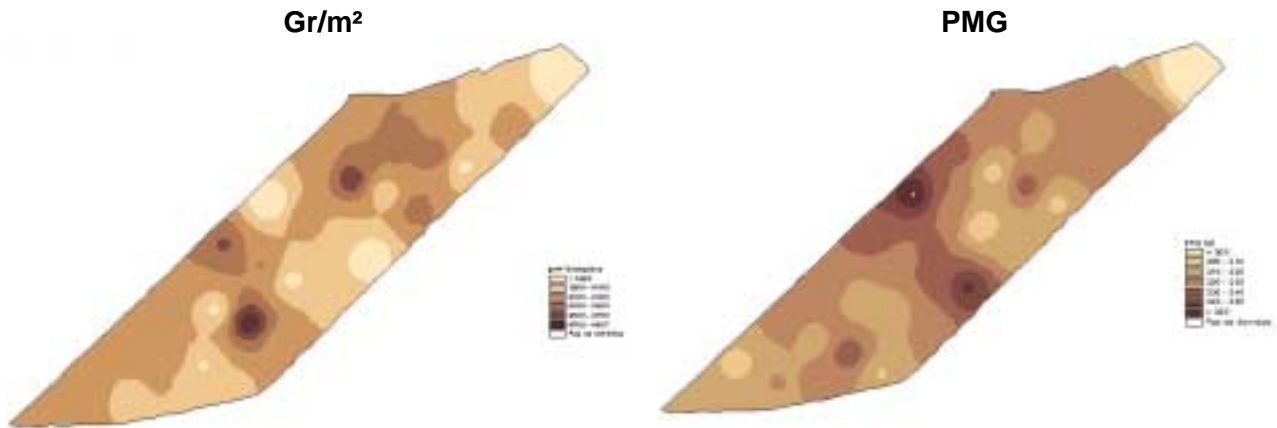


Fig. 40 : Ebersheim 2000 – cartographies du nombre de grains/m² et du PMG

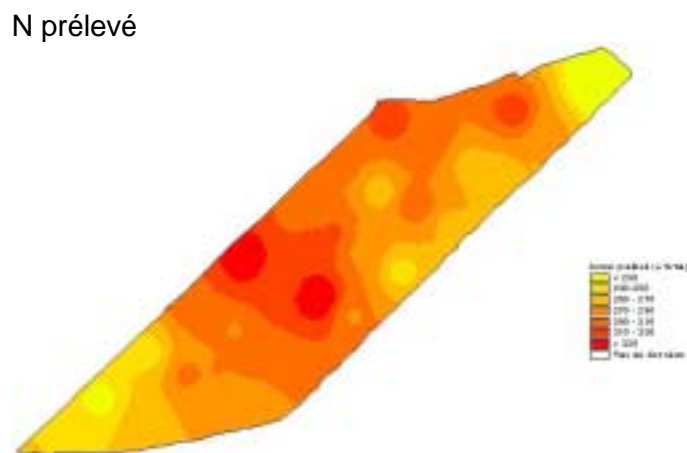
La liaison avec le rendement bio est logique car celui-ci est calculé à partir des composantes mesurées.

e4. Les prélèvements par les plantes :

Les quantités d'Azote, Potasse, Phosphore et Magnésie prélevées par les plantes ont été mesurées en septembre 2000.

Les corrélations entre l'un de ces éléments et le rendement bio sont très faibles (K₂O ou MgO, $r^2=0.07$), voire nulle (P₂O₅, $r^2=0.0029$). Seul l'Azote absorbé présente une petite liaison avec le rendement ($r^2=0.31$).

Fig. 41 : Ebersheim 2000 – cartographie de l'azote prélevé par la culture



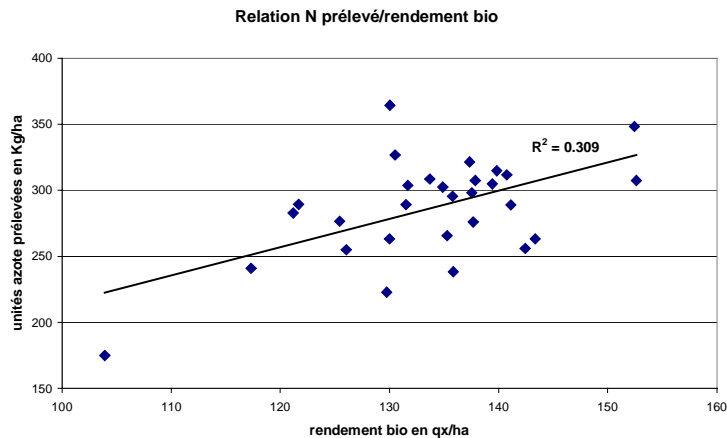


Fig. 42 : Ebersheim 2000 – relation entre le rendement bio et l'azote prélevé par les plantes

Il manque peut-être des points de prélèvement pour avoir une meilleure corrélation, mais la cartographie met bien en évidence une similitude entre azote prélevé et rendement bio ou machine.

e5. L'état de nutrition azoté

La méthode de mesure N-Tester a été appliquée au stade floraison femelle.

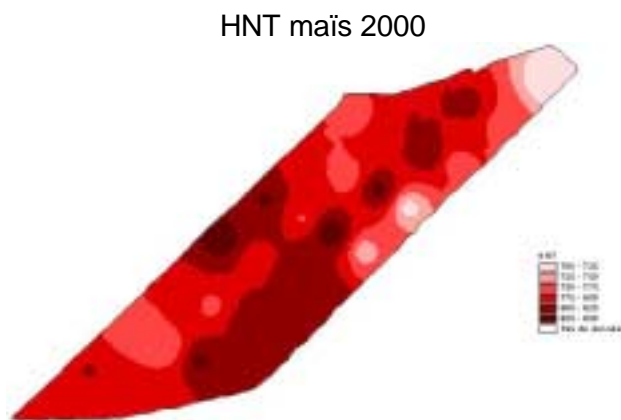


Fig. 43 : Ebersheim 2000 – cartographie de la nutrition azotée

Les valeurs s'échelonnent de 696 à 850 unités N-Tester, avec une moyenne à 789. La plupart des résultats sont néanmoins centrés autour de la moyenne qui n'est pas synonyme de carence en azote. La dose totale apportée est de 230 unités ce qui est suffisant dans ce type de sol pour atteindre un objectif de rendement de 120 quintaux.

Sur cette parcelle, il n'y a pas de liaison directe de cette mesure avec le rendement.

Premières conclusions sur la parcelle d'Ebersheim

Les observations montrent :

Une assez bonne similitude entre le rendement « machine » et les cartographies de profondeur de sol et de réserve utile.

Une parcelle relativement peu hétérogène à la vue de la dispersion des résultats de rendement et des caractéristiques physico-chimiques du sol.

Pas de corrélation nette entre le rendement et les composantes comme le peuplement épis.

Une certaine incohérence entre l'état de nutrition azoté (azote prélevée et Indice N-Tester) et le rendement.

Comme à Witternheim, le fait que la parcelle soit irriguée, doit entraîner un certain « lissage » des effets d'hétérogénéité intra-parcellaire. Là encore, après une seule campagne de mesures, nous ne disposons pas de suffisamment d'éléments pour mettre en évidence et surtout expliquer la variabilité intra-parcellaire.

Premiers commentaires sur l'analyse et l'interprétation de la variabilité intra-parcellaire des deux parcelles suivies en Alsace.

Cette première année d'étude (2000) a permis de se familiariser avec le concept et les outils utiles à l'agriculture de précision dans la phase de mise en évidence de la variabilité intra-parcellaire.

A ce titre, nous avons pu échantillonner :

de manière précise les deux parcelles sur les données pérennes liées au milieu. Il reste à exploiter la cartographie des sols réalisée par l'ARAA.

les données stables liées au passé cultural. Les analyses chimiques des sols montrent que les deux parcelles sont globalement bien pourvues en éléments fertilisants et que les teneurs mesurées ne devraient pas être des éléments explicatifs de différences de rendement.

Les données annuelles liées à la culture en place. Celles-ci sont par nature annuelles et devront être confrontées avec les données mesurées les deux prochaines campagnes.

Certaines mesures et analyses apparaissent indispensables pour pouvoir expliquer les différences de rendement obtenus en première année. On citera :

la cartographie de la résistivité du sol qui mesure la conductivité électrique du sol directement liée à la texture et à la profondeur du sol.

L'interprétation des mesures d'indice foliaire (mesures effectuées mais pas encore exploitées).

Eventuellement des photos aériennes ou satellitaires à des périodes propices de la végétation.

Un bilan hydrique des parcelles pour chaque campagne...

En 2001, la parcelle de Witternheim est cultivée en maïs-grain alors que celle d'Ebersheim est cultivée en blé d'hiver.

Comparaison des rendements, des composantes de rendement, des teneurs en éléments fertilisants et propriétés du sol

Les cartes suivantes ont été élaborées à partir de l'échantillonnage matriciel des parcelles, ce qui explique la densité nettement plus faible des données que pour les mesures en continu. Les schémas de répartition spatiale ne peuvent donc être comparés sans réserve, étant donné que l'on peut effectuer une comparaison entre les parcelles bénéficiant de valeurs interpolées s'appuyant sur nombre restreint de mesures (cartes de mesures matricielles) et les valeurs d'interpolation avec une base plus large de valeurs interpolées (cartes en ligne). Si l'on compare entre elles les cartes matricielles des rendements et des teneurs en azote, on constate sur la parcelle culturale I 2 des valeurs maximales qui se recoupent ainsi que la même répartition dans l'espace, que l'on retrouve également esquissée sur la parcelle I 3. Les calculs de corrélation ont révélé une relation caractérisée par $r=0,51$.

Weisweil (Légendes : se reporter aux cartes dans l'annexe).

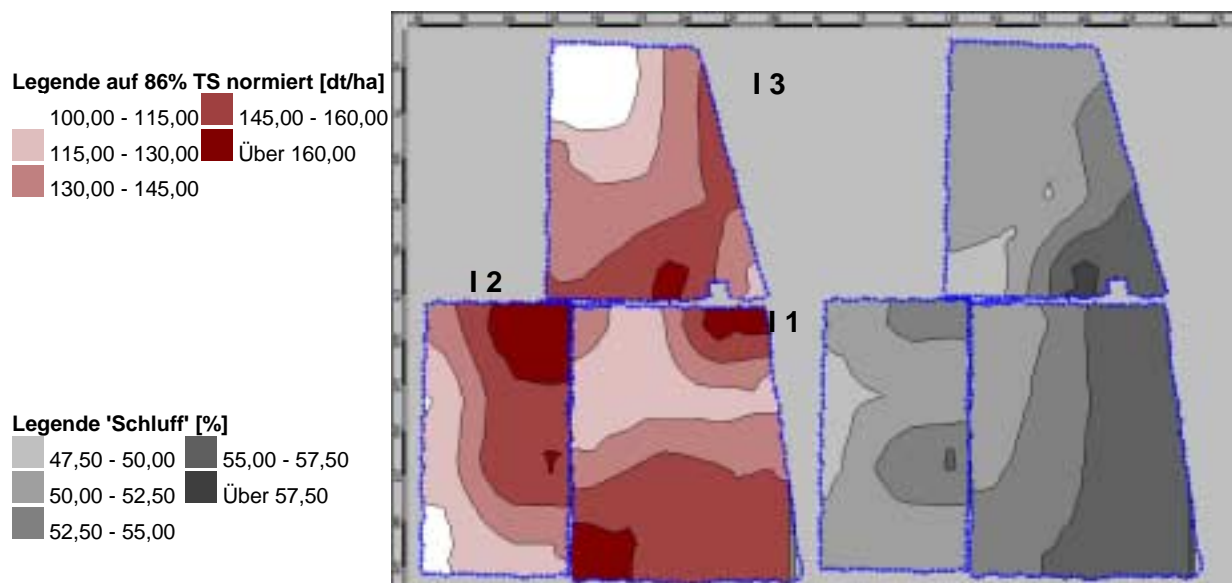


Fig. 44 : Cartes matricielles de mesures : Rendements du maïs en grains (86 % de MS, 2000), teneurs en argile (2000) et conductivité électr. (2001) sur les trois parcelles culturales dans la KSZ de la WSG

De par la forte densité de mesures, les cartes retraçant la résistivité électrique du sol (CE) présentent, elles aussi, des structures inter-parcellaires. Lorsqu'on les compare aux cartes de rendement en ligne, on ne peut déceler aucune coïncidence des structures, ce qui a été confirmé par le biais de calculs de corrélation.

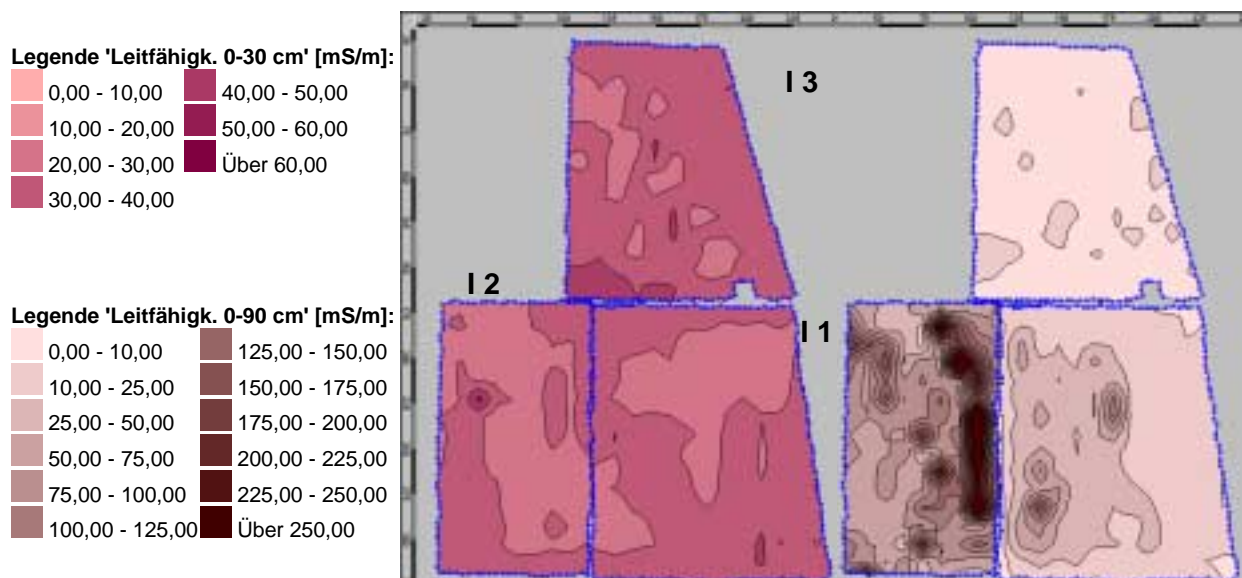


Fig.45 : Cartes de mesure de la résistivité électrique – de 0 à 30 cm et de 0 à 90 cm – dans la KSZ de la WSG de Weisweil (2001). Légendes : se reporter (provisoirement) aux cartes dans l'annexe.

La comparaison des densités de mesures en ligne et de celles de la trame maillée, en prenant l'exemple des cartes de rendement (Figures 14 et 41), indique que le nombre de prélèvements est insuffisant pour une distance entre prises d'échantillons de 39 m, bien que la précision du rendement calculé à partir des prélèvements manuels soit plus forte que celle mesurée par un capteur. Il en ressort que le support des valeurs interpolées, c'est à dire calculées dans la parcelle, est meilleur lorsqu'il est situé à proximité immédiate du point de maille.

Les modèles de répartition spatiale des cartes de données mesurées issues de relevés continus (en ligne) et de relevés selon la trame maillée ne sont pas comparables plus finement car des surfaces avec des valeurs interpolées à partir de peu de valeurs (cartes de mesures maillées) sont comparées avec des valeurs interpolées à partir de nombreuses données (cartes en ligne).

On ne retrouve que de faibles corrélations entre les rendements et les composantes du rendement ainsi qu'entre leurs niveau de concordance spatiale (voir annexe).

Pour ce qui concerne l'azote, en raison de son incidence sur la productivité, on peut attendre une relation étroite entre sa disponibilité pour les plantes et les rendements et des concordances en correspondance pour leur répartition spatiale. En comparaison avec les autres éléments nutritifs, il existe une forte corrélation entre les rendements et les teneurs en azote des plantes(cf. annexe : corrélations). Une relation moins directe existe entre le nombre d'épis par m² ou bien le nombre d'épis par plante et l'absorption d'azote dans le grain ($r=0,45$).

Les cartes de répartition dans le sol des autres éléments nutritifs en 2000 (cf. annexe) ne montrent pas de concordance avec la répartition des rendements ou des composantes de rendement (voir aussi Haneklaus et al. 1997, Rühling 1999). Pour la potasse, il existe une relation en comparaison plus significative entre les teneurs en potassium du sol et celles relevées dans les plantes avec un coefficient de détermination $r= 0,59$. La teneur en potassium du grain est lié négativement avec celle du PMG ($r = - 0,81$).

7.1.1.3 Humidité du grain à la récolte en ligne

La comparaison des valeurs d'humidité données par le capteur avec celles issues du passage à l'étuve donne les résultat suivants (voir Méthode, Chap 642, Tab 21 : l'écart entre les valeurs mesurées par le capteur et l'humidité du grain précisément mesurée atteint au maximum 2,2 % à 2,6 % pour les valeurs communiquées par le capteur dans la durée entre deux vidages de la trémie de la MB. La valeur du capteur a été plus élevée que celle de la mesure gravimétrique. Ceci est sans doute la conséquence d'effet de condensation dû aux matières humides récoltées.

Tab. 21 : Comparaison entre l'humidité du grain mesurée par gravimétrie et l'humidité évaluée en ligne par le capteur embarqué

Parcelle	Horaire	Humidité Online [%].	Humidité Déterminée par Gravimétrie. [%].	Différence Humidité Online à Humidité par Gravimétrie [%]	Moy. Humidité Online [%].	Différence Moy. Humidité Online à Humidité Gravimétr [%]
I 2	10:56:19	30,0	29,9	- 0,1	-	-
	11:05:34	29,2	28,9	- 1,2	31,3	- 2,4
	11:18:34	31,2	29,3	- 1,9	25,2	4,1
I 3	11:35:14	23,1	21,9	- 1,2	-	-
	11:45:29	23,1	22,1	- 1,0	22,8	- 0,7
	11:59:09	23,1	21,6	- 1,5	23,1	- 1,5
I 1	12:19:10	27,0	23,7	- 0,3	-	-
	12:26:40	25,1	24,7	- 0,4	27,2	- 2,5
	12:41:50	27,0	24,8	- 2,2	27,4	- 2,6
	12:53:35	26,1	24,6	- 1,5	26,2	- 1,6
	13:01:10	25,4	24,5	- 0,9	25,7	- 1,2

7.1.2 Conclusions communes sur la variabilité des caractéristiques du sol et des plantes sur les parcelles étudiées

Rendements :

1. le rendement maximal mesuré sur les points de la trame maillée à l'intérieur d'une parcelle ne réside pas toujours à la même place que le rendement maximum mesuré en ligne. Les causes possibles de ces divergences sont les points de prise d'échantillons qui ne correspondent pas localement exactement et l'interpolation qui prend en compte les valeurs mesurées de manière variable en fonction de la distance de leur localisation. Ces explications sont corroborées par l'écart de 10 à 40 m entre deux points de la maille en comparaison de la distance entre points de mesures de la récolte en ligne qui n'excède pas quelques mètres.
2. en 2000, sur les parcelles à Weisweil, les rendements en ligne sont moins élevés de 7 à 23 % que les rendements mesurés sur les points maillés. Les causes possibles pourraient être les pertes de grains à la récolte plus faibles et le rejet des valeurs plus petites que 50 q/ha et plus grandes que 150 q/ha. Il n'existe pour l'instant pas de filtre plus spécifique pour écarter les valeurs les plus aberrantes parmi les mesures trop faibles et trop fortes.

Sur les parcelles françaises, le rendement parcellaire est plus faible de 3 % (Witternheim) ou plus fort de 5 % (Ebersheim) que les rendements en ligne. Les valeurs de rendement parcellaire légèrement plus faible à Witternheim peuvent s'expliquer ainsi : la surface d'essai d'environ 5 ha est seulement une partie d'une parcelle et les valeurs de rendement mesurés en ligne lors des démarrages et des demi-tours de la MB ont été écartés lors du calcul du rendement en ligne. Il s'en suit que l'on peut considérer la cartographie des rendements en ligne comme représentative de la partie de la parcelle de Witternheim. Il reste possible que le rendement en ligne surestime quelque peu le rendement réel de la parcelle.

De manière générale, les différences entre le rendement en ligne et le rendement parcellaire mesuré peuvent s'expliquer par les différentes densités de relevés des deux approches.

Propriétés du sol et liens avec le rendement, la biomasse (plante entière) et les composantes du rendement

1. les teneurs du sol en éléments nutritifs varient en partie fortement : à Weisweil, les parcelles sont nettement mieux pourvues en potassium et en phosphore que celles situées en France. A Weisweil, les teneurs en phosphate du sol sont dans les catégories d'approvisionnement C à E et celles de potassium sont comprises entre D et E. Dans les deux régions, les sols sont si bien pourvus que les différences en teneurs en éléments disponibles pour les cultures ne peuvent vraisemblablement pas être responsables de l'hétérogénéité des rendements. Les teneurs en éléments nutritifs du sol sont pour le moins pas corrélés avec le rendement, les composantes de rendement et les teneurs dans les plantes.

La capacité au champ utilisable est la profondeur du sol ne montrent également pas de relation directe avec le rendement, bien que l'on observe une faible corrélation entre la teneur en limon et le rendement ($r = 0,51$) ou avec es composantes.

2. comme on pouvait s'y attendre, les teneurs en azote des plantes indiquent une relation positive avec le rendement ($r = 0,65$) et les composantes du rendement (PMG, grains par m²). Ceci est illustré par la bonne correspondance spatiale de la localisation des maxima et minima dans les cartes de mesures (voir annexe).

Méthodes de relevés

La détermination des rendements par prélèvements manuels ou selon le cas la prise d'échantillons de sol est faite précisément à la place d'échantillonnage correspondante (points de la trame) si bien que les caractéristiques correspondantes (rendement, teneur en argile, etc.) peuvent être mesurées avec de faibles pertes (grain) ou bien directement (analyse de granulométrie). Suite à la faible densité de relevés, la comparaison de l'échantillonnage selon la trame de points avec les résultats des procédés de mesure continue (mesure du rendement en ligne et mesure de la résistivité du sol) est impossible sans application d'une même base spatiale, c'est à dire un poids variable des valeurs mesurées en fonction de l'éloignement du point de mesure des points de la trame maillé.

7.1.3 Cartes de rendement et interprétation des images satellitaires au niveau de la région

Les interprétations comparatives des rendements déterminés à partir des images satellitaires et des mesures en ligne assistées par DGPS peuvent être consultées dans le rapport de Bach et Rühling (2001). Les figures et résultats suivants ont été tirés de ce rapport et du SIG de Weisweil.

L'extrait du SIG de Weisweil qui suit donne une vue d'ensemble de la WSG de Weisweil avec les rendements des cultures battues identifiés par DGPS pour une "humidité de stockage normalisée" (Fig. 43). Il s'agit essentiellement de rendements de maïs grains et plus rarement de céréales. Les couleurs foncées qui sont visibles sur le cliché au niveau des limites des parcelles culturales représentent des rendements généralement faibles. Ainsi, on peut

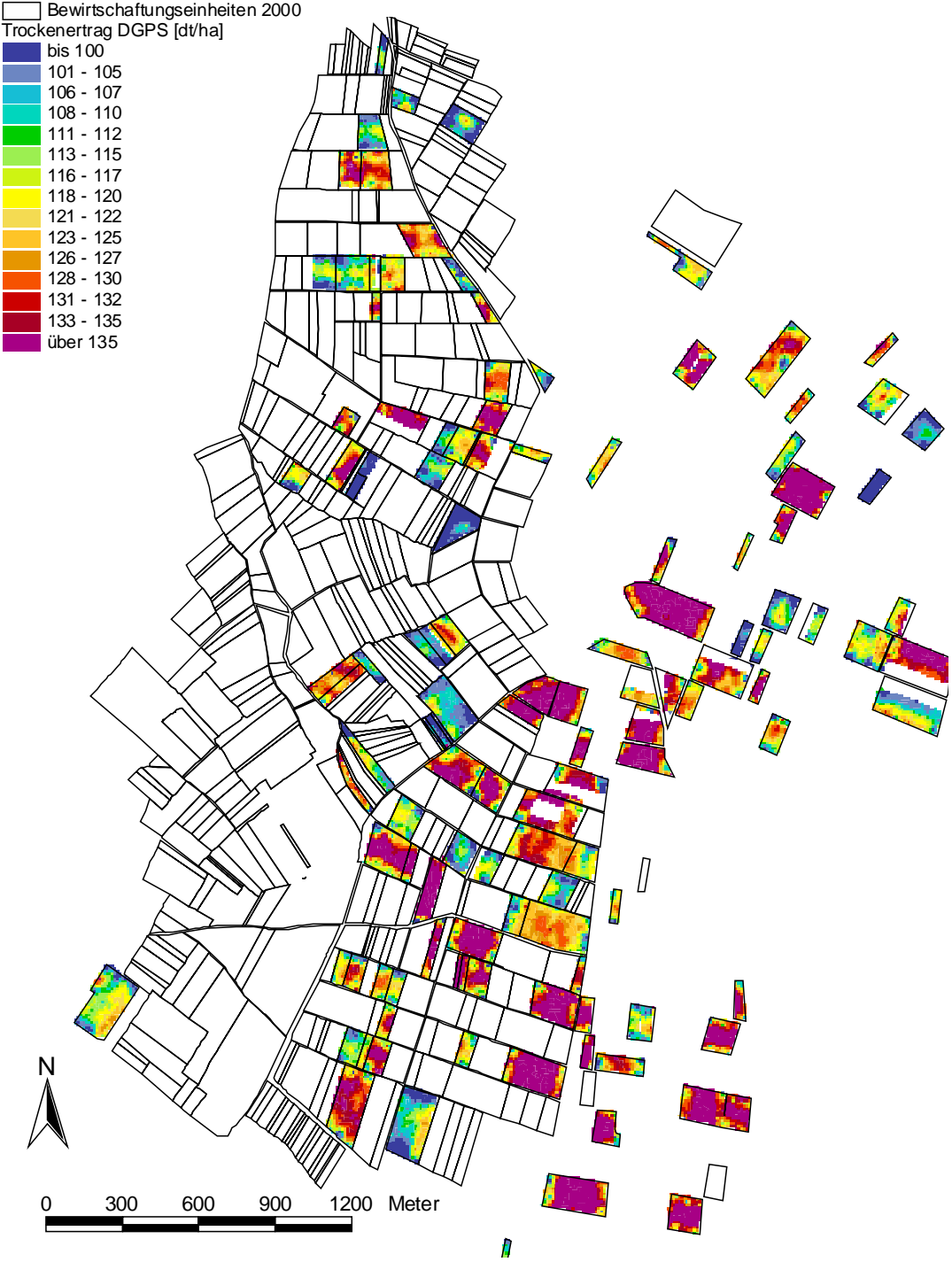
remarquer que les rendements de la partie SE de la zone sont en moyenne plus élevés que ceux enregistrés dans la KSZ, zone centrale d'assainissement, une différence qui peut être due aux contrats de culture encore en vigueur et des mesures qui en résultent.

Outre la variabilité intra-parcellaire, on note également des schémas de répartition des rendements inter-parcellaires, imputables à la situation géographique. L'interprétation AEZ du spectromètre AVIS et de l'image IKONOS, caractérisés par une définition élevée de respectivement 5 m et 4 m, a, elle aussi, permis de mettre en évidence de telles structures inter-parcellaires à partir des rendements constatés. Grâce à la télédétection et à l'utilisation des modèles de rendement correspondants, on a pu obtenir des corrélations d'excellente qualité avec les rendements relevés en ligne.

Les données individuelles des parcelles mesurées par AVIS sont comparées avec les mesures de rendement différenciées selon la position géographique (via DGPS et AEZ) dans la Fig. 44 (cf. Chap. 4.4 et 5.1 dans Bach et Rühling 2001). Les rendements sont également organisés selon une grille de 10 m ("pixellisés") de maille. Ce n'est que depuis le cliché pris en septembre avec AVIS que l'on dispose de structures clairement définies qui, logiquement, sont également identifiables sur la répartition des rendements par AEZ. Les mesures de rendement effectuées par DGPS présentent également le même schéma de répartition, que ce soit au niveau des données brutes ou des résultats d'interpolation. L'interpolation des mesures sur la maille de 10 m a permis de "lisser" quelques valeurs particulièrement élevées, de sorte que les rendements dépassants 130 q/ha ne sont plus décelables sur la carte interpolée.

Pour chaque parcelle, la comparaison par pixels des deux modes d'estimation de rendement met en évidence une corrélation élevée ($r^2=0,61$ cf. Fig. 45 ou $r^2=0,71$) entre les deux sources d'informations, recueillies selon des méthodes si différentes. Une constatation d'autant plus saisissante si l'on considère que les observations avec l'AVIS ont été effectuées 5 semaines avant la récolte et qu'elles ont permis de pronostiquer le rendement 4 semaines avant la date de récolte. Environ 40 % de la variance entre le rendement en ligne et les rendements modélisés par AEZ peuvent être élucidés par télédétection lors du calcul de toutes les parcelles culturales calculées (35).

Fig. 46 : Rendements en ligne (normalisés à 86 % de MS) dans la WSG de Weisweil en 2000 (Bach⁵ et Rühling 2001).



⁵ à partir du SIG de Weisweil de la sté Vista (2001)

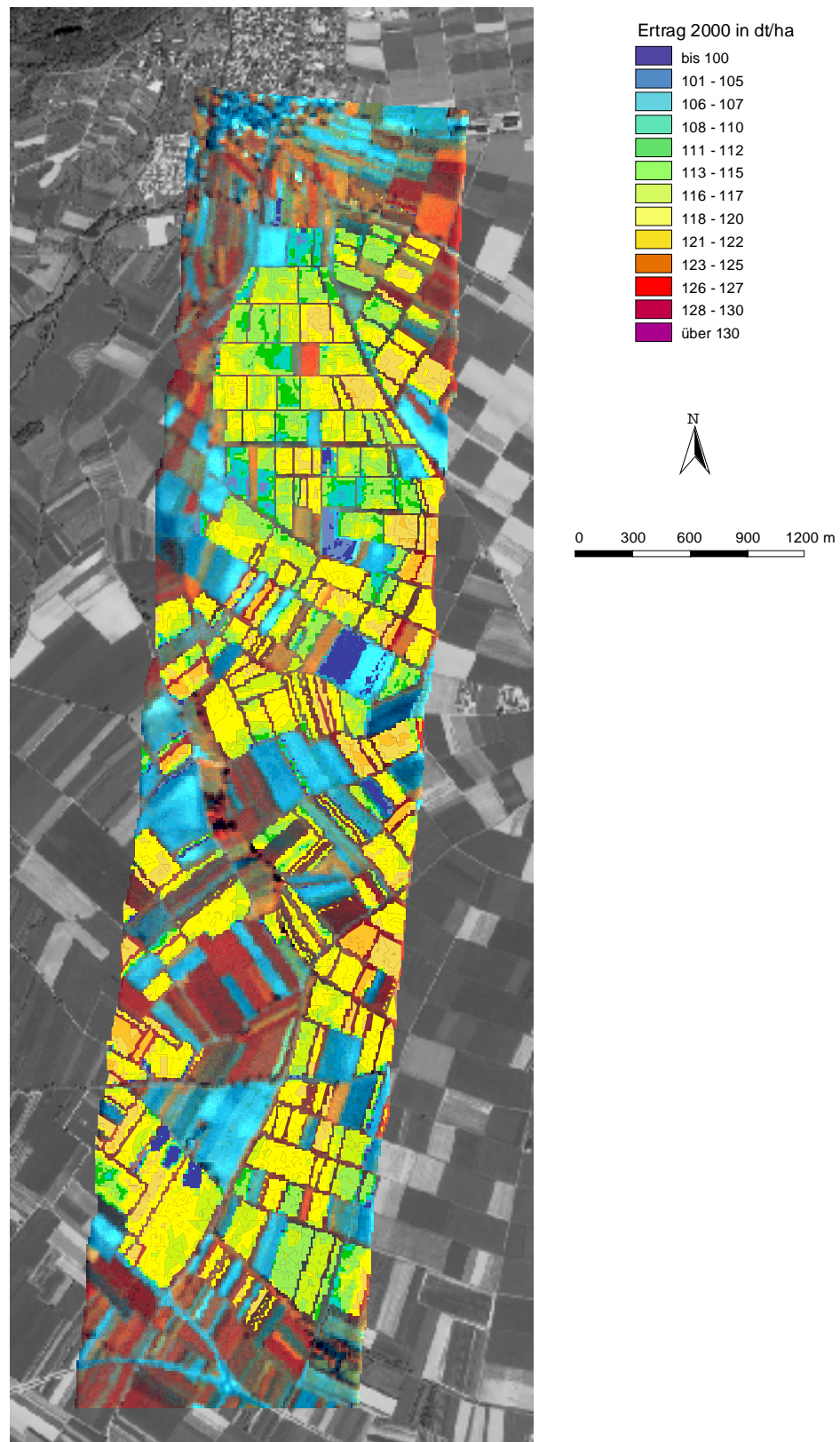
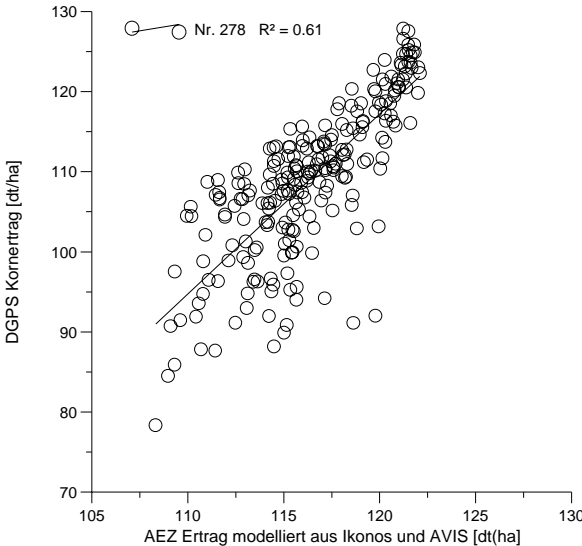


Fig. 47 : Modélisation des rendements des champs de maïs de la WSG de Weisweil réalisée à partir de la méthode AEZ , de ICONOS (12.8.2000) et des données AVIS (8.9.2000)

Fig. 48 : Comparaison des intrants et des résultats de rendement sur l'exemple d'une parcelle culturale – la récolte assistée par DGPS a été effectuée à la mi-octobre



7.2 Recours aux prestations des entrepreneurs et évaluation du système par les agriculteurs

7.2.1 Sud Bade

La mise en œuvre du système par l'entrepreneur dans la zone de Weisweil a permis jusqu'à présent de mettre en évidence les faits suivants :

Les mesures de rendement assistées par GPS représentent un outil important pour déterminer la variabilité du rendement et, sur plusieurs années, le potentiel de productivité des différents sites.

Les logiciels et le système de réalisation de cartes de rendement sont en constante évolution, ce qui se traduit par des complications diverses lors de leur mise en pratique, dont certaines n'avaient parfois pas été décelées lors de leur développement. En outre, des entretiens menés avec les sociétés proposant ces systèmes ont révélé que jusqu'à présent, le développement de logiciels (structures de bases de données, gestion des menus et transparence de l'administration des données), de matériel pour la réception GPS et leur adaptation à l'ordinateur embarqué ne constituent pas une incitation économique suffisante pour une utilisation dans des zones aux structures parcellaires de taille réduite.

Concernant l'édition des ordres et la gestion des bases de données, l'un des problèmes fondamentaux réside dans l'affectation aux parcelles cadastrales correspondantes des ordres individuels uniquement dotés d'un numéro d'ordre par exploitant : ces numéros d'ordre ne constituent pas un paramètre d'identification assez précis, car ils sont aisément modifiables et peuvent faire l'objet d'une réattribution. Pour réaliser l'intégration dans le SIG (Agromap Professional et ArcView), ainsi qu'une attribution claire et non équivoque des parcelles culturales aux parcelles cadastrales correspondantes, il s'avère nécessaire d'affecter à l'ordre les données brutes et le numéro de parcelle cadastrale (numéro de cadastre). Jusqu'à présent, les entrepreneurs n'ont pas estimé cette mesure nécessaire, qu'il s'agisse de l'identification des parcelles culturales ou de la vérification dans le logiciel de création de cartes de mesures (Agromap Basic). Lorsqu'un prestataire de service tiers se charge de l'analyse des données de rendement, il est recommandé d'affecter les numéros de parcelles cadastrales aux exploitants en tant que paramètre de localisation pouvant être reproduit.

Lors des récoltes en ligne pratiquées jusqu'à présent, certains points se sont avérés difficile à maîtriser dans la coopération avec l'entrepreneur, du côté français comme du côté allemand. Par exemple, suite à la pression exercée par le manque de temps, il n'a pas été assuré que le système de mesure du rendement (capteur) soit calibré pour les caractéristiques variables des lots récoltés ou bien que des facteurs de correction soient pris en compte. Les poids volumiques du grain peuvent fluctuer selon les heures de la journée, selon l'humidité, la variété et l'espèce. Du côté français, en raison de la collaboration difficile avec l'entrepreneur, on s'est prononcé pour une poursuite des essais aux champs avec un groupement d'agriculteurs qui ont déjà investi dans des équipements et machines pour une agriculture de précision et exploitent des surfaces adaptées.

La structure compartimentée de la zone étudiée et la répartition des parcelles cadastrales entre différents exploitants, sans parler des éventuels échanges annuels de parcelles, sont autant de facteurs compliquant considérablement la tâche aux entrepreneurs et impliquant une charge de travail supplémentaire quasiment impossible à gérer, notamment en période de récolte (en particulier celle du maïs grains). Le surcroît de travail lié à la collecte des données et à leur exploitation rien que pour la réalisation des mesures et la production de cartes de rendement, ne peut être assumé de manière satisfaisante par une seule personne.

Les exploitants ne manifestent pas d'intérêt marqué pour les cartes de rendement et la fertilisation intra-parcellaire modulée mais ils sont prêts à recourir partiellement à ces services lorsque ceux-ci n'engendrent pas de coût supplémentaire. Les cartes de rendement leur fournissent un complément d'informations dont ils ne reconnaissent pas les avantages économiques. Ils ne sont pas disposés à assumer les coûts de mesures et de cartographie du rendement, qui s'élèvent à environ 10 €/ha. Cependant, en matière de recommandations portant sur la fertilisation et les semis, basées sur la réalisation de cartes de répartition des substances nutritives et de rendement et associées à une analyse centralisée des données, certains d'entre eux se déclarent d'ores et déjà prêts à payer 15 €/ha pour les prestations de conseil et d'échantillonnage.

Eu égard aux motifs énoncés ici, on peut conclure qu'il n'existe actuellement aucun intérêt de la part de l'entrepreneur d'investir plus avant dans ces procédés. Ce dernier a réalisé jusqu'en 2000 des battages assistés par DGPS et des cartes de rendement pour le compte de clients intéressés. Suite aux expériences passées, cet entrepreneur n'effectue plus en 2001 que des mesures de rendement assistées par DGPS sur ses propres parcelles, dans le but d'élaborer des cartes de rendement pour une superficie totale d'environ 50 ha. Selon ses propres estimations, il devrait achever la collecte des données d'ici fin novembre 2001.

Etant donné que l'on n'a pas pu effectuer d'enquête représentative par le biais du questionnaire "GPS – ein Instrument zur Verbesserung der Ökonomie in kleinstrukturierten Ackerbauregionen" établi par Schreiber en 2000, les déclarations d'exploitants de la zone de Weisweil seront ci-après comparées aux informations recueillies dans la région de la Bade.

En dépit du fait que les avantages économiques ont été évalués à entre 20 € et 40 €/ha par la plupart des agriculteurs, seule la moitié d'entre eux se déclarait disposée à payer entre 10 et 20 €/ha pour mettre en pratique une modulation intra-parcellaires des interventions culturales. Plus de la moitié des agriculteurs se disait prête à dépenser entre 5 et 10 €/ha pour une fertilisation et des semis modulés à l'échelle intra-parcellaire (Schreiber 2000). Toutefois, la modulation de la fertilisation au niveau intra-parcellaire est à elle seule facturée 25 €/ha, main-d'œuvre non incluse, et la réalisation de cartes de rendements 10 €/ha (Ostheim 2000). On peut ainsi constater une divergence entre l'estimation de la rentabilité et la réelle disposition à payer, confirmée par l'analyse des déclarations des exploitants de la zone de Weisweil. De même, la décision de l'entrepreneur prise en 2000 de ne plus proposer de cartes de rendement sur la zone de Weisweil, ni de récolte assisté par DGPS, est probablement à imputer à cette situation. De meilleures informations sur les coûts et les avantages de la mise en œuvre du système, associées à une plus grande disposition à payer, pourront certainement déboucher sur des améliorations à l'avenir.

7.2.2 Alsace

Le projet prévoyait à l'origine une enquête auprès des agriculteurs au sujet du thème complexe de l'utilisation et de la faisabilité de l'agriculture de précision dans la plaine du Rhin. La réalité constaté sur le terrain a montré que seuls quelques pionniers sont équipés avec la technologie GPS et que la majorité des agriculteurs ne possèdent que très peu de connaissances sur ce sujet. Il a donc été décidé de reporter cette enquête sur 203 et au lieu de cela d'informer à l'occasion de visites et de manifestations techniques de terrain sur ce sujet (réalisé en septembre 2001 à la ferme de chez Théo PETERSCHMIDT).

7.3 Conditions nécessaires à la coopération entre agriculteurs et entrepreneurs agricoles

7.3.1 Cadre légal

Le principe suivant s'applique pour les droits de propriétés afférents aux données géocodées collectées : il s'agit de données personnelles au sens de l'article 3 paragraphe 1 de la loi fédérale et du Land sur la protection des informations « Bundes- und Landesdatenschutzgesetz » (Nödl 2000).

Cette loi repose sur le principe selon lequel les données et informations collectées sur ou au-dessus des surfaces exploitées se rapportent directement aux exploitants concernés. Elles constituent par-là même des renseignements individuels portant sur la situation matérielle d'une personne déterminée ou déterminable.

Les entrepreneurs doivent se conformer à cette loi, dans la mesure où, en tant qu'entité non publique, ils traitent ou exploitent des données à des fins commerciales, dans un but professionnel ou lucratif, et où il ne s'agit pas de dossiers internes de procédure dans le sens de l'article 1 paragraphe 3 alinéa 3 de la « Bundesdatenschutzgesetz ».

Ce traitement des données personnelles et leur utilisation ne sont autorisés que si la loi les tolère (ce qui ne s'applique pas ici)

ou lorsque la personne concernée a donné son accord.

En tant que personne concernée, l'agriculteur dispose en outre d'un droit d'accès aux données enregistrées sur son compte. Sous certaines conditions, il peut en exiger la rectification, la suspension ou la suppression.

L'article 28 paragraphe 1 alinéa 1 de la « Bundesdatenschutzgesetz » autorise l'entrepreneur à enregistrer, modifier, communiquer et exploiter des données à des fins commerciales personnelles dans le cadre de l'objectif du contrat conclu avec l'agriculteur.

Ceci est par exemple significatif dans le cas de contrats subséquents, pour lesquels il est nécessaire de se référer à des données collectées précédemment pour estimer la valeur du sol.

7.3.2 Dispositions contractuelles

Dans la mesure où des personnes extérieures à l'entreprise saisissent ou exploitent des données géocodées, il est nécessaire de définir une réglementation contractuelle concernant la manipulation de ces données. Les contrats d'entrepreneurs indépendants doivent être complétés en conséquence :

1. Clarification des fins auxquelles les données peuvent et doivent être utilisées ;
2. Exclusion du traitement des données déjà autorisé par l'article 28 paragraphe 1 alinéa 1 de la Bundesdatenschutzgesetz dans le cadre d'une utilisation par l'entrepreneur à des fins commerciales personnelles ;
3. Définition de l'objectif du contrat conclu entre l'agriculteur et l'entrepreneur et description précise dans le contrat d'entrepreneur ; le cas échéant, le contrat devrait autoriser explicitement l'entrepreneur à utiliser les données en référence à cet objectif ;
4. Clarification du traitement des données pouvant dépasser ce cadre. Rédaction du contrat accessible pour toute personne non avertie et renvoi au consentement relatif à toute nouvelle transformation des données ;
5. Réglementation des conditions précises selon lesquelles l'agriculteur peut exiger de l'entrepreneur une rectification, une suspension ou une suppression des données selon les paragraphes 20 et 35 de la Bundesdatenschutzgesetz (loi Fédérale) et les paragraphes 18 à 20 de la Landesdatenschutzgesetz (loi du Land).

Les entrepreneurs exercent une activité commerciale. De fait, la coopération (lien contractuel) avec les agriculteurs est également considérée comme commerciale sur le plan fiscal.

7.4 Expériences pratiques issues d'autres projets

La presse agricole spécialisée rapporte des expériences de différentes applications issues d'autres projets de techniques de l'agriculture de précision ou selon le cas d'étapes préalables à cela. Les principales conclusions extraites de cinq expériences sont présentées ci-dessous.

Exemple 1 :

Ettleben bei Schweinfurt (Bavière) : (14 agriculteurs, 625 ha et 556 parcelles cadastrales) Remembrement agricole virtuel avec 11 agriculteurs et échange volontaire de parcelles sur 313 ha, sur une période inférieure à un an (1999/2000). Augmentation de la superficie moyenne des parcelles de 1,68 à 6,1 ha. Economies d'au minimum 25 €/ha et jusqu'à 100 €/ha par an. Coûts de 25 €/ha, sans la construction des chemins de circulation. Diminution de nombreux problèmes touchant à la fréquence de circulation dans les villages, à la pollution olfactive par le lisier et à la protection des eaux. Système SIG mis en œuvre : "MultiPlant GEO". (BLW 9 du 03.03.2001; dlz 4/2001).

Exemple 2 :

Riedhausen, Landkreis de Ravensburg (BW) : 15 exploitations en activité principale, 12 en activité secondaire, 315 ha de surface cultivée, 0,63 ha/parcelle. Exploitation inter-parcellaire assistée par GPS au delà du découpage cadastral. Jusqu'à présent, 14 km de limites dans un lot de 22 ha qui comporte 40 parcelles, ce qui signifie environ 7 ha de sous exploités. La suppression des bordures des parcelles s'est à elle seule traduite par une augmentation de 10 % du rendement, avec une économie de coûts dépassant 30 %. On a, en outre, pu passer d'une force de traction des équipements de 10 à 1,5 ch/ha. Leur valeur neuve n'est plus que d'environ 1000 €/ha, contre 3500 €/ha auparavant. Les coûts fixes des équipements ont baissé en conséquence de 300 €/ha à 150 €/ha. De même, le temps de travail requis, auparavant de 12,5 h/ha, a pu être ramené à 5,5 main-d'œuvre/ha (BLW 30 du 28.07.2001).

Exemple 3 :

Nürnberger Land, exploitation par lots : parcelles de 0,2 ha : 4 agriculteurs sur 7 au total participent, surface de lot de 13,4 ha, coût de la main d'œuvre < 6 /h/ha, coûts des équipements 383 €/ha d'après les tarifs du cercle de machinisme (Machinenring). Avantages : rendement plus élevé, meilleure commercialisation (BLW 30 du 28.07.2001).

Exemple 4 :

Nord-ouest de l'Oise : Exploitation commune des parcelles sur 1300 ha avec une spécialisation des agriculteurs et un travail du sol sans labour. Pointes de travail plus élevées mais charge répartie sur toute l'année. Salaire horaire de 70 FF (10,67 €), indépendamment du type d'activité. Aucune mise en œuvre du GPS jusqu'à présent. Economies entre 500 et 1500 FF/ha (76 – 229 €/ha), selon la situation de départ. (La France Agricole 27.4.2001)

Exemple 5 : modulation de la densité de semis et de la fertilisation

Article de Philippe Pavard dans La France Agricole N° 2884 v. 27.04.2001 en annexe A 5

8 Bilan et perspectives

Dans le cadre du présent projet, on a étudié les possibilités d'une exploitation adaptée à l'hétérogénéité de parcelles culturales au sein de zones constituées de parcelles morcelées, ainsi que l'utilisation des intrants adaptés à ces conditions d'exploitation. Dans la zone étudiée de Weisweil, l'accent a principalement été mis sur les instruments de diagnostic, tels que les moissonneuses-batteuses équipées de GPS, de capteurs de rendement et d'un ordinateur embarqué ou les appareils d'échantillonnage du sol dotés d'un système de repérage par satellite. L'évaluation en termes économiques suppose que l'on dispose de données d'exploitation et, pour quantifier les coûts et l'efficacité, de la palette complète des instruments requis pour une exploitation intra-parcellaire, tels que l'application intra-parcellaire modulée des intrants (fertilisation modulée, etc.) Pour que les analyses de modèles réalisées dans le cadre de scénarios de coûts soient adaptées à la zone considérée et concrètement appliquées aux exploitations, les exploitants doivent fournir les informations souhaitées en conséquence.

Il est nécessaire de réaliser des cartes de rendement sur plusieurs années de référence pour étudier l'hétérogénéité intra-parcellaire des sites ou des rendements potentiels. Du fait des raisons énoncées plus haut, la précision des besoins en intrants adaptés au site requiert une phase supplémentaire. Ces analyses peuvent être menées sur les parcelles culturales pour lesquelles on dispose déjà de cartes de rendement sur trois ans ou sur d'autres unités d'exploitation de la zone étudiée de Weisweil. La première possibilité présente l'avantage de travailler en disposant de données plus précises sur les potentiels des sites et des rendements.

Les informations concernant les incidences d'une future « application modulée d'intrant » pourraient être réunies parallèlement au développement de modèles de rendement basés sur l'exploitation d'images satellitaires. Ces dernières ont déjà été utilisées avec succès depuis 1997, comme instrument de diagnostic pour évaluer l'hétérogénéité du rendement intra-parcellaire de la WSG de Weisweil (Bach et Braun 1999, Bach et Rühling 2000).

En outre, les enquêtes - autant que possible représentatives - menées auprès des entrepreneurs et des agriculteurs en vue d'apprécier la rentabilité de l'agriculture de précision sont une initiative judicieuse ; comme par exemple les questionnaires portant sur l'analyse des avantages du GPS, établis par l'université d'Hohenheim, "GPS - Ein Instrument zur Verbesserung der Ökonomie in kleinstrukturierten Ackerbauregionen ?"(qui ont déjà été utilisés de manière isolée).

Dans le cadre de ce projet, les moyens et la période d'étude se sont avérés insuffisants pour couvrir tous les champs d'action à prendre en compte pour une exploitation optimale par le biais de l'agriculture de précision. Il serait nécessaire de réfléchir à l'avenir sur la manière d'aborder les étapes essentielles du processus de l'agriculture de précision, telles que la gestion du traitement des données et la prise de décision concernant les facteurs de production à utiliser à l'échelon intra-parcellaire (pour une seule ou plusieurs exploitations). D'autre part, l'analyse de la rentabilité de l'agriculture de précision implique de rassembler des données d'exploitation adaptées. Cette collecte d'information devrait être effectuée dans les exploitations recourant elles-mêmes à certains instruments d'agriculture de précision, ou utilisant déjà de manière effective, seules ou en collaboration avec d'autres exploitations, des machines équipées de DGPS et de capteurs, et ayant recours à des prestations de service pour l'analyse de leurs données. Les cartes de marges brutes des parcelles peuvent être établies en s'appuyant sur les données d'exploitation et les fichiers parcellaires (Dabbert et Kilian 2000). On a déjà reconnu la nécessité de telles analyses et applications plus approfondies.

En Alsace :

– Caractérisation et interprétation de la variabilité intraparcellaire :

Les données présentées dans le rapport reprennent les variables enregistrées sur les parcelles de Witternheim et d'Ebersheim en 2000, soit la première année de référencement.

Ces mesures ont été poursuivies en 2001 et 2002. Le tableau ci dessous reprend l'ensemble des observations effectuées :

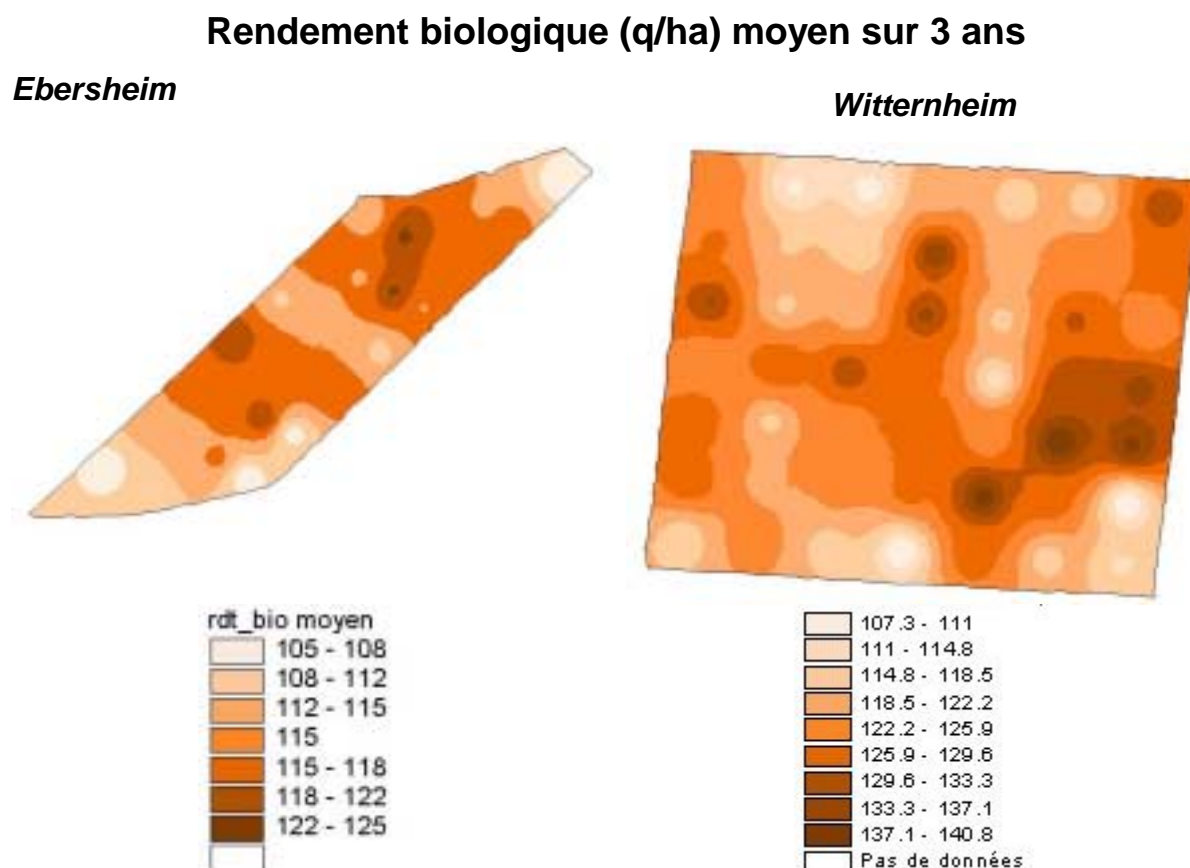
Tab. 22 : Aperçu des observations et mesures faites en Alsace

		Ebersheim	Witternheim
Année 2001	Culture	<i>Blé tendre</i>	<i>Maïs grain</i>
	Mesures	Nutrition azotée : Reliquats azotés HNT (2 stades) Fluorimétrie INN floraison	Nutrition azotée : HNT INN floraison picqhélios
		Composantes rendement	Composantes rendement
		Rendement machine	Rendement machine
Année 2002	Culture	<i>Maïs grain</i>	<i>Maïs grain</i>
	Mesures	Nutrition azotée : HNT INN floraison	Nutrition azotée : HNT INN floraison
		Composantes rendement	Composantes rendement
		Rendement machine	Rendement machine
Données pérennes		Résistivité du sol Cartographie du sol Cartographie de la réserve utile	Résistivité du sol Cartographie du sol Cartographie de la réserve utile

Les données enregistrées en 2000 n'ont pas permis d'identifier clairement un ou plusieurs facteurs explicatifs de la variabilité du rendement.

Après 3 années de référencement sur les 2 parcelles, on peut tout de même observer des zones plus ou moins productives (tableau 2 : rendement biologique moyen sur 3 ans, Ebersheim et Witternheim). En effet, le rendement moyen à Ebersheim est de 115 q/ha avec des valeurs allant de 105 à 125 q/ha soit une variabilité de 20 q/ha. Pour la parcelle de Witternheim, qui se caractérise par une variabilité a priori plus forte, le rendement moyen sur 3 ans est de 124 q/ha avec des valeurs variant de 107 à 140 q/ha soit une variabilité de 33 q/ha.

Fig. 49 : Rendement biologique moyen sur 3 ans (2000-2002) en Alsace



L'interprétation par des logiciels géostatistiques de l'ensemble des données accumulées sur 3 ans (données annuelles et pérennes) doit permettre de valider ces données et d'expliquer cette variabilité intraparcellaire du rendement.

Cette étape servira alors de base à la mise en œuvre de techniques de modulation intraparcellaire à partir de 2003.

9 Conclusion

Le point de départ de ce projet était l'analyse et l'interprétation de la variabilité intraparcellaire des parcelles culturales dans la Plaine du Rhin). Cette étude préalable devait permettre d'étudier ensuite la faisabilité de la mise en œuvre de méthodes d'agriculture de précision. En font partie : l'échantillonnage matriciel de paramètres du sol et des cultures, les méthodes en lignes, telles que la mesure de la résistivité électrique du sol et la mesure de rendement en continu par moissonneuse-batteuse équipée d'un système GPS.

Du côté allemand, les échantillonnages selon un maillage orienté et les méthodes de mesure en continu ont été appliqués sur 3 parcelles culturales sélectionnées, pour lesquelles on disposait déjà de cartes de mesures de rendement effectuées sur deux ans (niveau local). Ces mesures et cartes de rendement en ligne ont par contre été appliquées à l'ensemble de la zone étudiée (niveau de la Zone).

Ce projet initié par l'ITADA a été mené parallèlement à un concept d'assainissement de la zone de protection des eaux (WSG) de Weisweil, mis en œuvre dans une zone centrale d'assainissement (KSZ) de la WSG – et dépassant en obligations les directives d'exploitations de la loi SchALVO, ainsi qu'à un projet du MLR "Erprobung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zur Reduzierung/Optimierung des Düngaufwandes in Wasserschutzgebieten für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und eine optimale Standortnutzung mit Einsatz der DGPS-Technik und Fernerkundung" (voir également Bach et Rühling 2000).

Les cartes de rendement en ligne du maïs grains, réalisées en continu sur plusieurs années de référence (pour la première fois) et pour 3 parcelles représentant une superficie totale d'environ 4 ha, ont permis de mettre en évidence des modèles de rendement répétés, de même que des indications sur le rendement potentiel des sites concernés.

Les méthodes utilisées pour analyser la variabilité des parcelles, à savoir les mesures en continu et les mesures orientées, traduisent plus ou moins efficacement la variabilité intra-parcellaire et l'hétérogénéité des sites. Même effectué avec moins de 6 prélèvements par ha, l'échantillonnage orienté constitue aujourd'hui encore une méthode onéreuse pour déterminer les teneurs en éléments nutritifs (et leur variabilité) des sols de ces parcelles qui avaient autrefois été évaluées comme homogènes, dans le but d'en tirer ensuite des informations exploitables sur la variabilité du potentiel du site. On peut retenir de l'interprétation des échantillonnages orientés du sol que des densités de prélèvement inférieures à 4 échantillons par ha permettent de calculer des "paramètres homogènes" tels que la granulométrie, les teneurs en substances organiques et les valeurs de pH (état calcique). Concernant les teneurs en substances nutritives, les mêmes densités de prélèvement (ou des densités plus élevées) sont recommandées afin de pouvoir évaluer correctement l'état d'approvisionnement et sa variabilité sur ces sites constitués de loess limoneux (lehm loessiques).

L'évaluation de la résistivité électrique (CE) est une méthode rapide, pour laquelle on utilise un appareil tiré sur le sol. La CE du sol est reliée à la teneur en argile et à la réserve en eau du sol, ainsi qu'à la profondeur et à la teneur saline de la solution du sol. La CE ne permet pas forcément, à elle seule, de déterminer les zones de compaction du sol.

Afin d'éclaircir les causes de la variabilité intra-parcellaire de la productivité sur plusieurs années, des informations spécifiques sont nécessaires sur les caractéristiques du sol et les développements de la végétation ainsi que des données sur les rendements.

Les informations intra-parcellaires sur l'état des sols, les renseignements sur l'évolution générale ainsi que les données de rendement sont, comme avant, toujours nécessaires si l'on veut interpréter la variabilité du rendement sur différentes années. Au regard de l'échantillonnage conventionnel effectué par des prises individuelles sur le sol et les végétaux, les méthodes faisant intervenir des densités de prélèvement élevées, telles que les méthodes de mesure continue, présentent l'intérêt de limiter la perte d'informations. Grâce à

l'échantillonnage sur un point déterminé et à la précision des analyses en laboratoire, la première méthodes de prélèvement sur des points précis bénéficie d'une qualité informative élevée. Afin de produire des informations sur l'ensemble d'une zone par le biais de mesures effectuées sur des points donnés, il est nécessaire de recourir à l'interpolation géostatistique; ce procédé permettant notamment de livrer des informations pour les surfaces situées entre les points d'échantillonnage de parcelles petites et plutôt homogènes, comme par exemple celles de la zone centrale d'assainissement (KSZ).

Le logiciel utilisé dans cette étude propose une version simplifiée de cette méthode.

Il faut donc considérer dans quelle mesure il est préférable de recourir à des procédés impliquant des densités de prélèvement élevées, qui permettent entre autres de travailler plus vite et à moindre coût, mais sont susceptibles de compliquer l'interprétation des valeurs mesurées.

10 Bibliographie

Allemanne :

AG Boden (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Nachdr., Hannover.

Agrocom (2000): Agromap Auftrag, Agromap Basic, Agromap Professional. Software der Fa. Agrocom, Bielefeld.

Anonymus (2000): Gemeinsam und doch getrennt. Erfahrungen in der virtuellen Flurbereinigung in Oberschwaben. Wochenblatt-Magazin 3: 12-13.

Anonymus (2001a): Freiwilliger Flächentausch unter Bewirtschaftern. Dlz 4: 140-143.

Anonymus (2001b): Sanierungsprojekt Weisweil, Regierungspräsidium Freiburg, Schriftliche Mitteilung von Herrn Zähringer, ALLB Emmendingen.

Auernhammer, H. (2001): Forderungen stellen. Agrarmarkt Diskussionsrunde. Agrarmarkt 5: 26-31.

Auernhammer, H. und Mayer, M. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Praxiserprobung des Managements von precision agriculture. Micro-precision-farming. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 37-43.

Bach, H. und Braun, M. (1999): Ermittlung des Ernteertrages mit Fernerkundungsdaten. Studie Vista, München (Hrsg.) 1-61.

Bach, H. und Rühling, I. (2001): Erprobung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zur Reduzierung/Optimierung des Düngeaufwandes in Wasserschutzgebieten für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und eine optimale Standortnutzung mit Einsatz der DGPS-Technik und Fernerkundung. Bericht zum Pilotprojekt i.A. des Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden Württemberg, Vista Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hrsg.): 79 S.

Ball, T. (2001): Unterlagen, Designer und Powerpoint-Präsentation zum Sanierungskonzept Weisweil. Digitale Mitteilung, TZW Karlsruhe.

Behnken, C., Bill, R., Grenzdörffer, G., Lamp, J., Reiche, E.-W., Schmidhalter, U., Schmidt, F., Selige, T., Sperl, C., Brozio, S., Gebbers, R., Herbst, R., Kersebaum, C., Lorenz, K., Wenkel, K.-O. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Standort- und Bestandesanalyse für das Management von precision agriculture. Ermittlung und Analyse der Zustände der Geofaktoren. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 45-74.

Bobert, J., Dölling, S., Pauly, J., Schmidhalter, U., Selige, T., Werner, A. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Standort- und Bestandesanalyse für das Management von precision agriculture. Ermittlung der teilspezifischen Ertragspotentiale und Ertragserwartungen. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro):75-88.

Brozio, S., Gebbers, R., Leithold, P., Wenkel, K.-O. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Management der Informationsverarbeitung in precision agriculture. Düngung. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro):135-154.

Claas (2000): Mündliche Mitteilung der Fa. Claas.

Dabbert, S. und Kilian, B. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Wirkungsanalyse zu precision agriculture. Ökonomische Wirkungen. KTBL-

- Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 195-206.
- Dabbert, S. und Kilian, B. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Wirkungsanalyse zu precision agriculture. Ökonomische Wirkungen. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 195-206.
- Dammer, K.-H. und Ehlert, D. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Management der Informationsverarbeitung in precision agriculture. Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 155-164.
- Deller, B., Pfeleiderer, H., Zeller, M., Würfel, T. (1999): Grunddüngung im Ackerbau. Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 4, 2.Aufl. Landesanstalt für Pflanzenbau, Rheinstetten (Hrsg.).
- Dohmen, B., Grenzdörfer, G., Irrgang, A., Muhr, T., Noack, P., Reh, A., Schmidhalter, U., Selige, T., Wagner, U. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Standort- und Bestandesanalyse für das Management von precision agriculture. Ermittlung und Analyse der Zustände der Pflanzenbestände. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 89-114.
- Domsch, H. und Wartenberg, G. (2000): Teilflächenspezifische Bewirtschaftung mit GPS, Teil 3. Getreide 6 (2): 136-141.
- Domsch, H., Lück und Eisenreich (1999): Ermittlung geophysikalischer Kennwerte für die großmaßstäbige Kennzeichnung landwirtschaftlicher Flächen. Jahresbericht des ATB Potsdam-Bornim: S.16.
- Ehlert, D. und Domsch, H. (2001): Korrelationen zwischen Boden- und Pflanzenparametern. Landtechnik 3: 134-135.
- Friedl, L. (2001): Schöne, große Schläge. BLW 9: 66-68.
- GLA (1990): Bodenkarte von Baden-Württemberg 1:25000, Blatt 7812, Kenzingen. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg 1991 (Hrsg.).
- Haneklaus, S., Rühling, I., Schroeder, D., E. Schnug (1997): Studies on the variability of soil and crop fertility parameters and yields in different landscapes of Northern Germany. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision agriculture '97, Technology, IT and Management. BIOS scientific publishers, Oxford. II: 785-792.
- Infothek (2001): Landwirtschaftliche Betriebe und ihre Flächen nach Betriebsgrößenklassen im Dienstbezirk des Amts für Landwirtschaft Emmendingen. Stat. Landesamt, Stuttgart, Bearbeitung: LEL Abt. 3, Schwäbisch Gmünd, Infothek für die Landwirtschaftliche Beratung Baden-Württemberg, 1998.
- Kerkenpaß, A. (2001): [/www.kerkenpass.de](http://www.kerkenpass.de). Geprüfter, unabhängiger Probennehmer, Zertifizierter GPS-Anwender, Heckenweg 1, 46499 Hamminkeln.
- Lenge, R. (2000): „Flurbereinigung“ per Satellit in Oberschwaben. Top Agrar 11: 74-75.
- Michels, K. (2001): LUFA-Methoden Nährstoffanalytik, Pflanzen. Mündliche Mitteilung, LUFA Augustenberg.
- Nödl, (2000): Datenurheberrechte in der Präzisionslandwirtschaft, schriftliche Mitteilung des Justitiar Nödl vom 9.5.00, AZ Nö/km. BLHV, Freiburg.
- Ostheim, K.-U. (2000): Prüfung der ökonomischen und ökologischen Vorzüglichkeit einer GPS-gestützten teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung, Münster Hiltrup Landwirtschaftsverlag.

- Riester, R., Hofman, T., Weiler, T., Janorschke, B., Bäger, Ch. (2000): Agrarmärkte 2000, LEL (Hrsg.); 150 S.
- Rohmann, U. und Rödelsperger, M. (1994): Maßnahmenkombination und Varianten zur Sanierung des nitratbelasteten Trinkwassers der Gemeinde Weisweil. Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe: 39 S.
- Rolf (2000): GPS, das moderne Navigationssystem in der Landtechnik. Vortrag anlässlich der Tage der offenen Tür in der Gewerbeschule Breisach. Fa. Agrocom, Bielefeld.
- Rühling, I. (1999): Räumlich-zeitliche Variabilität von physikochemischen Bodeneigenschaften und Pflanzenmerkmalen in einer norddeutschen Landschaft. Dissertation, TU Braunschweig.;FAL (Hrsg.): Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 205: 183.
- Rühling, I., Haneklaus, S., Schnug, E. (1997): Geostatistical investigations on soil and crop fertility parameters in northern Germany. Proceedings of the 11th World Fertilizer Congress of CIEC; 7-13 Sept. 1997, Gent, Belgium. S.178-188.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.-H., Schwertmann, U. (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schmerler, J. und Großkopf, M. (1999): Weniger Betriebsmittel und höhere Erträge, DLZ Sonderheft 10, 92-95.
- Schmidhalter, U. und Zintel, A. (1999): Schätzung der räumlichen Variation des Ton- und Wassergehaltes mit elektromagnetischer Induktion. Mitteilungen der DBG, S. 871-874.
- Schreiber, A. (2000): Globales Positionierungs-System (GPS) - Ein Instrument zur Verbesserung der Ökonomie in kleinstrukturierten Ackerbauregionen? Diplomarbeit, Uni Hohenheim, Inst. f. landw. Betriebslehre, 98 S.
- Schuler, B. (1991): Bodenkarte von Baden Württemberg 1:25000, Blatt 7812 Kenzingen. Geologisches Landesamt Baden Württemberg (Hrsg.).
- Sommer, C. und Voßhenrich, H. (2000): Bodenbearbeitung. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 129-134.
- Stöcklin, K. (1998): Funktionierendes Modell. Gespräch des Vorsitzenden des Arbeitskreises Wasserschutz mit Rene Brossert, BBZ 22, S.5.
- Süss, H. (1999): Virtuelle Flurbereinigung in Riedhausen bereits Realität. BLW 38: 38-39.
- Vermeulen, F.H. (1960): Fehlerquellen bei der Bodenuntersuchung. Landwirtsch. Forsch., Sonderheft 14: 80-8.
- Wagner, F. und Degen, B. (1998): Beratungsgrundlagen zur ordnungsgemäßen Düngung im Gartenbau. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Heidelberg (Hrsg.).
- Wagner, P. (1999): Besseres Management, DLZ Sonderheft10, 96-98.
- Werner, A., Jarfe, A., Kloepfer, F., Kottenrodt, D. (2000): Forschungskonzept von pre agro. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 15-30.
- Zeddies, J. (1998): Klassische finanzmathematische Methoden, Inst. für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Univ. Hohenheim, S.5.

France :

- BOISGONTIER D., DEBROIZE D., 1996. – Agriculture de précision 10 questions / réponses pour bien comprendre. Perspectives Agricoles, 216, 14-19.
- BOISGONTIER D., 1997. – L'agriculture de précision en Europe : une maîtrise plus ou moins grande selon les pays. Perspectives Agricoles, 225, 18-24.
- CHATAIN C, DUMOULIN F., HIS M., FRANCO I., 1997. – Agriculture de précision, une mode, l'avenir ou déjà la réalité. Note technique de la Chambre d'Agriculture de l'Oise, 10 pages.
- BOISGONTIER D., LECLERC H., LAURENT F., LE BARS J.M., ZWANENPOEL P., 1998. – Using field and crop characteristics for site specific nitrogen management on a winter wheat crop. 4^{ème} conférence internationale sur l'agriculture de précision, Saint Paul (Minnesota).
- BOISGONTIER D., ARIAUX B., 1998. – Agriculture de Précision : que faire aujourd'hui et avec quels moyens. Perspectives Agricoles, 235, 14-20.
- BOISGONTIER D., ARIAUX B., 1998. – Agriculture de précision : comment la pratiquer aujourd'hui. Perspectives Agricoles, 236, 28-32.
- BOISGONTIER D., 1999. – Agriculture de précision : de nouvelles avancées. Perspectives Agricoles, 246
- BOISGONTIER D., 1999. – Agriculture de précision : mieux protéger l'environnement. perspectives Agricoles, 247, 30-32.
- NICOLETTI J.P., COCHELIN D., MOREAU F., 1999. – Cinq ans d'agriculture de précision aux Etats-Unis, quels enseignements pour la France. Perspectives Agricoles, 245, 8-13.
- ARIAUX B., 2000. – Les SIG utilisés en agriculture de précision. Actes du colloque UMR CEMAGREF-E
- BOISGONTIER D., 2000. – La mise en œuvre de l'agriculture de précision. Actes du colloque UMR CEMAGREF-ENESAD, 365-374.
- DABAS M., BOISGONTIER D., TABBAGH J., BRISARD A., 2000. – Use of a new sub-metric multi-depth soil imaging system (MuCEp c). 5^{ème} conférence internationale sur l'agriculture de précision, Bloomington (Minnesota).
- Actes du colloque UMR CEMAGREF-ENESAD. Agriculture de précision : avancées de la recherche technologique et industrielle. Dijon 29-30 mai 2000.
- Agriculture de précision, cap sur le XXI^E siècle. 1997. Editions ITCF. Tiré à part de Perspectives Agricoles, 222, 48 pages.
- Troisième conférence internationale sur l'agriculture de précision, Mineapolis, 23-26 juin 1996. Publication American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1200 pages.
- D. BOISGONTIER – 2001 – Agriculture de précision : les matériels et les nouvelles solutions disponibles. Perspectives Agricoles n° 271 (pages 32 à 47).
- C. DEPLANQUE, D. BOISGONTIER, X. MEROUR – 2001 – Les cartes de rendement : quelles utilisations, comment les interpréter ? Perspectives Agricoles n° 273 (pages 52 à 54).
- Premier colloque européen sur l'agriculture de précision, Université de Warwick, 8–10 septembre 1997. Publication BIOS Scientific Publishers, 997 pages.
- Quatrième conférence internationale sur l'agriculture de précision, Saint Paul (Minnesota), 19-22 juillet 1998. Conférence Abstracts, 216 pages.
- Agriculture de précision : l'enjeu français. 1999. Dossier réalisé par l'ITCF, l'INRA et le CEMAGREF à l'occasion d'une conférence débat au Salon International du Machinisme Agricole.
- Agriculture de précision : avancées de la recherche technologique et industrielle, Dijon, 29-30 mai 2000. Actes du colloque UMR CEMAGREF-ENESAD, Educagri éditions, 432 pages.
- Cinquième conférence internationale sur l'agriculture de précision, Bloomington (Minnesota), 16-19 juillet 2000. Conférence abstract, 244 pages.

11 Annexes

A 1	Publications, cahiers et posters dans le cadre du projet (D)	90
A 2	Réunions et communication relatives au projet (D)	91
A 3	Cartes de mesures sur les parcelles quadrillées à Weisweil	94
K 1:	Sols : conductivité électrique sur 0-30 cm, 10.03.01	94
K 2:	Sols : conductivité sur 30-90 cm, 10.03.01	94
K 3:	Sols: Humus [%]	95
K 4:	Sols : valeurs de pH	95
K 5:	Sols : valeur totale N [%]	95
K 6:	Sols : P ₂ O ₅ [mg/100g]	96
K 7:	Sols : K ₂ O [mg/100g]	96
K 8:	Sols : Mg [mg/100g]	97
K 9:	Sols : argile [%]	98
K 10:	Sols : limon [%]	98
K 11 :	Sols : sable [%]	100
K 12:	teneurs N _{min} du sol 0-30 cm [kg N/ha], 05.06.01	99
K 13:	teneurs N _{min} du sol 30-60 cm [kg N/ha], 05.06.01	99
K 14:	teneurs N _{min} du sol 60-90 cm [kg N/ha], 05.06.01	100
K 15:	teneurs N _{min} -Gehalt du sol 0-90 cm [kg N/ha], 05.06.01	100
K 16:	Eau du sol sur 0-30 cm [%], 05.06.01	101
K 17:	Eau du sol sur 30-60 cm [%], 05.06.01	101
K 18:	Eau du sol sur 60-90 cm [%], 05.06.01	102
K 19:	Matière sèche du reste des plantes [%]	103
K 20:	Matière sèche du reste des plantes [dt/ha]	103
K 21:	Plantes par hectare	104
K 22:	Grains/épi	104
K 23:	Matière sèche du grain [%]	105
K 24:	Nombre d'épis [épis/m ²]	105
K 25:	Epis/10 Plantes	106
K 26:	Grains/m ²	106
K 27:	Rendement grains [q/ha]	107
K 28:	Rapport grain/paille	108
K 29:	Poids de mille grains PMG [g]	108
K 30:	Teneur N du grain [%]	108
K 31:	Teneur P du grain [%]	109
K 32:	Teneur K du grain [%]	109
K 33:	Teneur Mg du grain [%]	110
K 34:	Teneur N des plantes [%]	110
K 35:	Teneur P des plantes [%]	111
K 36:	Teneur K des plantes [%]	111
K 37:	Teneur Mg des plantes [%]	112
K 38:	Absorption en N [kg/ha]	112
K 39:	Absorption en P [kg/ha]	113
K 40:	Absorption en K [kg/ha]	113
K 41:	Absorption en Mg [kg/ha]	114
A 4:	Tableau de données	115
A 5 :	Article de la France Agricole	125
A 6 :	Bibliographie sur l'agri. de précision et l'exploitation de données géocodées	126

A 1 Publications, documents et posters dans le cadre du projet (D)

• Publications :

Bach, H. und Rühling, I. (2001): Erprobung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zur Reduzierung/Optimierung des Düngaufwandes in Wasserschutzgebieten für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und eine optimale Standortnutzung mit Einsatz der DGPS-Technik und Fernerkundung. Bericht zum Pilotprojekt i. A. des Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden Württemberg, Vista Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hrsg.): 79 S.

Rühling, I. (2000): Die Oberrheinregion – Kann sich Präzisionslandwirtschaft ökonomisch und ökologisch etablieren? Naturschutz-Info 3: 27-28.

Rühling, I. (2001): Präzisionslandwirtschaft – Teilflächenbezogenes Management. Ausstellungskatalog. Landwirtschaftliches Hauptfest, Stuttgart.

• Posters :

- Mit GPS zur Präzisionslandwirtschaft – ökonomischer und ökologischer im Feldmaßstab.
- Die Oberrheinregion – Kann sich Präzisionslandwirtschaft ökonomisch und ökologisch etablieren?

A 2 Rencontres et travaux de communications liés au projet (D)

• Exposés, participations à des foires ou expositions, à des podiums

- 10.01.2000 Projektvorstellung und Diskussion (IfuL)
- 11.02.2000 BLHV-Fachausschusssitzung "Getreide- und Nachwachsende Rohstoffe": Kurzvorstellung des ITADA-Projektes ‚Präzisionslandwirtschaft und DGPS in der Landwirtschaft unter ökonomischen Aspekten‘
- 26.06.2000 Sommertagung der Pflanzenbaureferenten: Bericht (Dr. Vetter) über Stand der Projekte zum Einsatz von DGPS in der Landwirtschaft/ Präzisionslandwirtschaft in Baden-Württemberg und Bayern.
- 26.09.2000 ITADA-Zwischenberichterstattung, Aulendorf – Präzisionslandwirtschaft.
- 11.09.2000 Podiumsdiskussion auf der BALA, Freiburg – Präzisionslandwirtschaft.
- 01.12.2000 BLHV-Kreisverband Lahr, Mitgliederversammlung, Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein und Gewannebewirtschaftung (mit Diskussion mit Fachleuten anderer Projekte).
- 19.01.2001 Projektvorstellung und Diskussion (IfuL)
- 14.02.2001 Maistag Emmendingen-Hochburg, ITADA-Projekt: Nutzbarmachung der Präzisionslandwirtschaft.
- 13.07.2001 BLHV-Fachausschusssitzung "Öffentlichkeitsarbeit": Fragen zur Zukunft von GPS.
- 18.09.2001 u. 05.10.2001 LEL Schwäbisch Gmünd: Beraterfortbildung: Precision Farming – auch in Baden Württemberg sinnvoll? Das grenzüberschreitende ITADA-Projekt ‚Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein‘ – Seminarvortrag.

22.-30.09.2001 Landwirtschaftliches Hauptfest Stuttgart: Präzisionslandwirtschaft und Standortvariabilität: Ausstellung – Bildergalerie, Katalog und Bodenprofile: Ausarbeitung und Ausstattung.

25.09.2001 TK ITADA-Endberichterstattung, Colmar – Präzisionslandwirtschaft.

- **Demande**

05.01.2000 Beantwortung einer Anfrage des MLR, Ref.41 vom 03.01.2000 zu GPS und GIS-Einsatz in Projekten am IfuL.

- **Discussions avec les partenaires de projet et contacts**

15.11.1999 Bericht der Firma Vista zur ‚Ermittlung des Ernteertrags mit Fernerkundungsdaten‘ am IfuL.

23.11.1999 Besprechung am IfuL mit Vertretern der Firma Agrocom, Lohnunternehmer Binder, MLR, Ref. 22.

31.01.2000 Kontakt (telefonisch) mit Herrn Anken, Abt. Agrarwirtschaft und Landtechnik der FAT Tänikon, bezüglich schweizerischer Aktivitäten in Präzisionslandwirtschaft (GPS-Ertragsmessung etc.). Übereinkunft, informell in Kontakt zu bleiben, da auf schweizerischer Seite bisher keine konkreten Projekte geplant sind, bis auf den Einsatz von Online-Ertragsmessung.

07.02.2000 Vorstellung der französischen Projektpartner und erste Standort- und Beprobungsprogrammplanung.

20.03.2000 Besprechung mit französischen Projektpartnern Herrn Lasserre, Frau Ariaux (ITCF), Herrn Clinkspoor sowie Herrn Recknagel am IfuL.

17.08.2000 Versuchsfeldbesichtigung mit den französischen Projektpartnern (Herren Lasserre, J.M. Müller sowie Recknagel) in Ebersheim, Witternheim und Weisweil.

04.05.2000 Erste GPS-Übergabe und Einweisung der Herren Remuoux und Lasserre (ITCF) zur darauf folgenden Rastereinmessung auf den ITADA-Untersuchungsschlägen in Frankreich.

26.10.2000 ITADA-Projektberichterstattung in Aulendorf an der LVVG.

01.02.2001 Erste Ergebnisvorstellung vor RP und ALLB Freiburg (Herren Hugger und G. Kansy), LU Binder Forchheim und Herrn Stauss (MLR) sowie Vertretern des IfuL.

01.02.2001 Erste Ergebnisvorstellung mit französischen Projektpartnern.

06.11.2001 Besprechung der Auswertung der Online- (GPS) und aus Fernerkundungsauswertungen gewonnenen Erträge im Gebiet Weisweil mit Dr. Heike Bach, Fa. Vista in München.

21.11.2001 Vorlage des Endberichts mit Absprache der seitens der französischen Projektpartner noch zu ergänzenden Kapitel mit Herrn Lasserre, Herrn J.M. Müller sowie Herrn Recknagel am IfuL.

11.12.2001 Besprechung des Evaluierungsbericht und Absprache der seitens der französischen Projektpartner noch zu ergänzenden Kapitel mit Herrn Lasserre, Herrn Clinkspoor sowie Herrn Recknagel am IfuL.

- **Autres réunions et contacts**

19.11.1999 Vorstellung der Einsatzmöglichkeiten von tragbaren GPS-Systemen mit Vertretern der Fa. D&F Gesellschaft für DatenSysteme mbH, Freiburg am IfuL.

24.05.2000 Gespräch mit W. Geiler, Büro für Bildverarbeitung und GIS, über Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung, insbesondere dem Einsatz von

RADAR-Bildern (Interferometriedaten in 3m-Auflösung z.B. zu Bestandeshöhen und Oberflächenrauigkeiten).

26.03.2001 BLHV-Kreisverbandsitzung zur ‚Virtuellen Flurbereinigung‘: Vorstellung GIS und virtuelle Schlagkartei durch Herrn Kolb von der Fa. Helms, mit Diskussion.

• **Colloques et formations**

08.-10.11.99 AGRITECHNICA '99: Schwerpunkt ‚Precision Agriculture‘-Ausstellung.

18.02.2000 ALB-Tagung Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen an der Universität Hohenheim: GPS - Einsatz in der Landwirtschaft.

23./24.2.2000 KTBL-Seminar Riedhausen ‚Gewannebewirtschaftung – GPS macht's möglich‘.

23.05.2000 GIS und GPS-Infotag, LUFA Augustenberg, mit Kontakten zu Lohnunternehmern und einem Maschinenringgeschäftsführer.

09.06.2000 Schulung bei der Fa. Agrocom, Bielefeld zur Nutzung der Programme Agromap Basic und Professional sowie zum Einsatz des Bordterminals zur Ertragserfassung ‚ACT‘.

22.06.2000 DLG-Feldtage, Rottmersleben.

9.-17.9.2000 BaLa 2000 in Freiburg: Messestand ‚Präzisionslandwirtschaft‘ mit Katalog zur Ausstellung.

11.09.2000 BaLa 2000 in Freiburg: Podium beim BLHV-Forum: ‚Chancen und Risiken der Präzisionslandwirtschaft‘.

13.06.2001 Symposium an der ETH Zürich: Spatial Heterogeneity of soil properties and crop yield – Precision Farming for an environmentally sound Agriculture?

• **Activités générales**

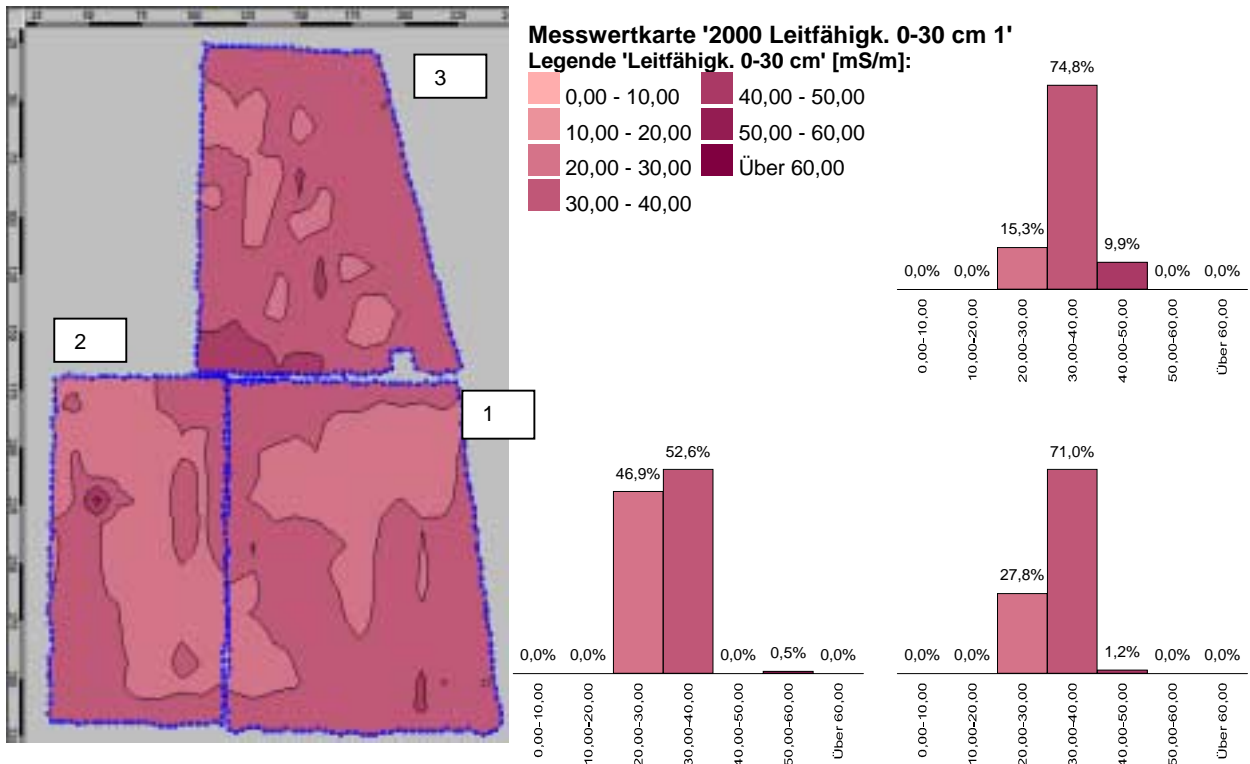
- Diskussionen über neue Projektträgerschaft für ein Modellvorhaben ‚Gewannebewirtschaftung‘ sowie Treffen vor Ort.
- Projektantrag zur Präzisionslandwirtschaft

• **Travaux de communication particuliers**

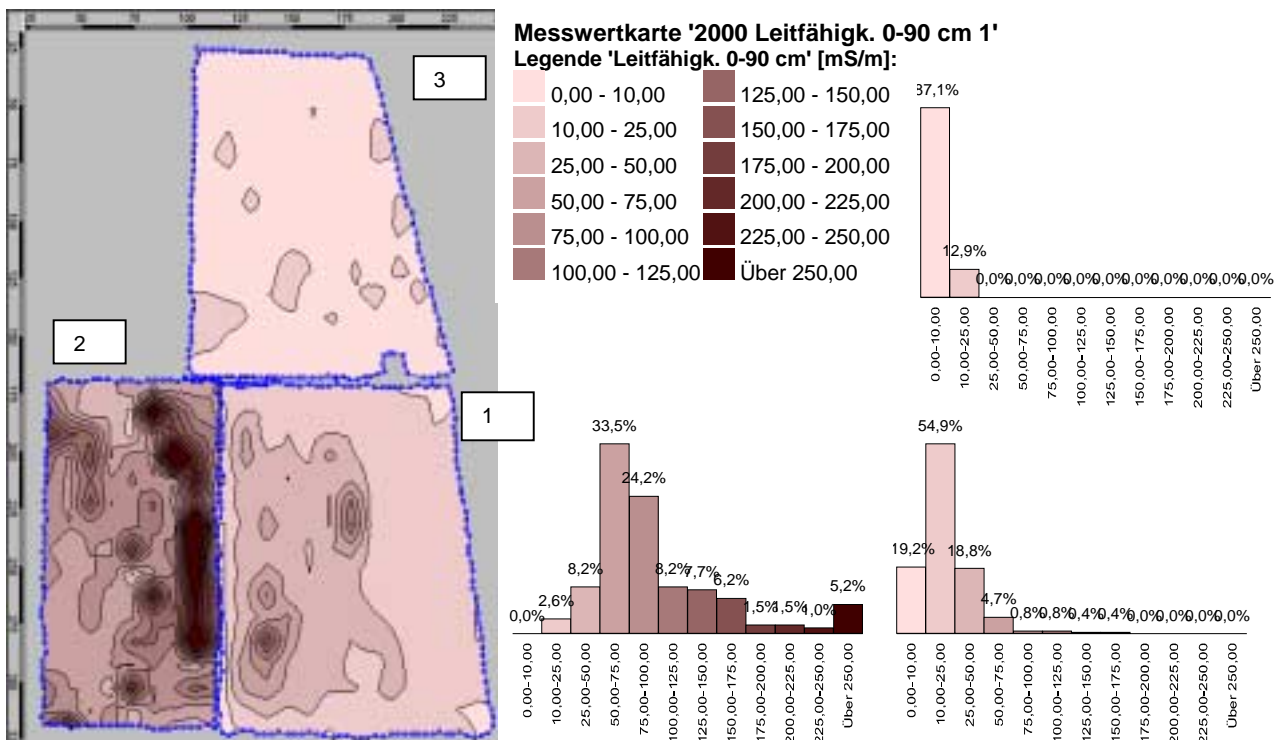
- Aufnahme der Projektbeschreibung in die Internetseite des IfuL
- Presseerklärung (Veröffentlichung zur BaLa 2000 in Freiburg)
- Verteilung von Projektbeschreibungen bei Fachveranstaltungen und auf Anfragen
- Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg: Aufnahme der Projektbeschreibung und Literatur in das Internetportal "TA-Net-BW" (Dezember 2001).

A 3 Cartes de valeurs mesurées - parcelles quadrillées de Weisweil

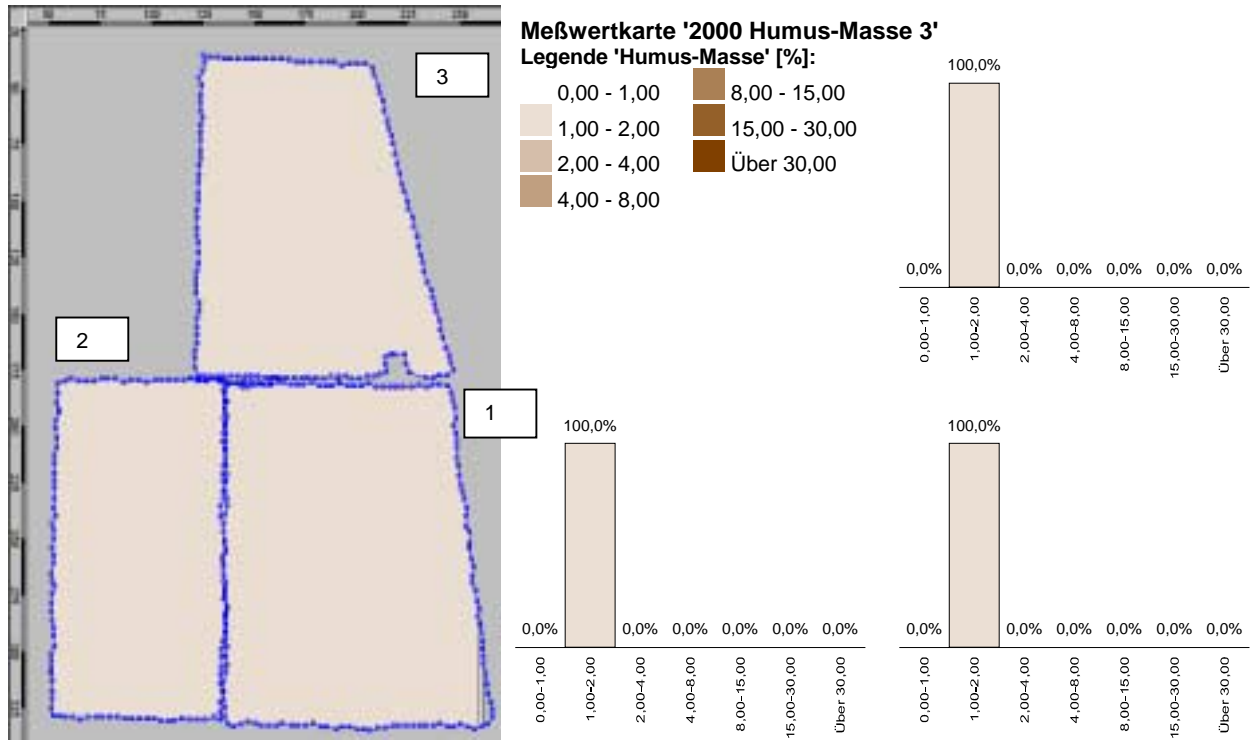
K 1: Sols : conductivité électrique 0-30 cm, 10.03.2001



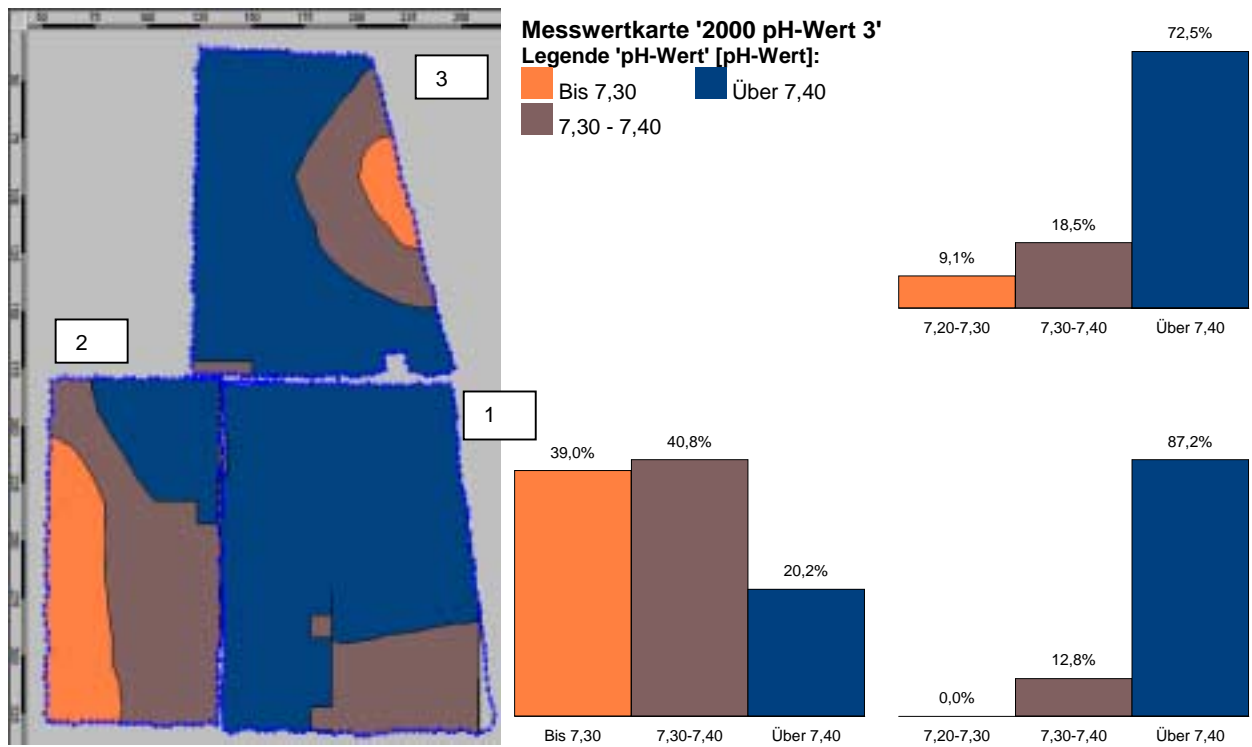
K 2: Sols : conductivité électrique 30-90 cm, 10.03.2001



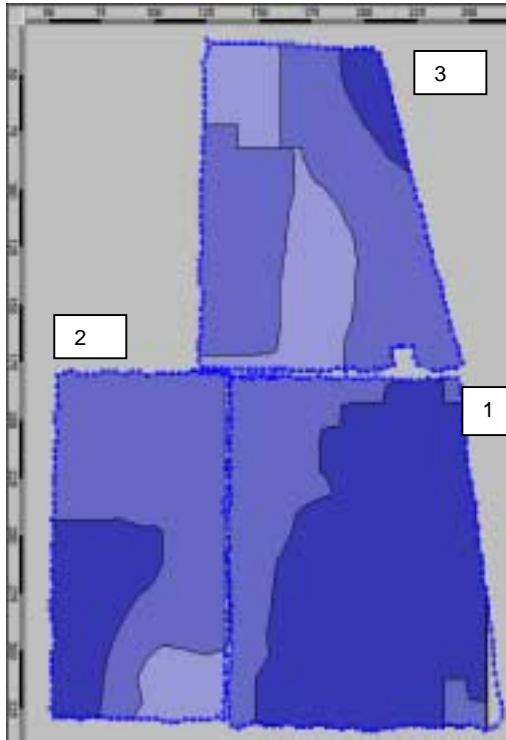
K 3: Sols : Humus [%]



K 4: Sols : pH-Wert

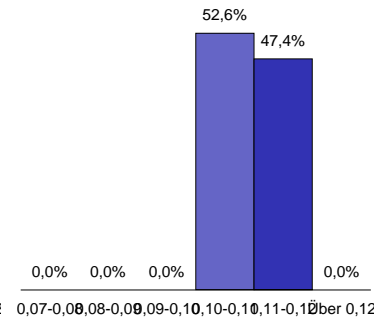
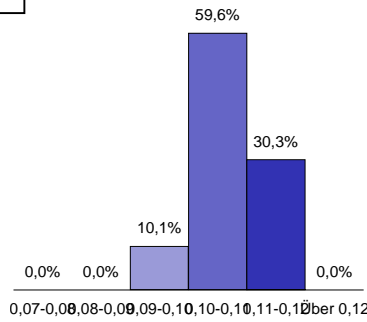
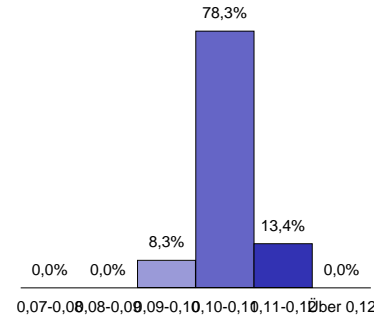
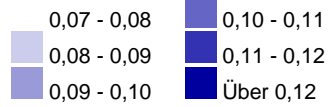


K 5: Sols : N total [%]

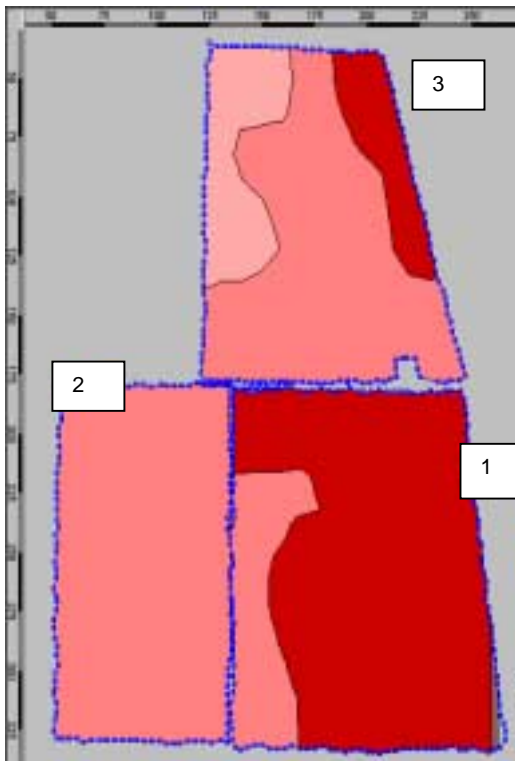


Messwertkarte '2000 Gesamt-N 3'

Legende 'Gesamt-N' [%]:

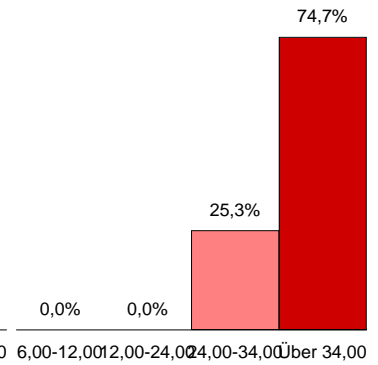
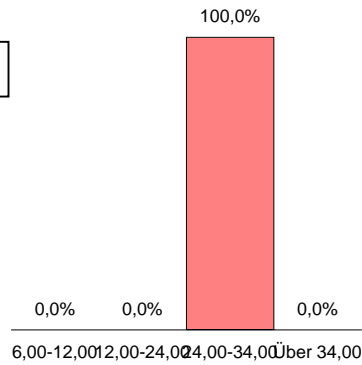
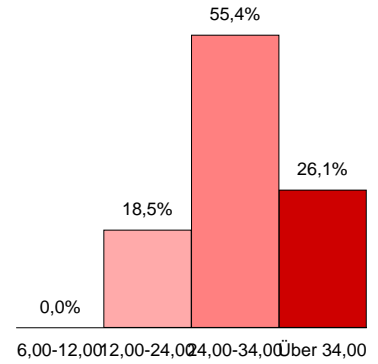
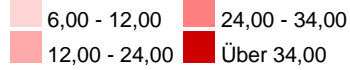


K 6: Sols : P₂O₅ [mg/100g]



Messwertkarte '2000 P2O5 3'

Legende 'P2O5' [mg/100g]:

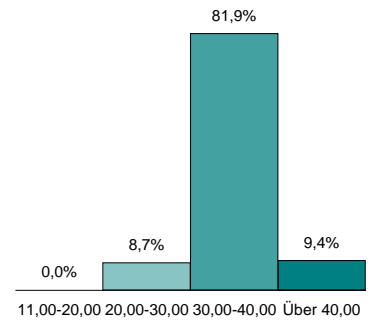
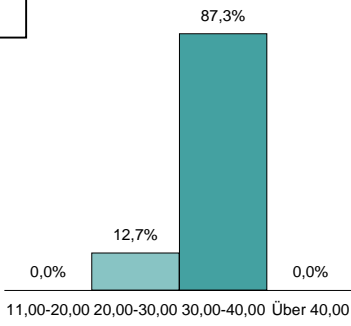


K 7: Sols : K₂O [mg/100g]

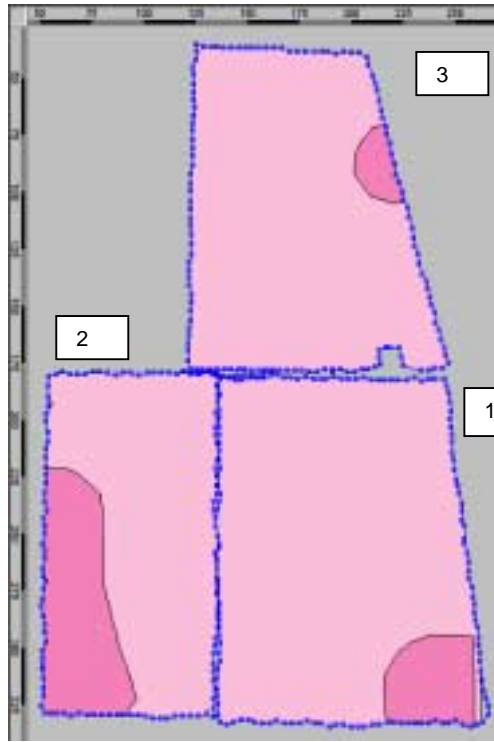


Messwertkarte '2000 K2O 3'
Legende 'K2O' [mg/100g]:

- 11,00 - 20,00
- 20,00 - 30,00
- 30,00 - 40,00
- Über 40,00

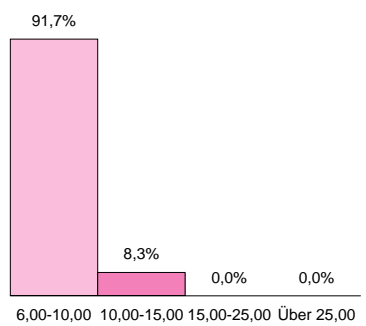
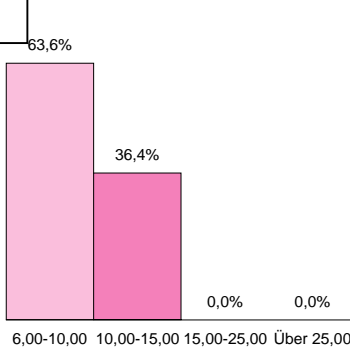


K 8: Sols : Mg [mg/100g]

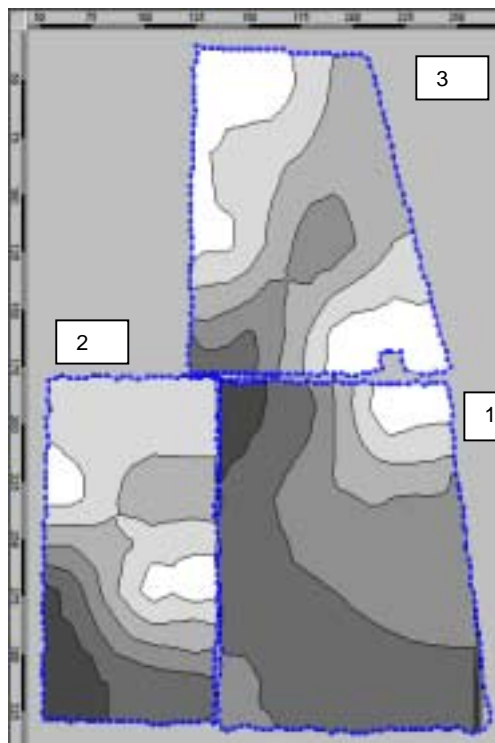


Messwertkarte '2000 Mg 3'
Legende 'Mg' [mg/100g]:

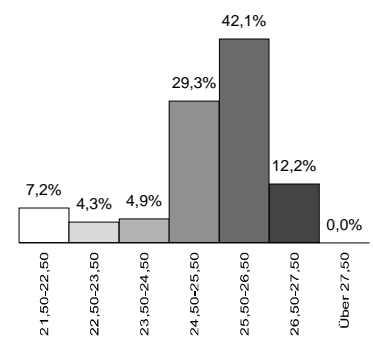
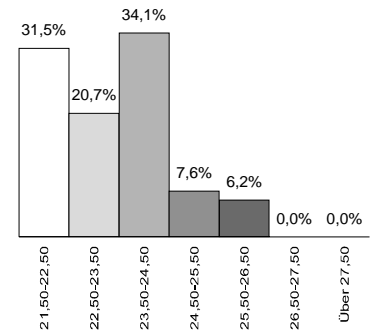
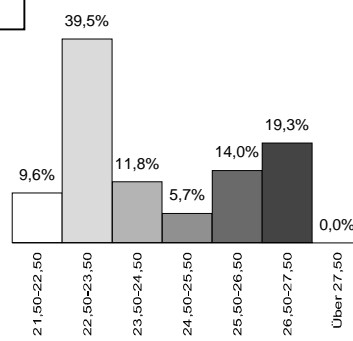
- 6,00 - 10,00
- 10,00 - 15,00
- 15,00 - 25,00
- Über 25,00



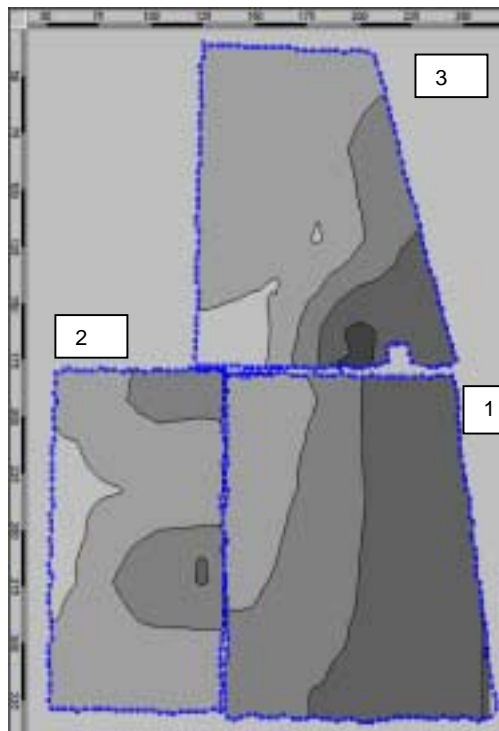
K 9: Sols : argile [%]



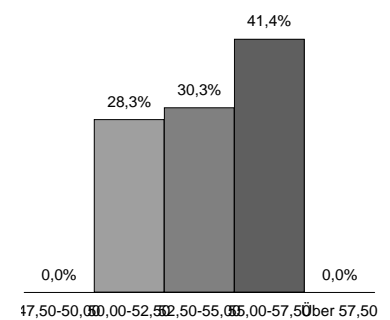
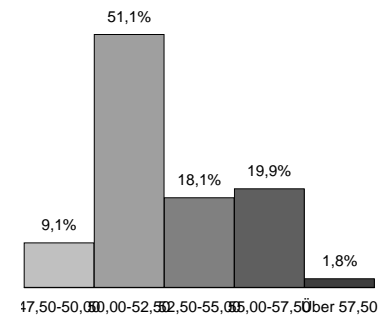
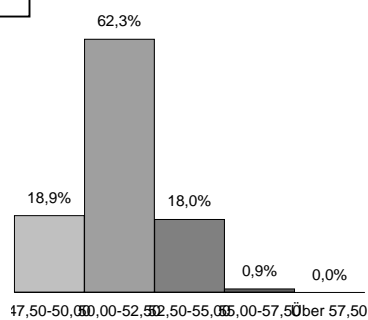
Messwertkarte '2000 Ton 1'
Legende 'Ton' [%]:
 21,50 - 22,50
 22,50 - 23,50
 23,50 - 24,50
 24,50 - 25,50
 25,50 - 26,50
 26,50 - 27,50
 Über 27,50



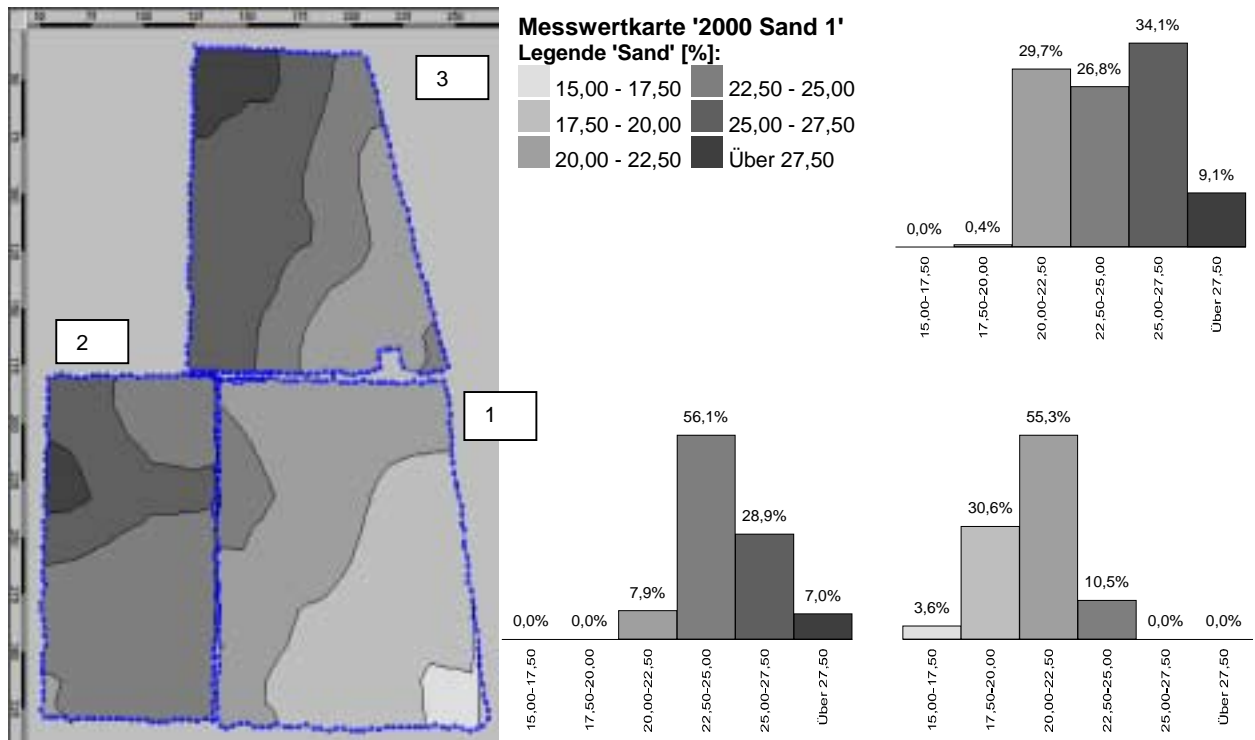
K 10: Sols : limon [%]



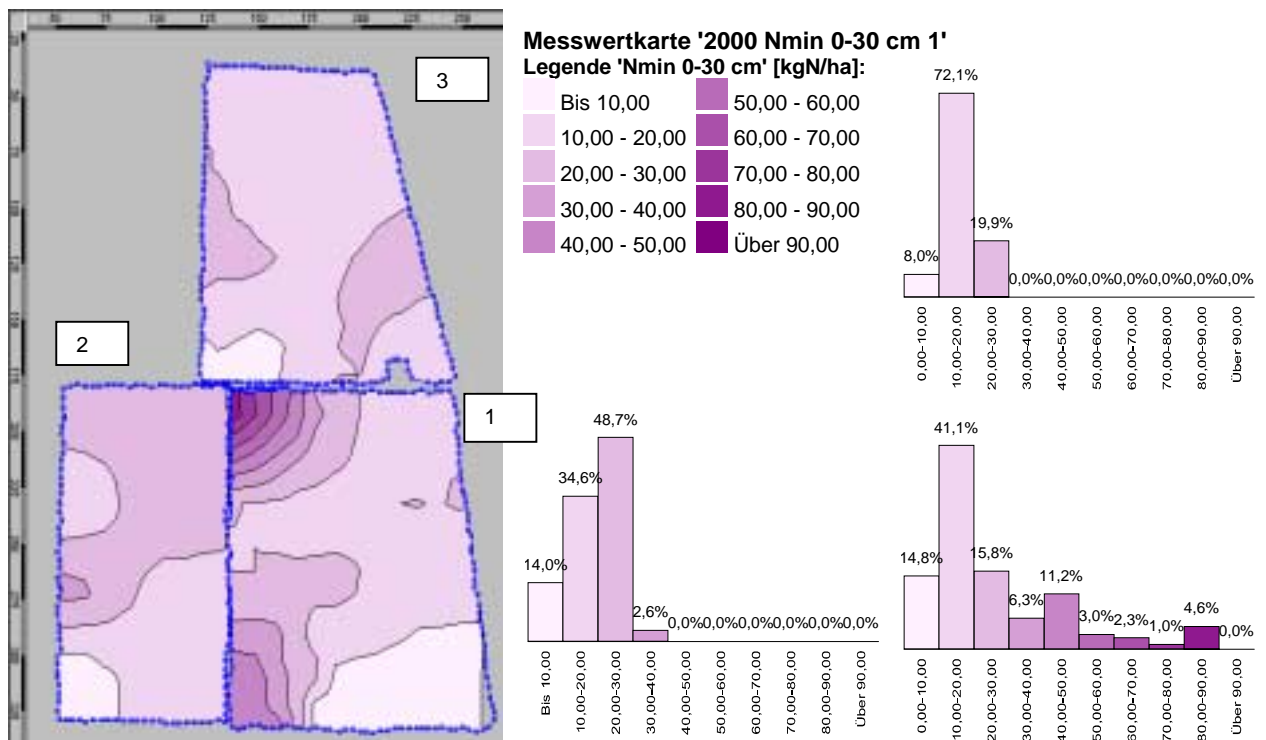
Meßwertkarte '2000 Schluff 1'
Legende 'Schluff' [%]:
 47,50 - 50,00
 50,00 - 52,50
 52,50 - 55,00
 55,00 - 57,50
 Über 57,50



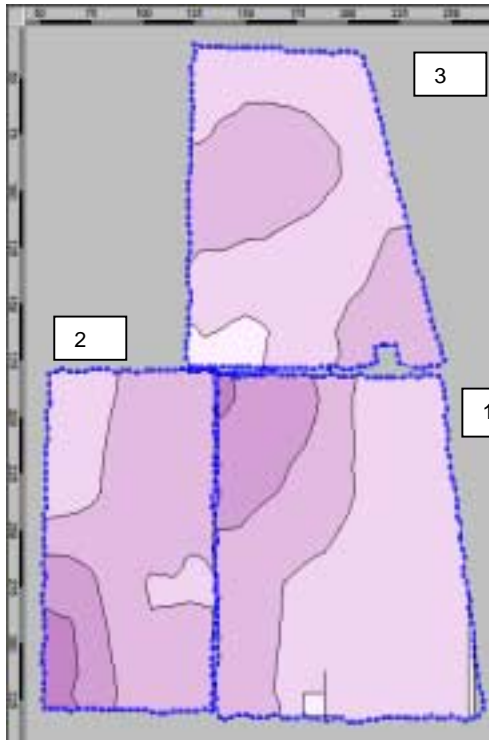
K 11: Sols : Sable [%]



K 12: Teneur N_{min} du sol 0-30 cm [kg N/ha], 05.06.01

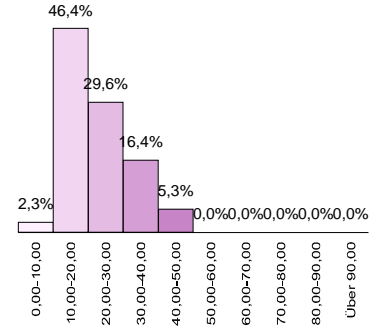
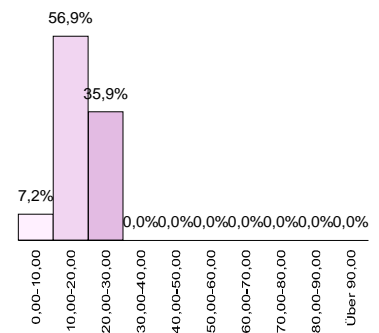
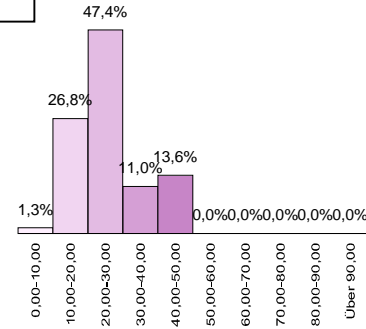
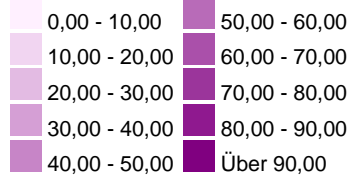


K 13: Teneur N_{min} du sol 30-60 cm [kg N/ha], 05.06.01

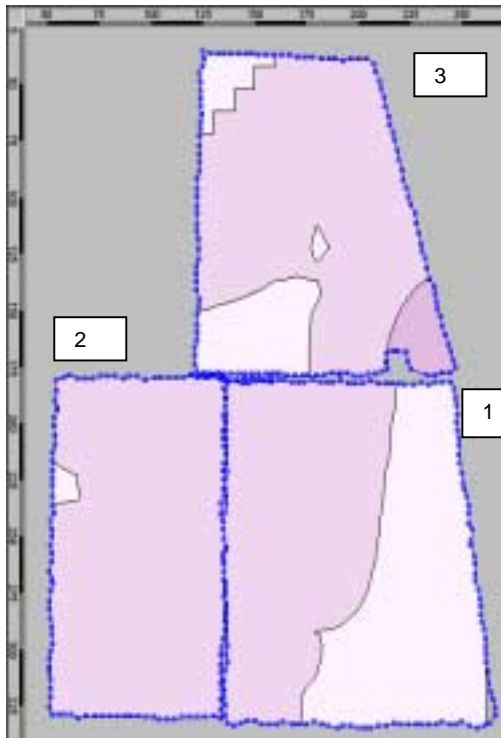


Messwertkarte '2000 Nmin 30-60cm 1'

Legende 'Nmin 30-60 cm' [kgN/ha]:

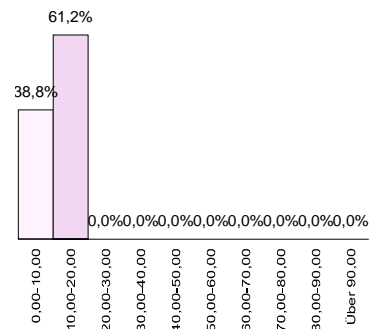
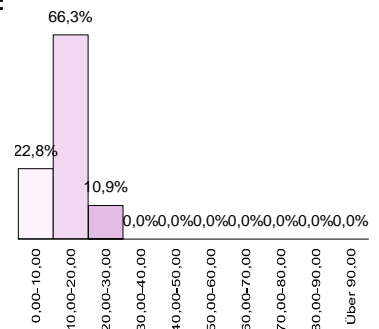
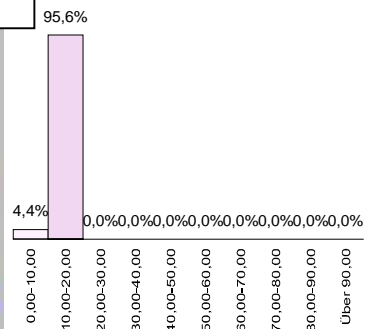
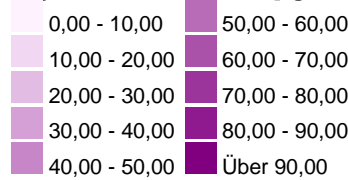


K 14: Teneur N_{min} du sol 60-90 cm [kg N/ha], 05.06.01

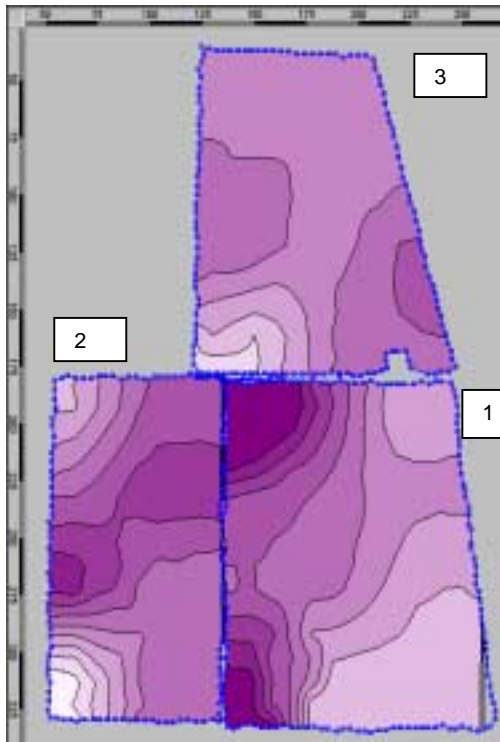


Messwertkarte '2000 Nmin 60-90cm 1'

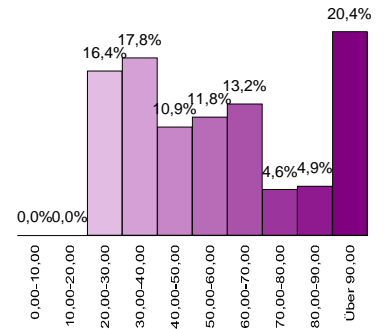
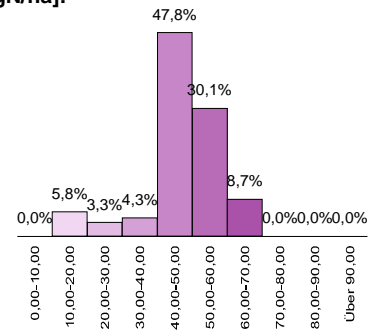
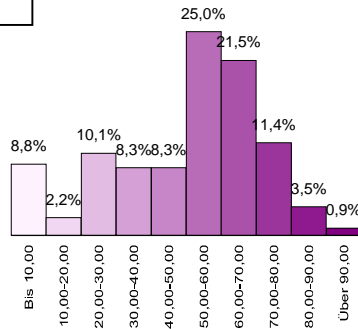
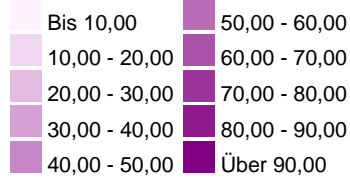
Legende 'Nmin 60-90 cm' [kgN/ha]:



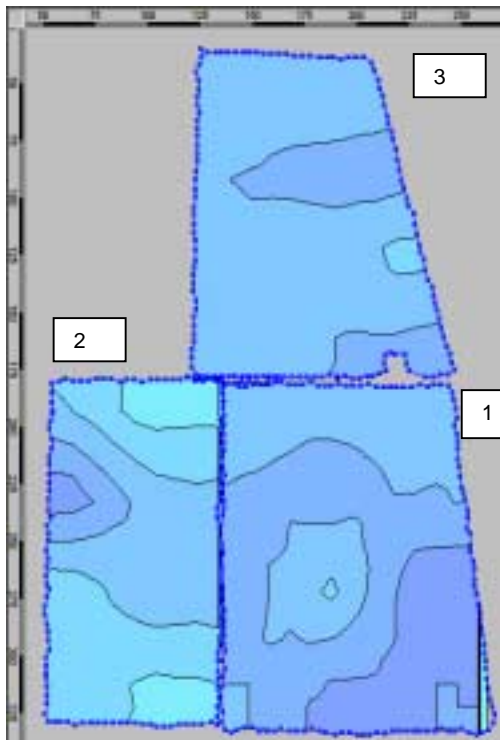
K 15: Teneur N_{min} du sol 0-90 cm [kg N/ha], 05.06.01



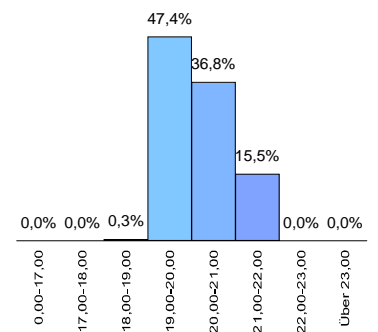
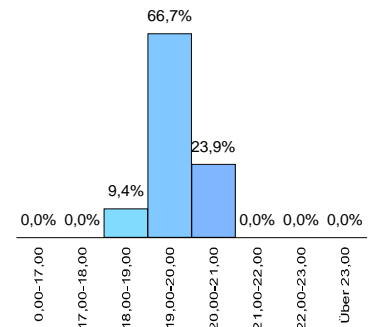
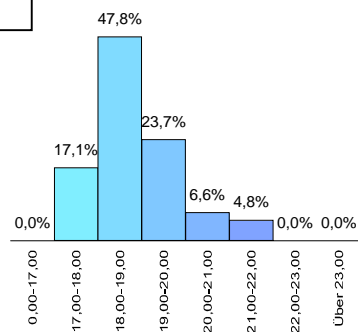
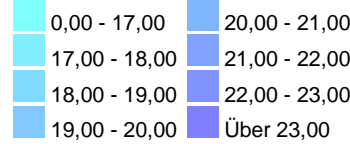
Meßwertkarte '2000 Summe Nmin 0-90 cm 1'
 Legende 'Summe Nmin 0-90 cm' [kgN/ha]:



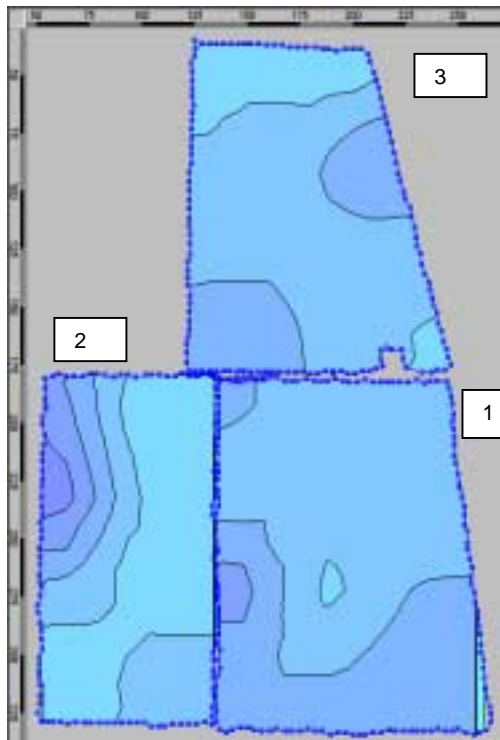
K 16: Teneur en eau du sol 0-30 cm [%], 05.06.01



Meßwertkarte '2000 Wassergeh. 0-30 cm 1'
 Legende 'Wassergeh. 0-30 cm' [%]:

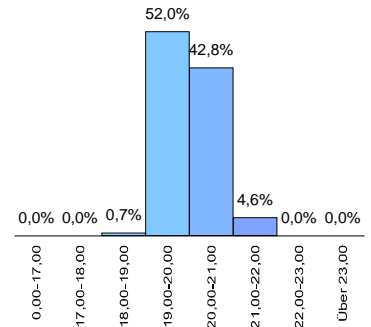
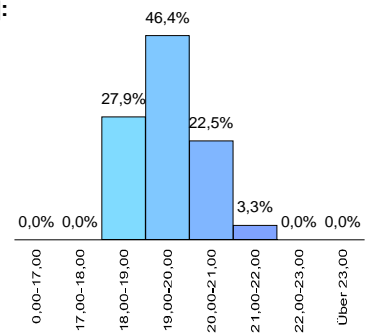
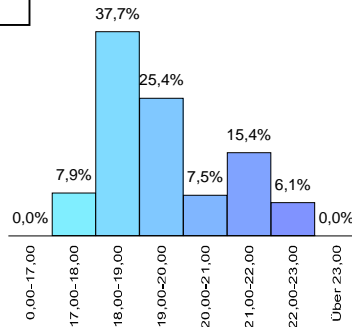
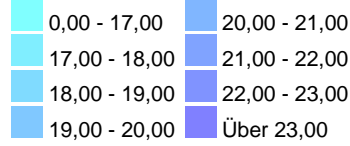


K 17: Teneur en eau du sol 30-60 cm [%], 05.06.01

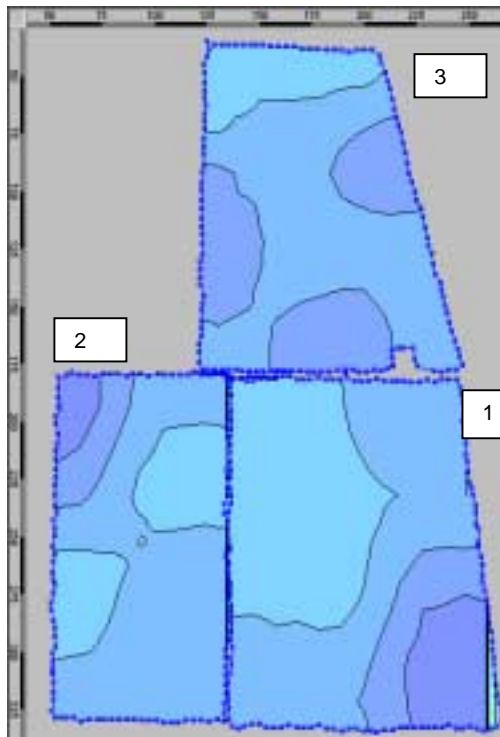


Meßwertkarte '2000 Wassergeh. 30-60 cm 1'

Legende 'Wassergeh. 30-60 cm' [%]:

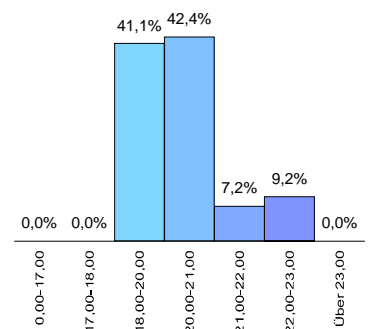
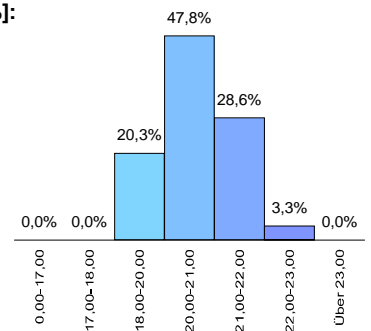
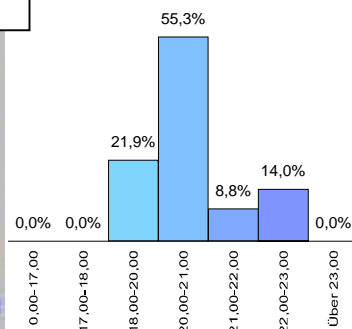
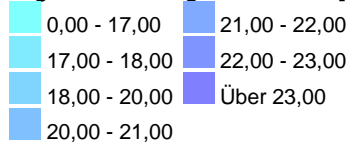


K 18: Teneur en eau du sol 60-90 cm [%], 05.06.01

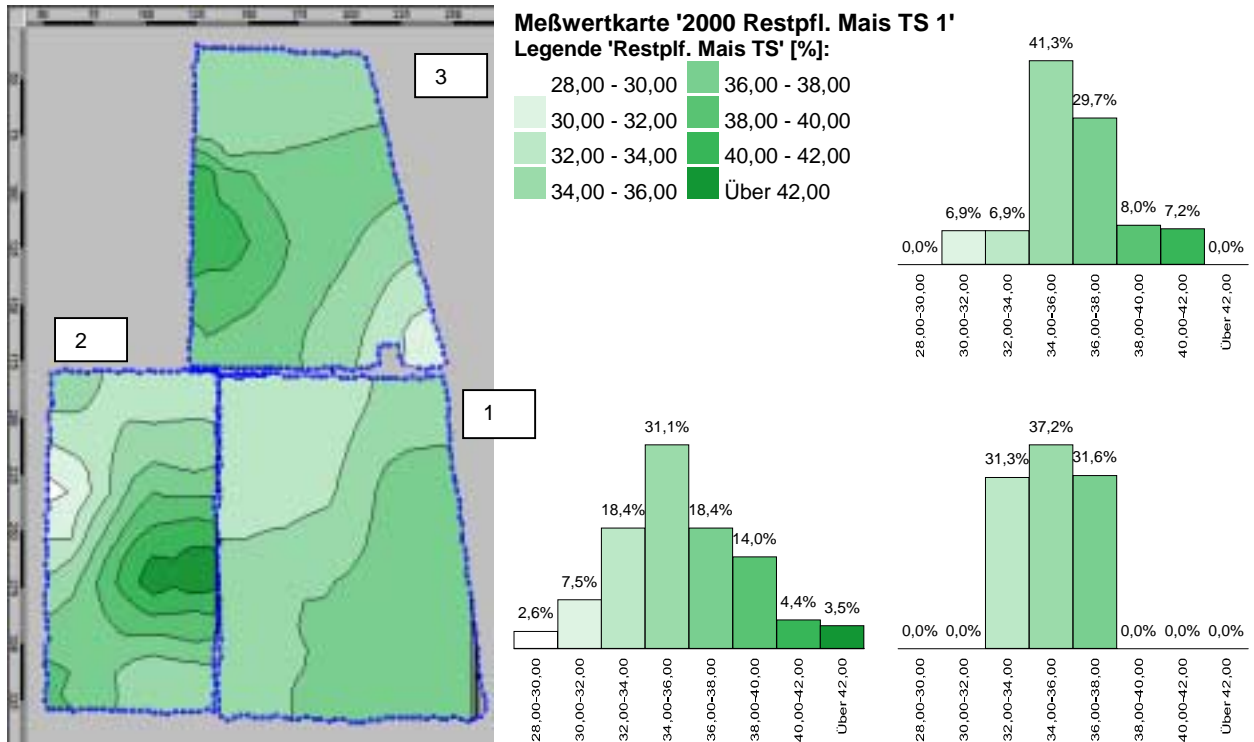


Meßwertkarte '2000 Wassergeh. 60-90 cm 1'

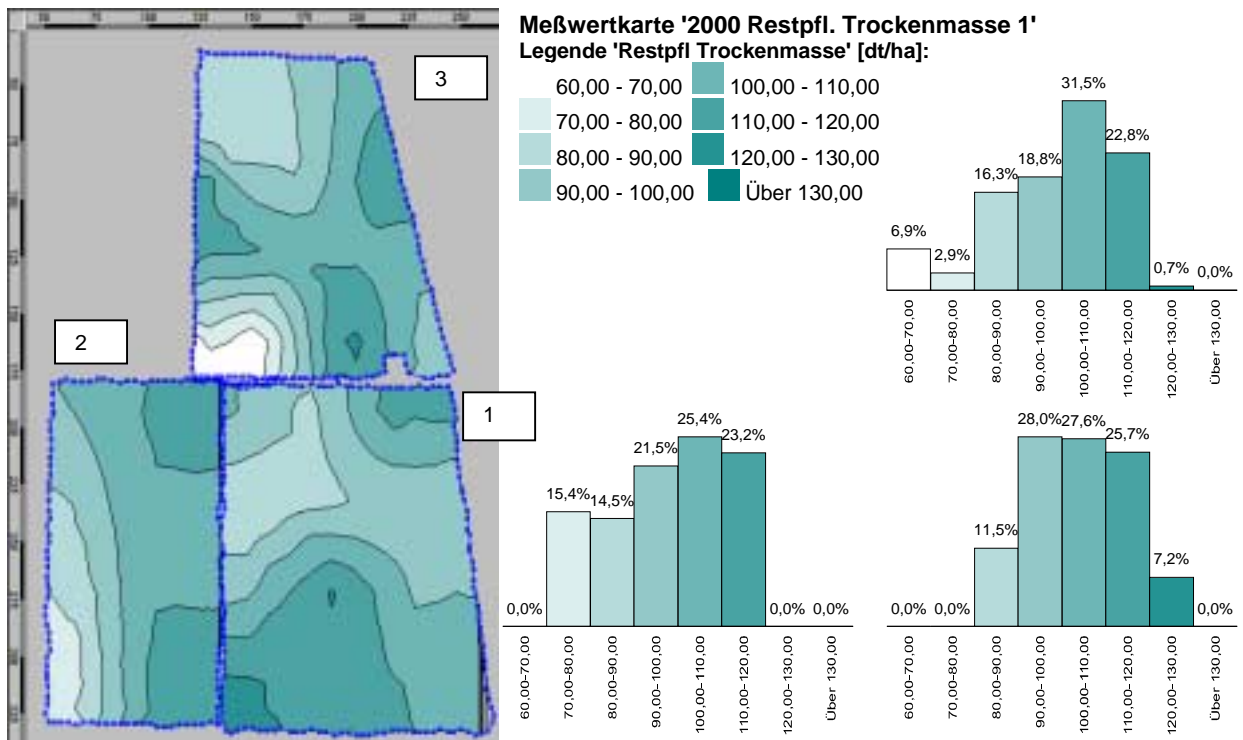
Legende 'Wassergeh. 60-90 cm' [%]:



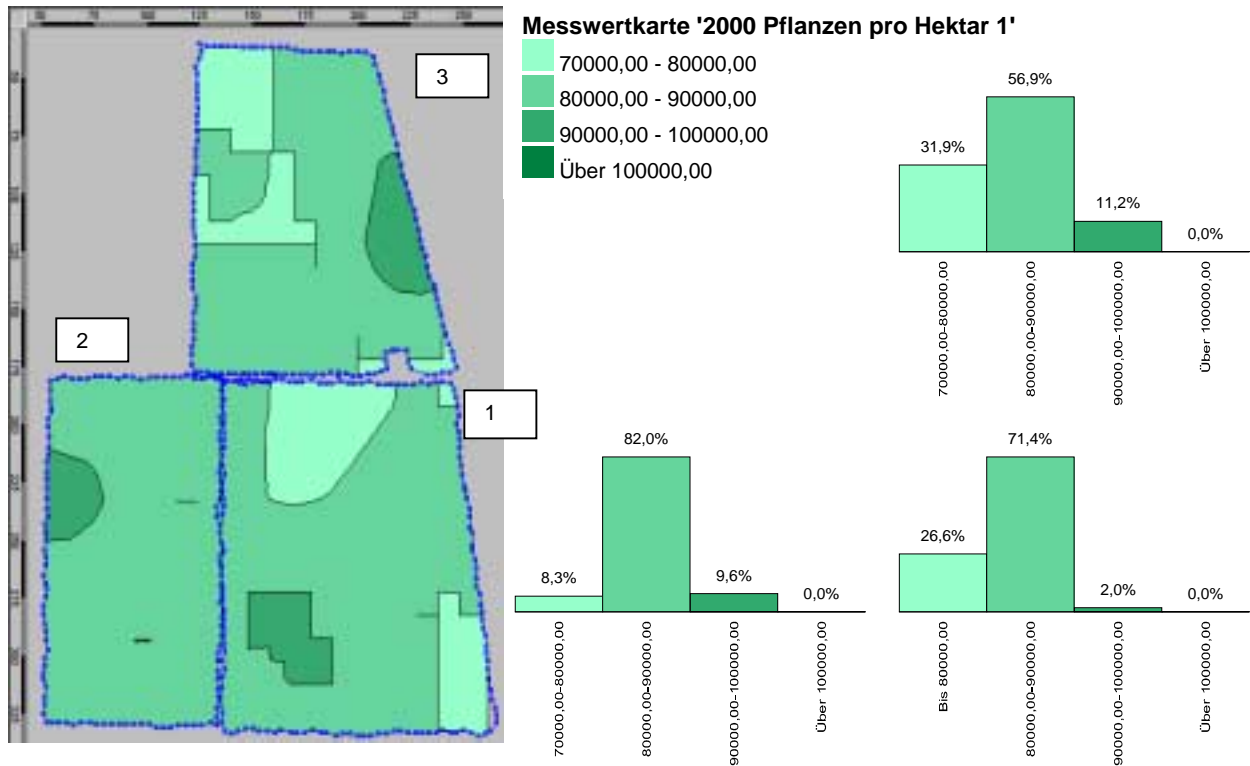
K 19: Matière Sèche du reste des plantes [%]



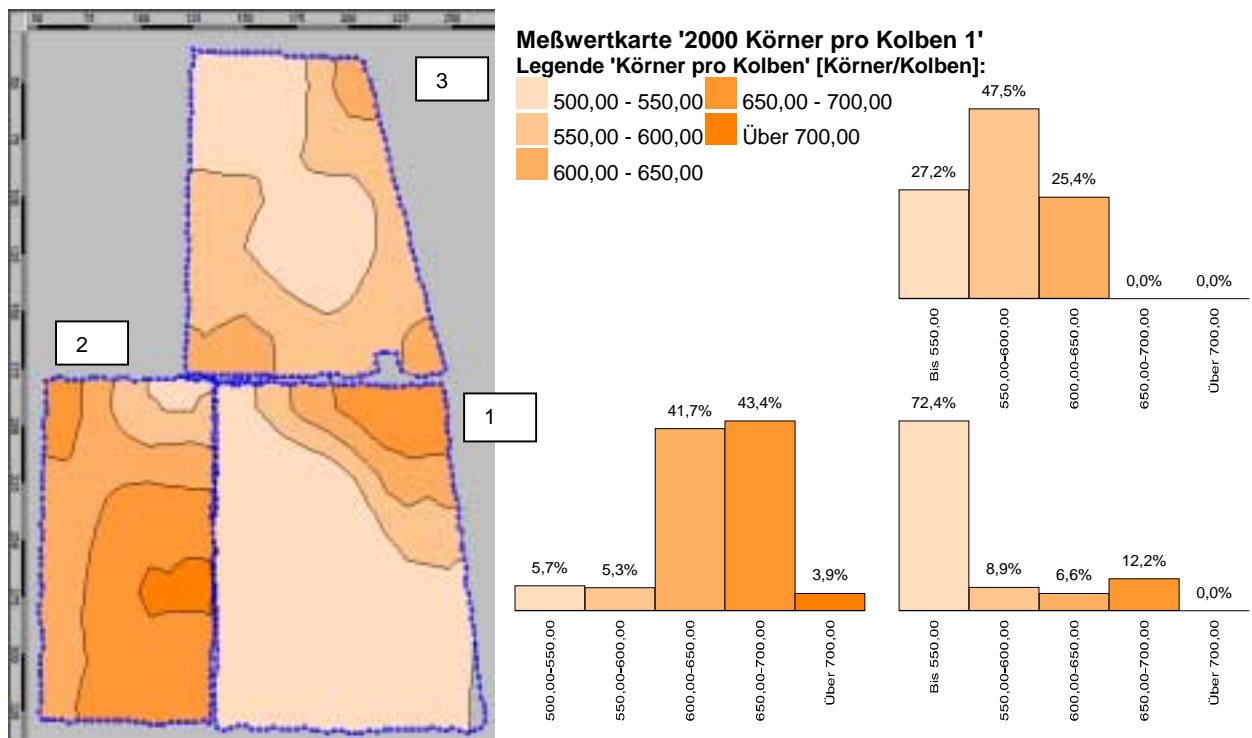
K 20: Matière Sèche du reste des plantes [q/ha]



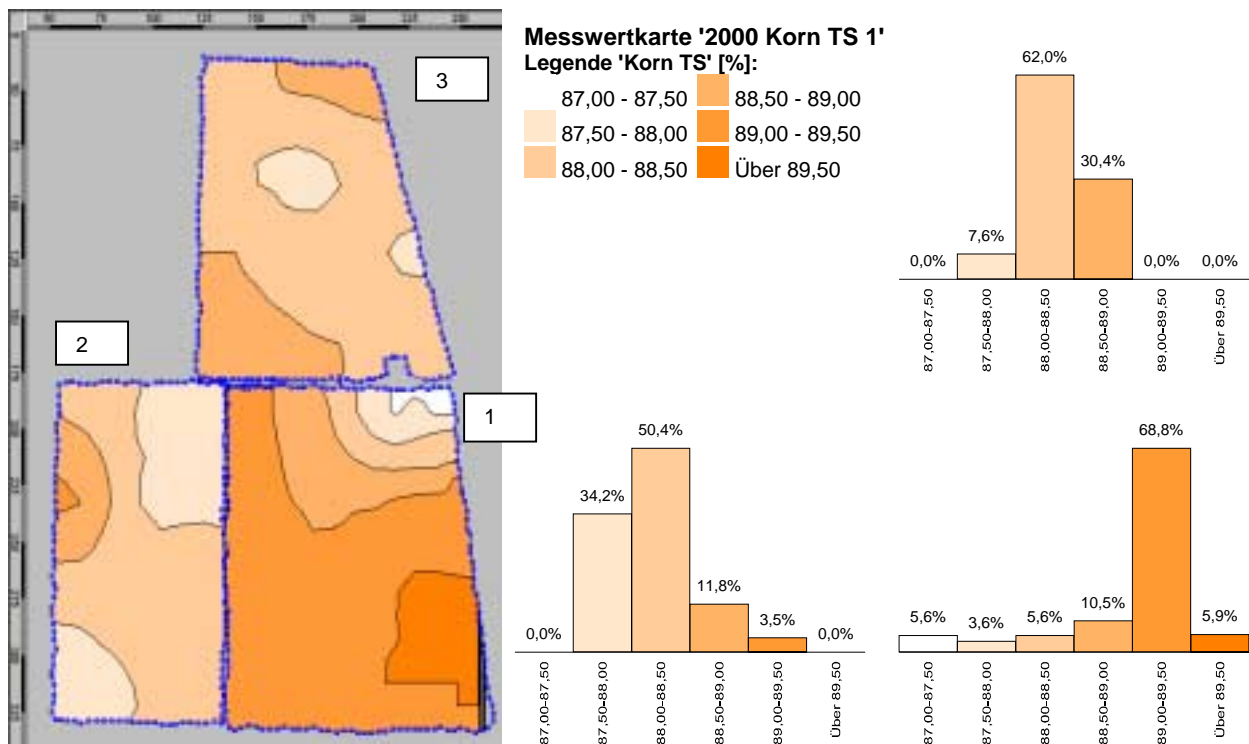
K 21: Nombre de plantes par hectare



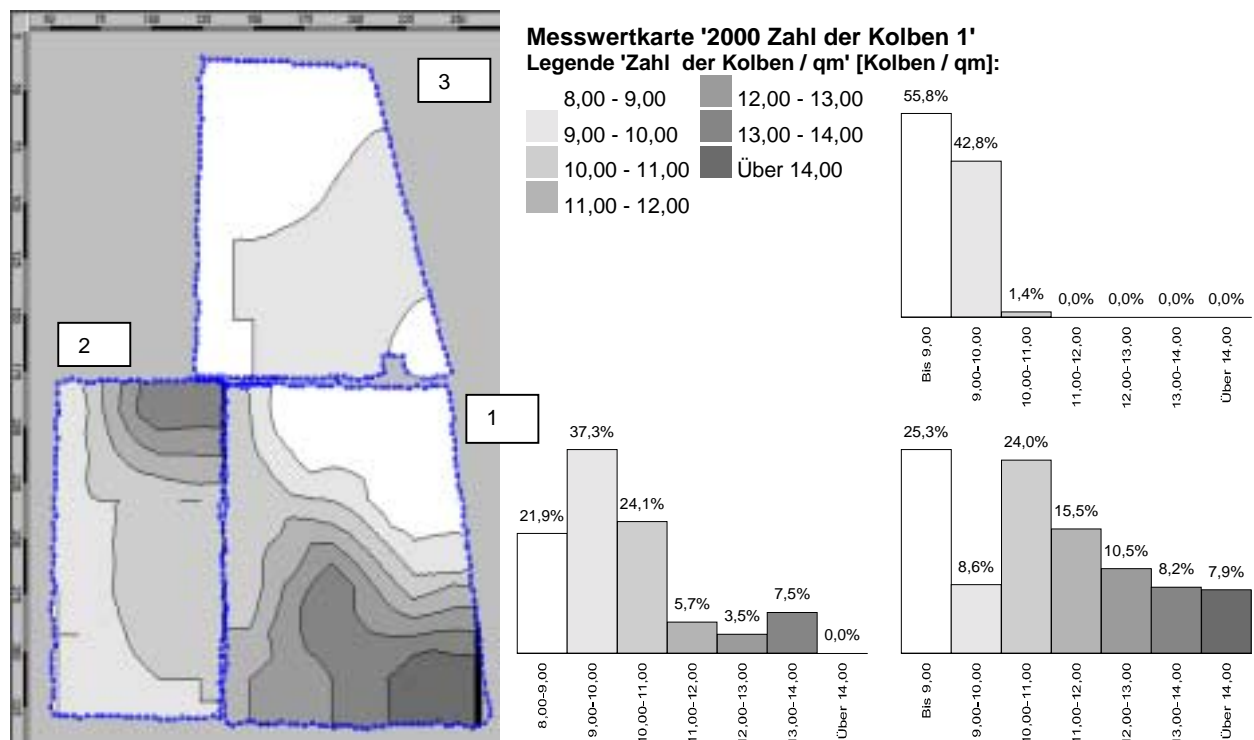
K 22: grains/épis



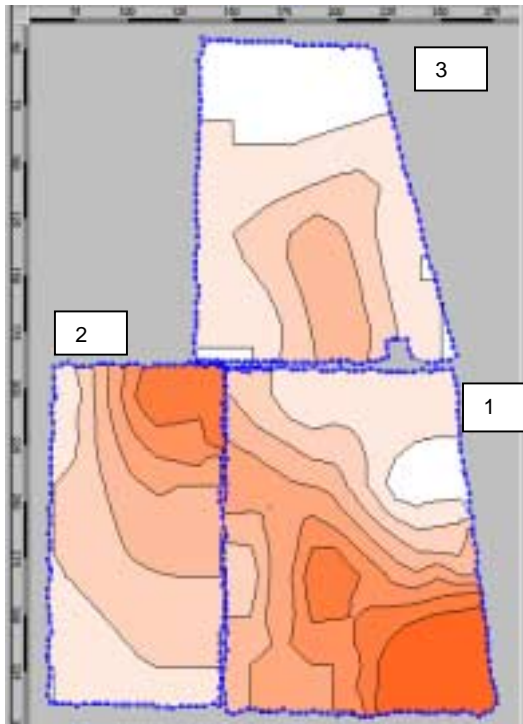
K 23: Matière sèche du grain [%]



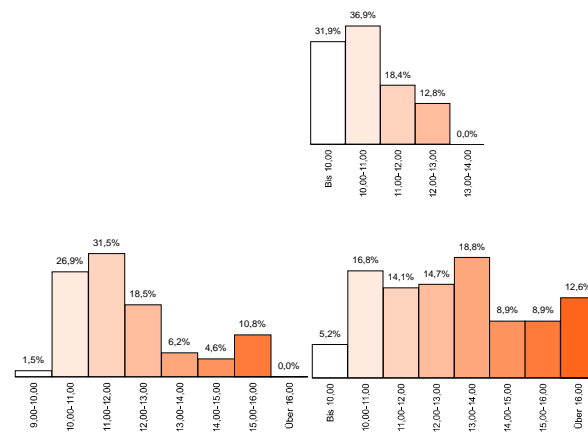
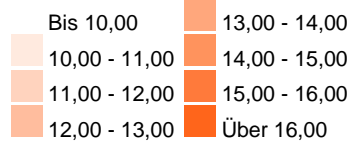
K 24: Nombre d'épis [épis/m²]



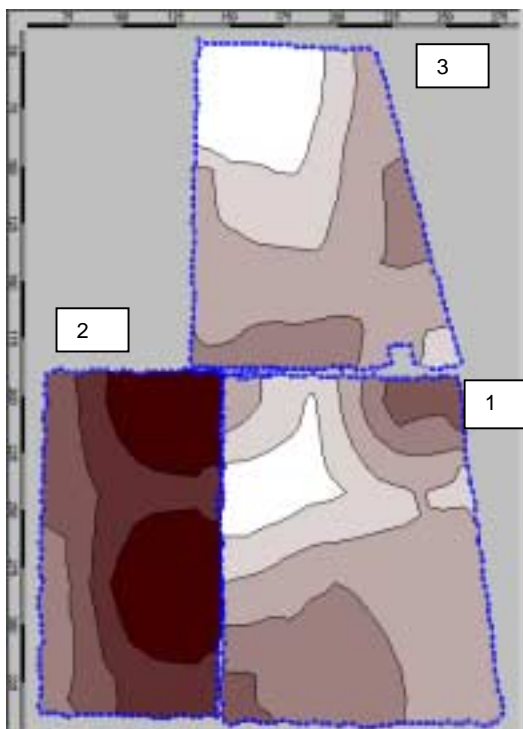
K 25: épis/10 Plantes



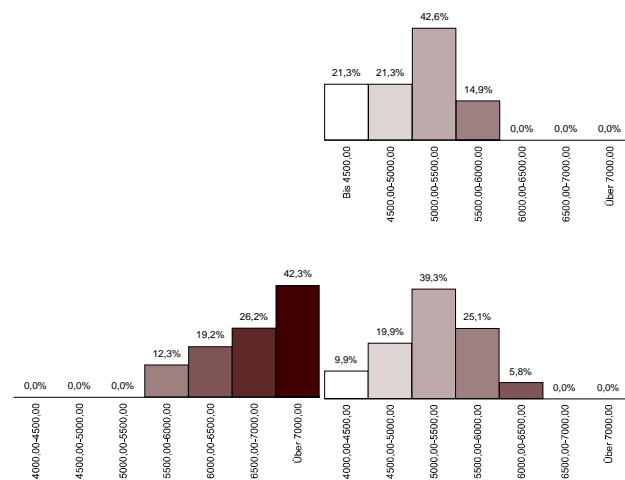
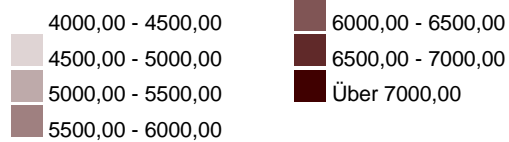
Messwertkarte '2001 Kolben/ 10 Pflanzen 1'
Legende 'Kolben/ 10 Pflanzen' []:



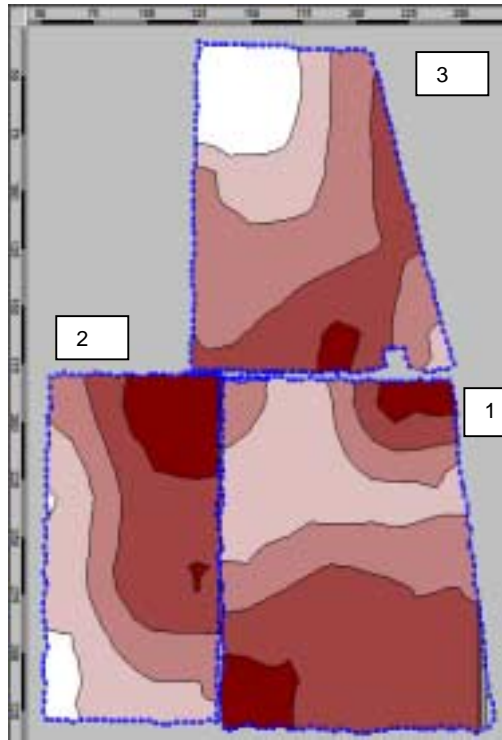
K 26: grains/m²



Messwertkarte '2001 Körner/m² 1'
Legende 'Korn/m²' [Korn/m²]:

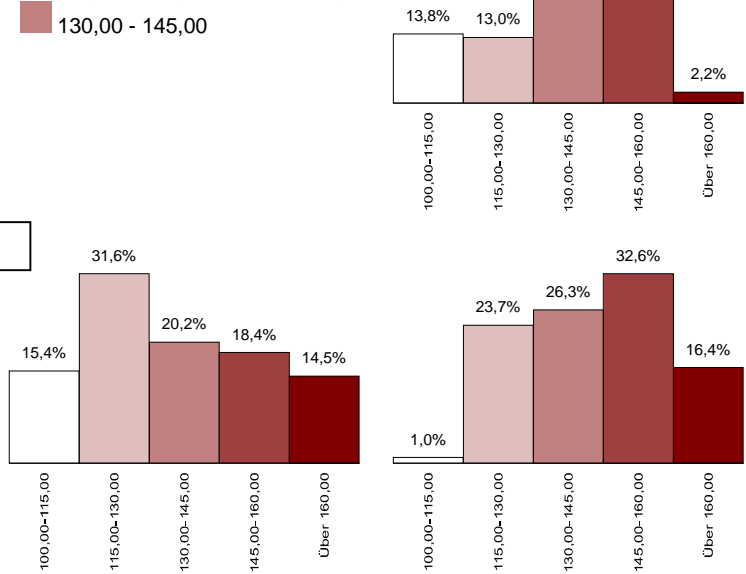


K 27: rendement grain [q/ha]



Meßwertkarte '2000 KornTrockenertr norm 1'
Legende 'KornTrockenertr norm'
[auf 86% TS normiert]:

100,00 - 115,00 145,00 - 160,00
115,00 - 130,00 Über 160,00
130,00 - 145,00

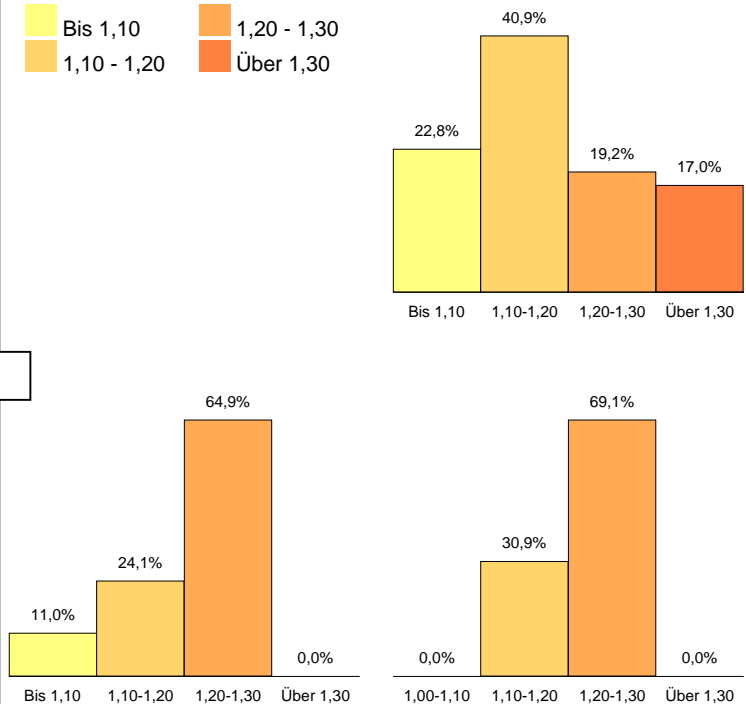


K 28: rapport grain/paille

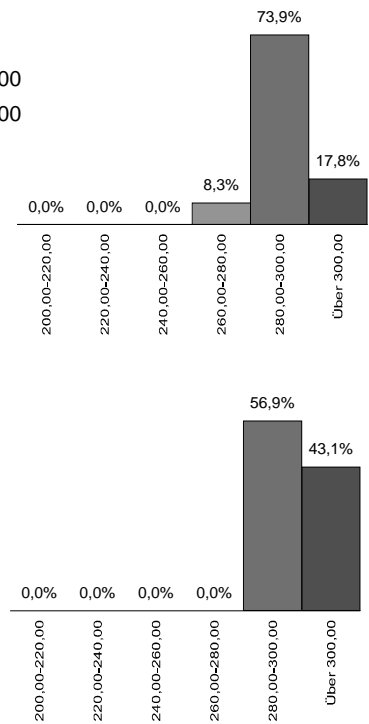
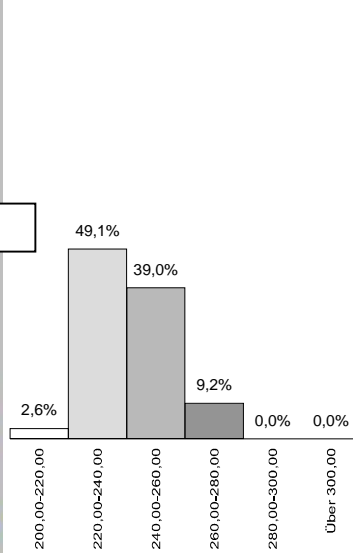
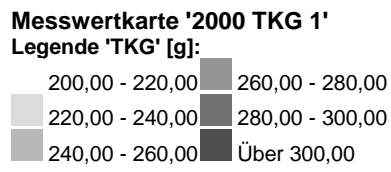
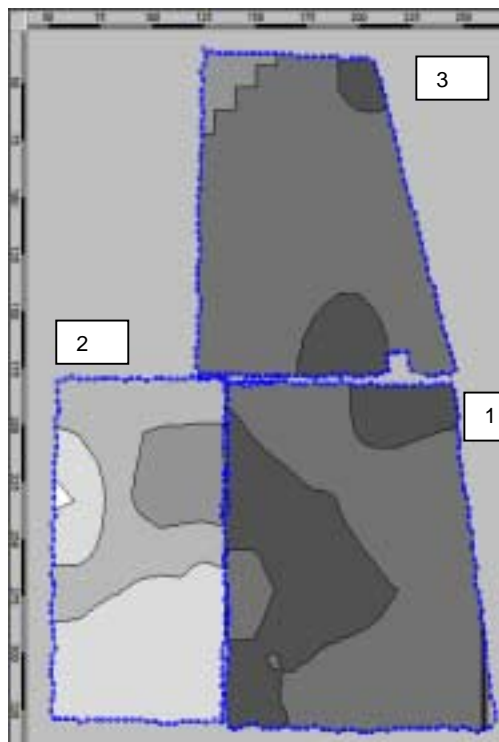


Meßwertkarte '2000 Korn/Stroh 1'

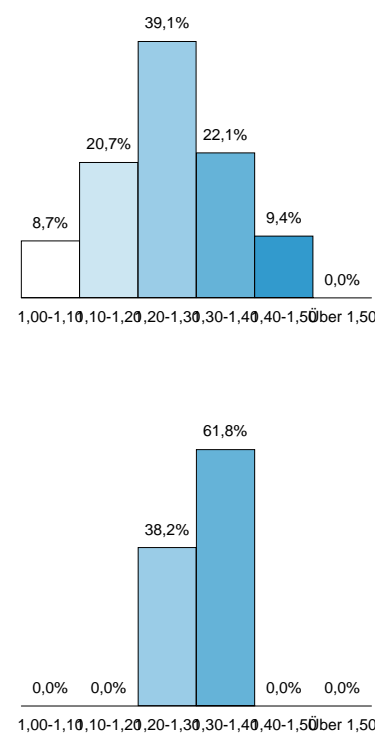
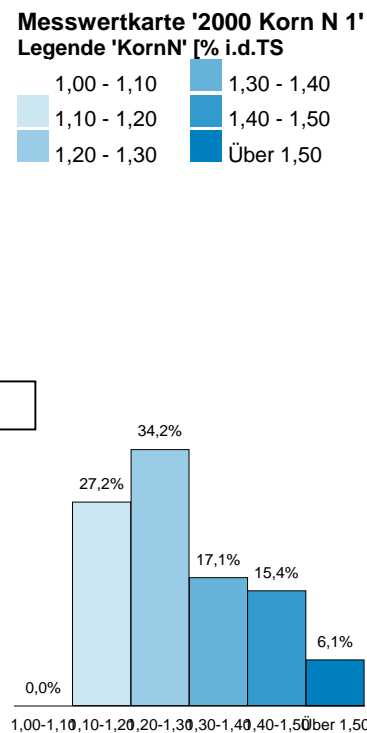
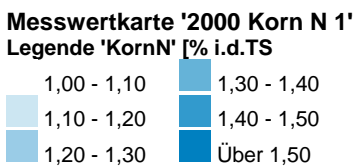
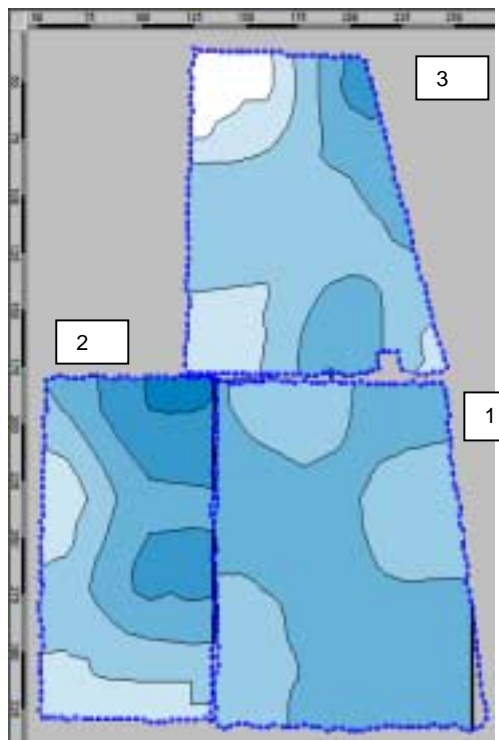
Bis 1,10 1,20 - 1,30
1,10 - 1,20 Über 1,30



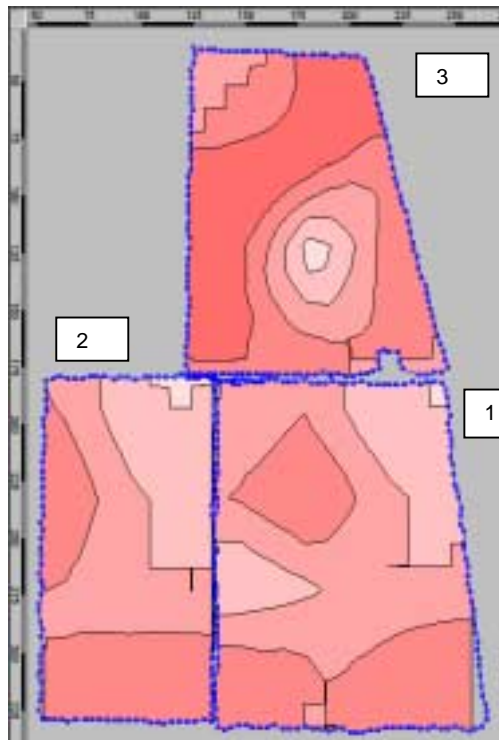
K 29: Poids de mille grains PMG [g]



K 30: Teneur N du grain [%]

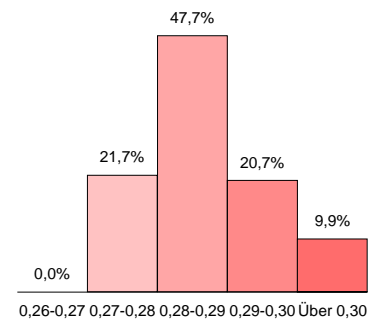
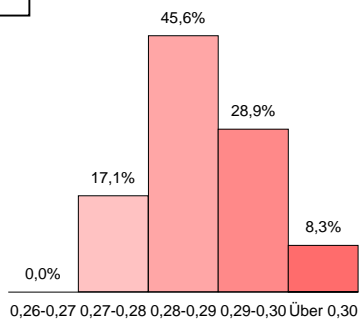
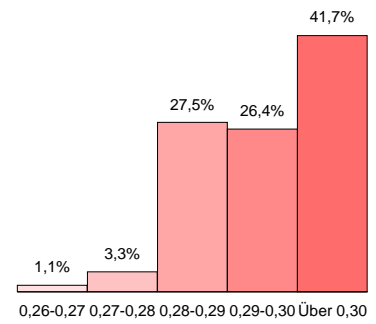
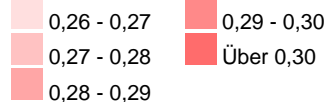


K 31: Teneur P du grain [%]



Meßwertkarte '2000 KornP 1'

Legende 'KornP' [% i.d.TS]:

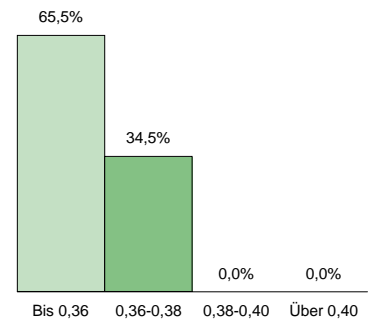
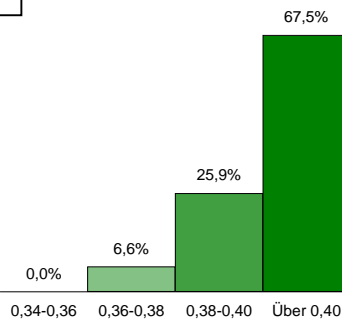
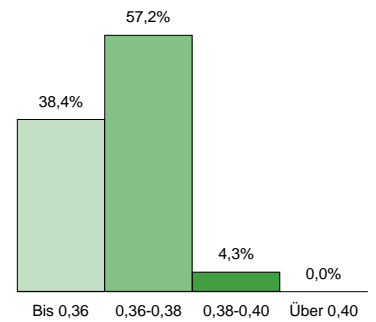
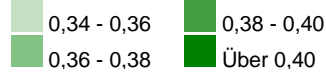


K 32: Teneur K du grain [%]

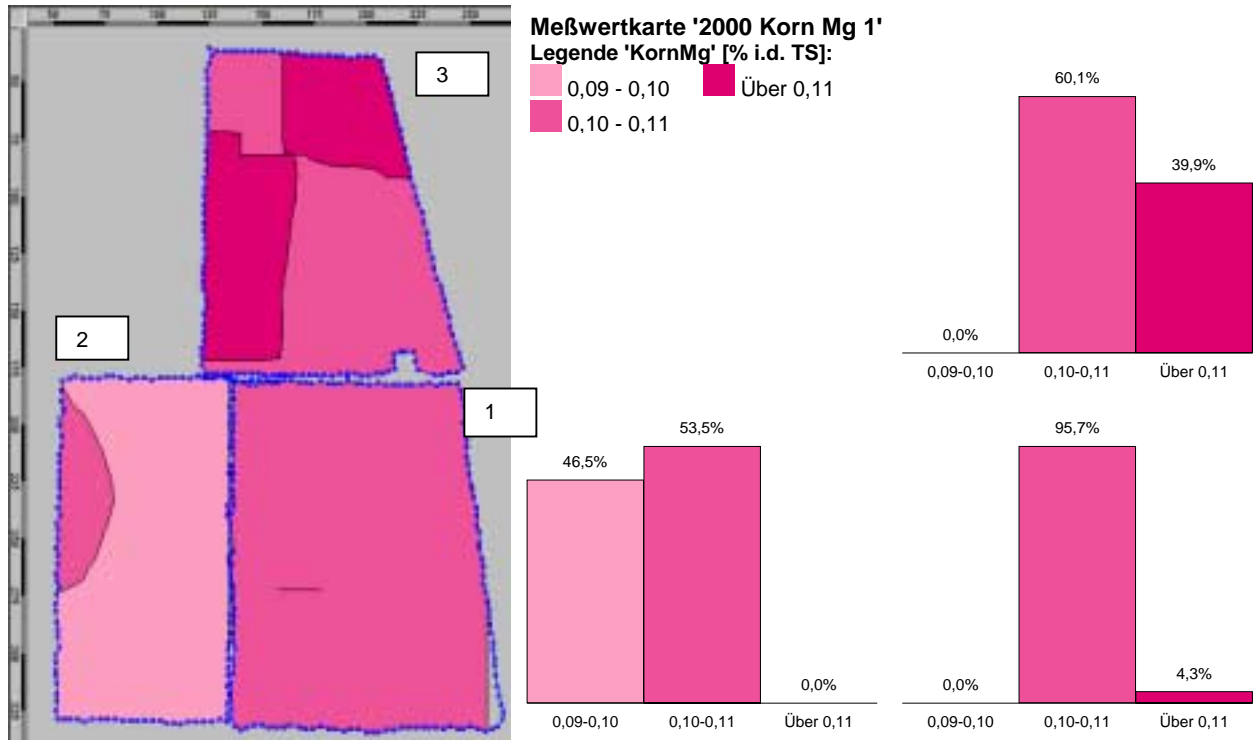


Meßwertkarte '2000 KornK 1'

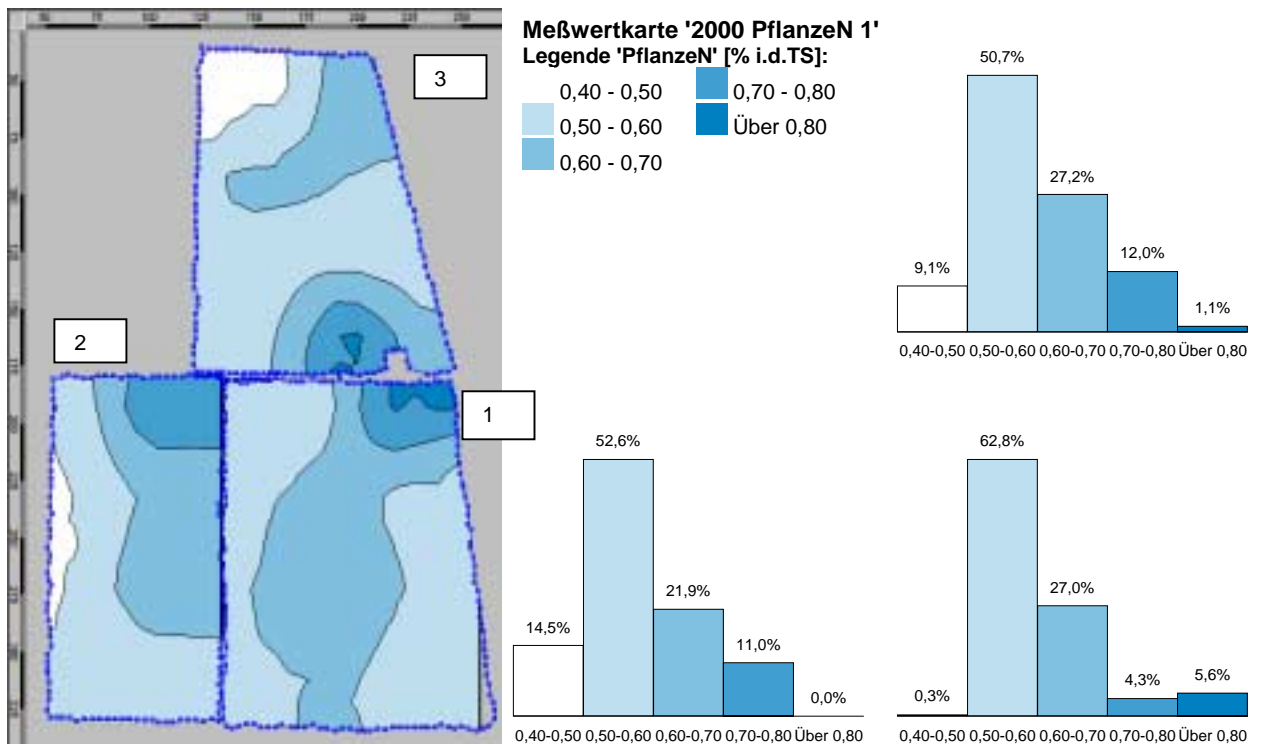
Legende 'KornK' [% i.d.TS]:



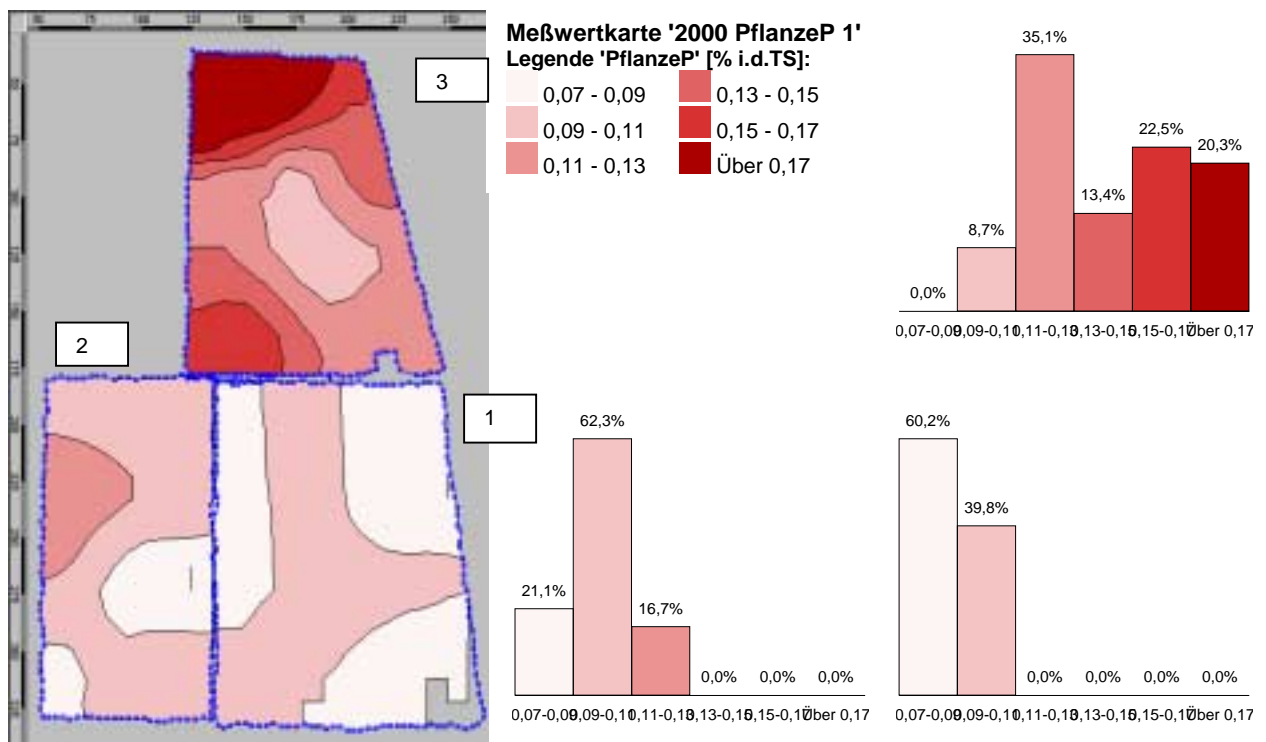
K 33: Teneur Mg du grain [%]



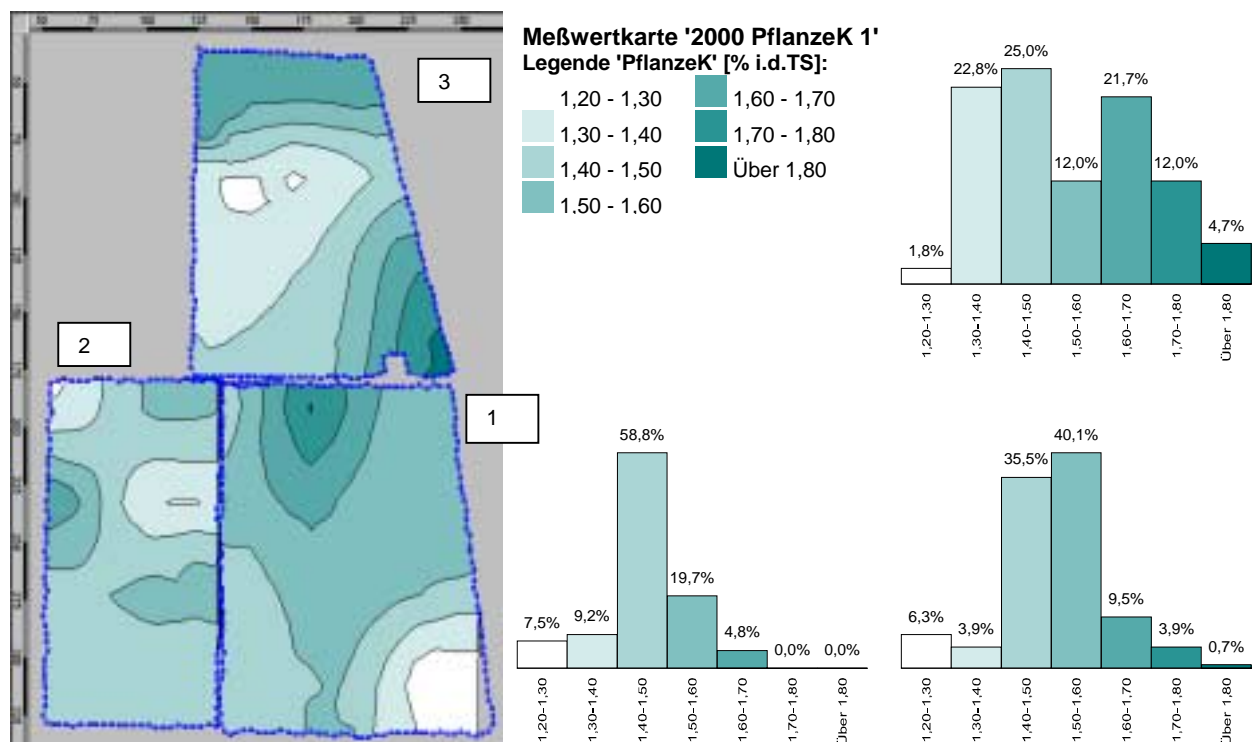
K 34: Teneur en N des plantes [%]



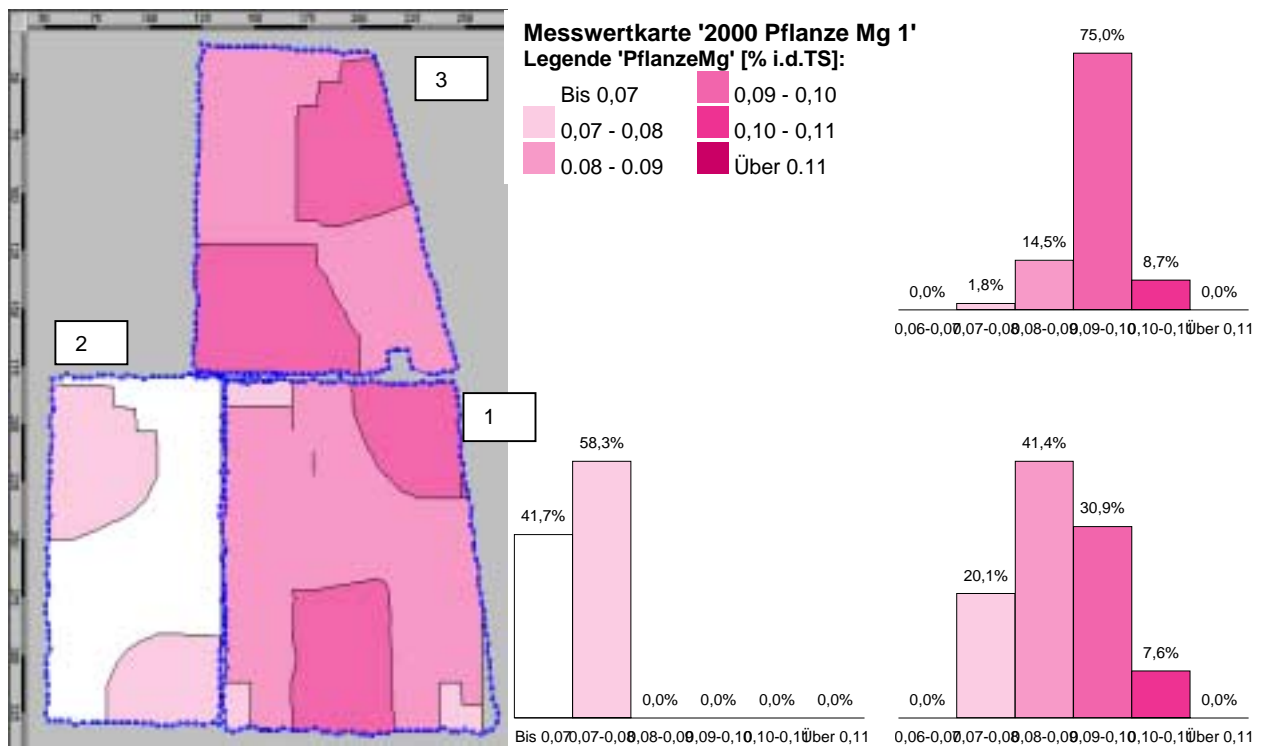
K 35: Teneur P des plantes [%]



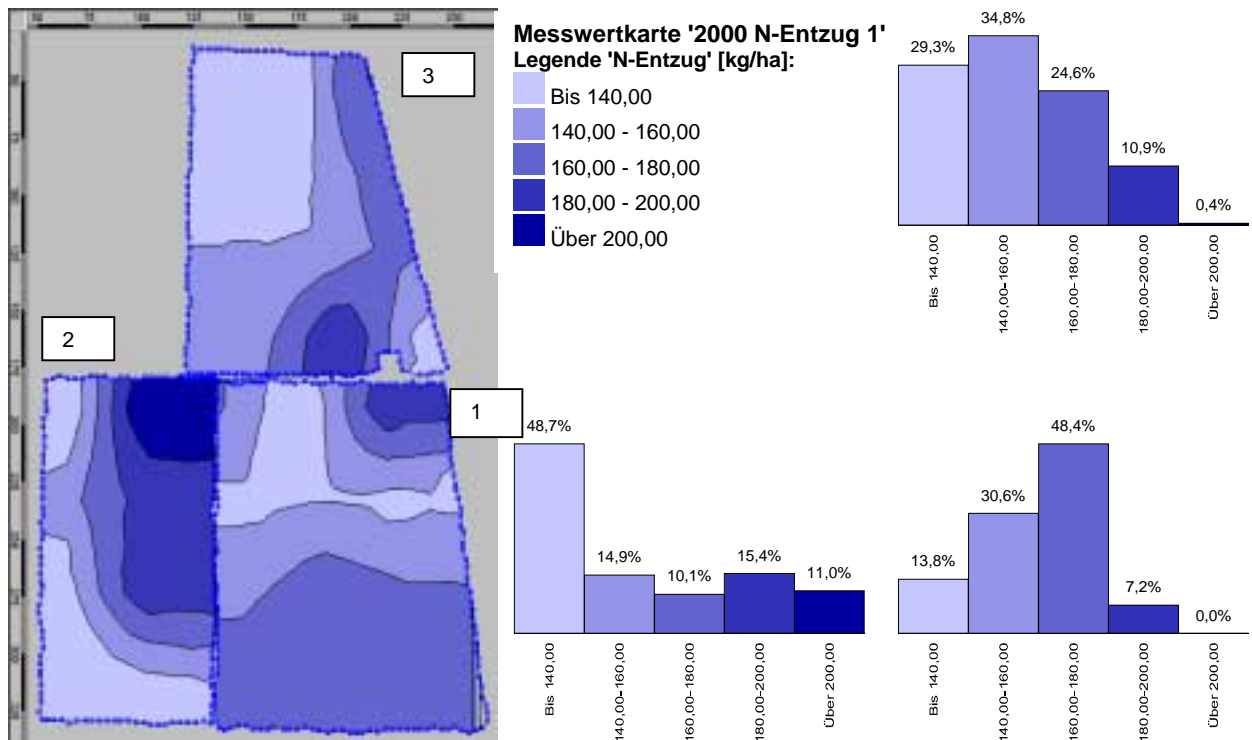
K 36: Teneur K des plantes [%]



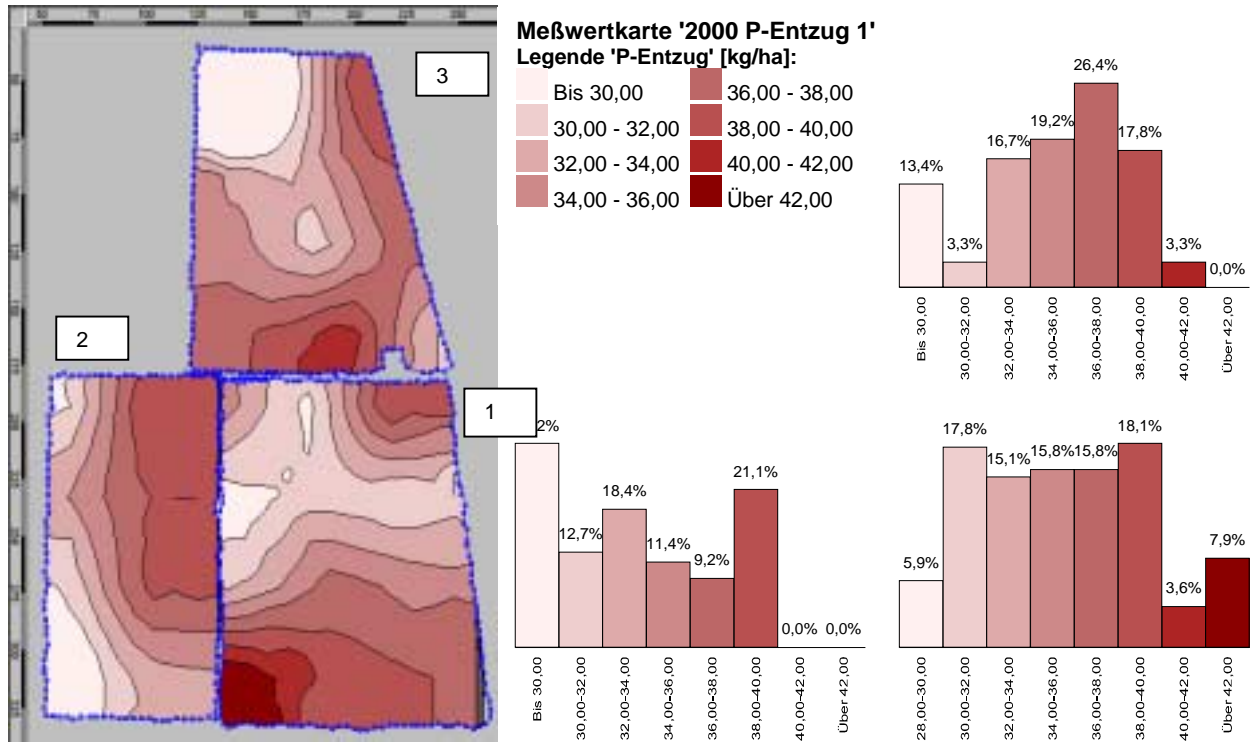
K 37: Teneur Mg des plantes [%]



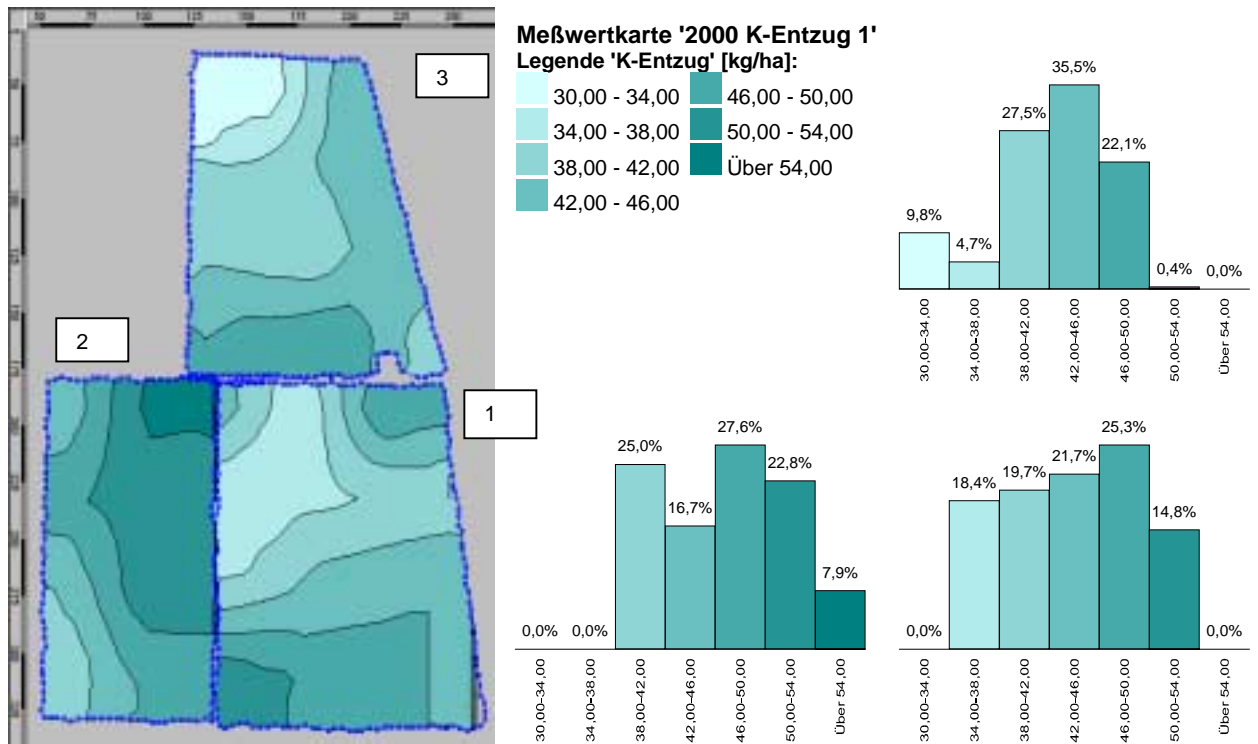
K 38: Absorptions N [kg/ha]



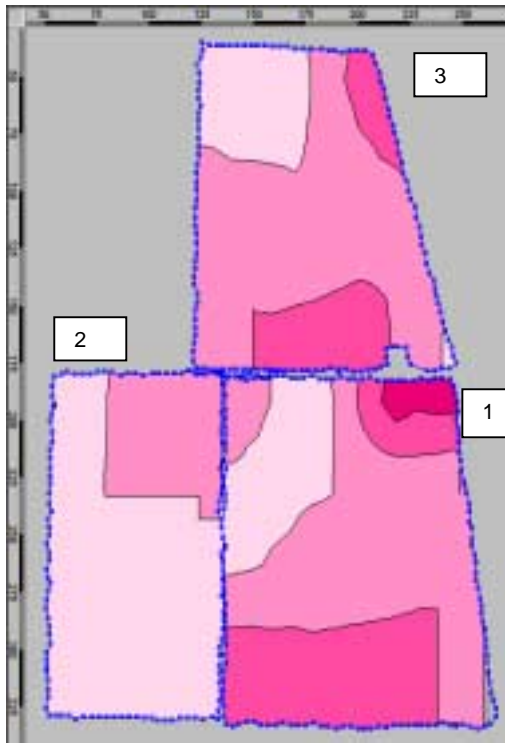
K 39: Absorptions P [kg/ha]



K 40: Absorptions K [kg/ha]

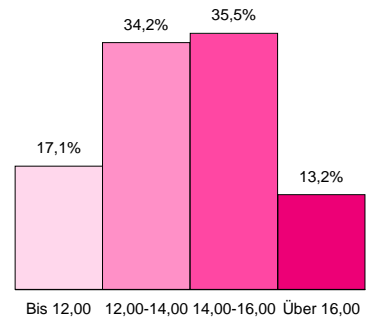
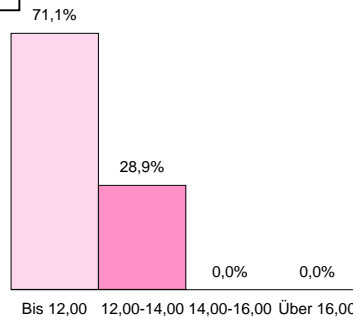
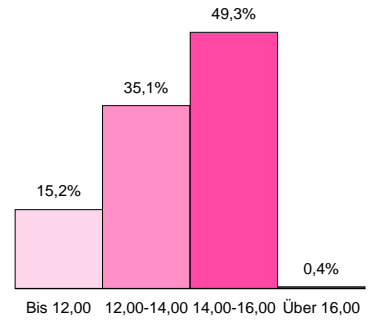


K 41: Absorptions Mg [kg/ha]



Messwertkarte '2000 Mg-Entzug 1
Legende 'Mg-Entzug' [kg/ha]:

Bis 12,00 14,00 - 16,00
 12,00 - 14,00 Über 16,00



A 4 : Tableaux de données

Tab. T 1 : Caractéristiques du sol et richesse du sol en éléments nutritifs des parcelles quadrillées en WSG de Weisweil, Moyenne des échantillons ouest et est

Parcelle	Point de la grille Nr.	Humus %	pH	P ₂ O ₅ mg/100g	K ₂ O mg/100g	Mg mg/100g	N total %	Argile %	Limon %	Sable %
I 1	1	1,65	7,40	38,0	42,5	9,0	0,105	26,9	50,6	22,5
I 1	2	1,60	7,40	31,5	36,5	9,0	0,105	26,4	50,4	23,2
I 1	3	1,60	7,50	31,5	34,0	8,0	0,105	26,4	51,6	22,0
I 1	4	1,65	7,50	26,0	35,5	8,0	0,110	25,2	54,0	20,8
I 1	5	1,60	7,50	34,0	44,0	7,0	0,110	26,1	52,2	21,7
I 1	6	1,65	7,50	34,5	34,0	7,5	0,110	24,5	53,6	21,9
I 1	7	1,85	7,40	47,0	42,5	8,0	0,120	25,5	54,3	20,2
I 1	8	1,80	7,40	42,5	37,5	9,0	0,115	26,4	55,1	18,5
I 1	9	1,75	7,50	39,5	40,0	7,0	0,110	21,6	56,8	21,6
I 1	10	1,85	7,50	40,5	36,5	7,0	0,115	24,6	56,6	18,8
I 1	11	1,85	7,45	40,0	37,5	8,0	0,115	24,5	57,1	18,4
I 1	12	1,70	7,35	38,0	30,0	11,0	0,110	25,9	56,7	17,4
Moyenne		1,71	7,45	36,9	37,5	8,2	0,111	25,3	54,1	20,6
Min		1,60	7,35	26,0	30,0	7,0	0,105	21,6	51,6	17,4
Max		1,85	7,50	47,0	44,0	11,0	0,120	26,9	57,1	23,2
Ecart type		0,10	0,05	5,4	3,9	1,1	0,004	1,4	2,4	1,8
CV	[%]	6	1	15	10	13	4	5	4	9
I 2	1	1,50	7,35	30,5	35,5	7,0	0,100	21,7	49,6	28,7
I 2	2	1,55	7,20	25,0	29,5	11,0	0,105	23,1	50,2	26,7
I 2	3	1,75	7,20	25,5	34,0	12,0	0,120	26,7	49,4	23,9
I 2	4	1,85	7,20	27,0	31,0	12,5	0,120	27,0	50,6	22,4
I 2	5	1,70	7,50	25,0	36,5	8,0	0,110	22,6	53,4	24,0
I 2	6	1,80	7,40	31,5	31,5	9,0	0,110	24,3	50,1	25,6
I 2	7	1,80	7,40	30,5	35,5	8,0	0,110	21,8	55,2	23,0
I 2	8	2,00	7,35	29,5	29,0	9,5	0,095	26,1	50,2	23,7
Moyenne		1,74	7,33	28,1	32,8	9,6	0,109	24,2	51,1	24,8
Min		1,50	7,20	25,0	29,0	7,0	0,095	21,7	49,4	22,4
Max		2,00	7,50	31,5	36,5	12,5	0,120	27,0	55,2	28,7
Ecart type			0,11	2,6	2,7	1,9	0,008	2,0	1,9	2,0
CV	[%]	9	1	9	8	20	8	9	4	8
I 3	1	1,80	7,45	29,5	39,0	8,0	0,110	22,1	55,2	22,7
I 3	2	1,65	7,30	36,0	35,5	9,0	0,110	23,2	55,3	21,5
I 3	3	1,75	7,25	35,0	36,5	11,0	0,110	24,5	54,0	21,5
I 3	4	1,75	7,40	43,5	43,0	8,5	0,115	24,2	51,9	23,9
I 3	5	1,55	7,50	27,5	36,5	7,0	0,100	21,6	58,6	19,8
I 3	6	1,50	7,40	28,0	32,0	8,0	0,095	25,5	49,6	24,9
I 3	7	1,50	7,40	27,0	34,5	8,0	0,100	23,6	50,9	25,5
I 3	8	1,55	7,50	22,0	29,5	7,0	0,100	21,8	50,2	28,0
I 3	9	1,50	7,40	32,5	31,5	8,0	0,100	25,9	48,6	25,5
I 3	10	1,60	7,50	21,0	31,0	7,0	0,105	22,3	51,8	25,9
Moyenne		1,62	7,41	30,2	34,9	8,2	0,105	23,5	52,6	23,9
Min		1,50	7,25	21,0	29,5	7,0	0,095	21,6	48,6	19,8
Max		1,80	7,50	43,5	43,0	11,0	0,115	25,9	58,6	28,0
Ecart type		0,11	0,08	6,4	3,9	1,1	0,006	1,5	2,9	2,4
CV	[%]	5	1	24	13	13	1	6	6	10

Les paramètres des 6 premières colonnes ont été analysés à partir d'échantillon ouest (à l'ouest du point de la grille) et un échantillon est (à l'est du point de la grille). Cf. Tab A2 und A3.

Tab. T 2: Caractéristiques du sol et richesse du sol en éléments nutritifs des parcelles quadrilées en WSG de Weisweil – échantillons ouest

Parcelle et point de grille Nr.	Humu s	Type de sol	pH	P ₂ O ₅ mg/ 100g	Riche sse P ₂ O ₅	K ₂ O mg/ 100g	Riche sse K ₂ O	Mg mg/ 100g	Riche sse Mg	N total %	Argile %	Limon %	Sable %
I 1 1	1,6	uL	7,4	34	D	41	E	9	C	0,1	26,9	50,6	22,5
I 1 2	1,6	uL	7,4	29	D	36	E	9	C	0,1	26,4	50,4	23,2
I 1 3	1,6	uL	7,5	29	D	33	D	8	C	0,1	26,4	51,6	22,0
I 1 4	1,7	uL	7,5	26	D	36	E	8	C	0,11	25,2	54,0	20,8
I 1 5	1,6	uL	7,5	35	E	46	E	7	B	0,11	26,1	52,2	21,7
I 1 6	1,6	uL	7,5	34	D	32	D	7	B	0,11	24,5	53,6	21,9
I 1 7	1,8	uL	7,4	48	E	41	E	8	C	0,12	25,5	54,3	20,2
I 1 8	1,8	uL	7,4	44	E	37	E	9	C	0,11	26,4	55,1	18,5
I 1 9	1,7	uL	7,5	32	D	41	E	7	B	0,11	21,6	56,8	21,6
I 1 10	1,7	uL	7,5	39	E	37	E	7	B	0,11	24,6	56,6	18,8
I 1 11	1,7	uL	7,5	37	E	40	E	8	C	0,11	24,5	57,1	18,4
I 1 12	1,7	uL	7,4	36	E	31	D	11	C	0,1	25,9	56,7	17,4
I 1 1	1,5	sL	7,3	27	D	37	E	7	B	0,1	21,7	49,6	28,7
I 1 2	1,5	sL	7,2	24	C	29	D	11	C	0,1	23,1	50,2	26,7
I 1 3	1,7	uL	7,2	25	D	34	D	12	C	0,12	26,7	49,4	23,9
I 1 4	1,8	uL	7,2	26	D	30	D	12	C	0,12	27,0	50,6	22,4
I 1 5	1,7	uL	7,5	26	D	41	E	8	C	0,11	22,6	53,4	24,0
I 1 6	1,8	uL	7,4	30	D	34	D	9	C	0,11	24,3	50,1	25,6
I 1 7	1,9	uL	7,4	31	D	39	E	8	C	0,11	21,8	55,2	23,0
I 1 8	1,5	uL	7,4	29	D	30	D	9	C	0,1	26,1	50,2	23,7
I 1 1	1,8	uL	7,5	28	D	40	E	8	C	0,11	22,1	55,2	22,7
I 1 2	1,7	uL	7,3	36	E	36	E	9	C	0,11	23,2	55,3	21,5
I 1 3	1,8	uL	7,3	36	E	37	E	11	C	0,11	24,5	54,0	21,5
I 1 4	1,8	uL	7,4	46	E	42	E	9	C	0,11	24,2	51,9	23,9
I 1 5	1,6	uL	7,5	30	D	35	D	7	B	0,1	21,6	58,6	19,8
I 1 6	1,5	uL	7,4	30	D	33	D	8	C	0,1	25,5	49,6	24,9
I 1 7	1,5	uL	7,4	26	D	33	D	8	C	0,1	23,6	50,9	25,5
I 1 8	1,6	uL	7,5	22	C	27	D	7	B	0,1	21,8	50,2	28,0
I 1 9	1,5	uL	7,4	32	D	28	D	8	C	0,1	25,9	48,6	25,5
I 1 10	1,6	uL	7,5	22	C	29	D	7	B	0,1	22,3	51,8	25,9
Moyenne	1,7		7,4	31		34		8		0,10	23,6	52,6	23,8
Min	1,5		7,3	22		27		7		0,10	21,6	48,6	19,8
Max	1,9		7,5	46		42		11		0,11	26,1	58,6	28,0
Ecart type.	0,1		0,1	6		5		1		0,01	1,6	2,9	2,2
CV [%]	8		1	21		14		13		6	7	5	9

Tab. T 3: Caractéristiques du sol et richesse du sol en éléments nutritifs des parcelles quadrilées en WSG de Weisweil – échantillons est

Parcelle et point de grille Nr.	Humus %	Bodenart	pH-Wert	P ₂ O ₅ mg/100g	P ₂ O ₅ Stufe	K ₂ O mg/100g	K ₂ O Stufe	Mg mg/100g	Mg Stufe	Gesamt-N %
I 1 1	1,7	uL	7,4	42	E	44	E	9	C	0,11
I 1 2	1,6	uL	7,4	34	D	37	E	9	C	0,11
I 1 3	1,6	uL	7,5	34	D	35	D	8	C	0,11
I 1 4	1,6	uL	7,5	26	D	35	D	8	C	0,11
I 1 5	1,6	uL	7,5	33	D	42	E	7	B	0,11
I 1 6	1,7	uL	7,5	35	E	36	E	8	C	0,11
I 1 7	1,9	uL	7,4	46	E	44	E	8	C	0,12
I 1 8	1,8	uL	7,4	41	E	38	E	9	C	0,12
I 1 9	1,8	uL	7,5	47	E	39	E	7	B	0,11
I 1 10	2,0	uL	7,5	42	E	36	E	7	B	0,12
I 1 11	2,0	uL	7,4	43	E	35	D	8	C	0,12
I 1 12	1,7	uL	7,3	40	E	29	D	11	C	0,1
I 2 1	1,5	uL	7,4	34	D	34	D	7	B	0,1
I 2 2	1,6	uL	7,2	26	D	30	D	11	C	0,11
I 2 3	1,8	uL	7,2	26	D	34	D	12	C	0,12
I 2 4	1,9	uL	7,2	28	D	32	D	13	C	0,12
I 2 5	1,7	uL	7,5	24	C	32	D	8	C	0,11
I 2 6	1,8	uL	7,4	33	D	29	D	9	C	0,11
I 2 7	1,7	uL	7,4	30	D	32	D	8	C	0,11
I 2 8	1,5	uL	7,3	30	D	28	D	10	C	0,1
I 3 1	1,8	uL	7,4	31	D	38	E	8	C	0,11
I 3 2	1,6	uL	7,3	36	E	35	D	9	C	0,11
I 3 3	1,7	uL	7,2	34	D	36	E	11	C	0,11
I 3 4	1,7	uL	7,4	41	E	44	E	8	C	0,12
I 3 5	1,5	uL	7,5	25	D	38	E	7	B	0,1
I 3 6	1,5	uL	7,4	26	D	31	D	8	C	0,09
I 3 7	1,5	uL	7,4	28	D	36	E	8	C	0,1
I 3 8	1,5	uL	7,5	22	C	32	D	7	B	0,1
I 3 9	1,5	uL	7,4	33	D	35	D	8	C	0,1
I 3 10	1,6	uL	7,5	20	C	33	D	7	B	0,11
Moyenne	1,6		7,4	30		35		8		0,11
Min	1,5		7,2	20		31		7		0,09
Max	1,8		7,5	41		44		11		0,12
Ecart type.	0,1		0,1	6		4		1		0,01
CV [%]	7		1	19		11		14		7

Tab. T 4: Caractéristiques des plantes et composantes du rendement du maïs grain des parcelles quadrillées en WSG Weisweil, résultats des parcelles récoltées en 2000

Parcelle et point de grille Nr.	MS [%] partie végétative des pailles	Humidité [%] partie végétative	Matière fraîche [q/ha] MS [q/ha] Partie végétative	Grain MS [%]	Humidité grain [%]	grains/ épis	Pl. par Hectare	épis/m ²	épis/Plante	grains/m ² Rendement MF grain [q/ha]	Rendement grain MS [q/ha]	grain à 14 % humidité [q/ha]	Rapport grain/ paille	PMG [g]		
I 1 1	33,5	66,5	304,2	101,9	75,3	24,7	499	90000	11	1,2	5485	164,3	123,7	143,9	1,2	300
I 1 2	32,5	67,5	241,0	82,1	76,3	23,7	365	80000	11	1,4	4016	123,7	98,8	114,9	1,2	308
I 1 3	35,2	64,8	259,8	95,4	76,0	24,0	500	90000	10	1,1	4995	146,9	116,7	135,6	1,2	294
I 1 4	35,2	64,8	328,9	122,0	75,0	25,0	503	90000	12	1,3	6034	183,4	143,9	167,3	1,2	304
I 1 5	32,2	67,8	255,7	86,5	74,8	25,2	617	70000	7	1,0	4321	125,5	98,4	114,4	1,1	290
I 1 6	33,2	66,8	249,9	87,1	74,5	25,5	438	80000	10	1,3	4382	132,1	103,1	119,9	1,2	301
I 1 7	35,9	64,1	324,2	121,2	73,8	26,2	393	90000	14	1,6	5504	170,0	131,4	152,8	1,1	309
I 1 8	36,4	63,6	301,0	114,9	75,0	25,0	445	90000	13	1,4	5783	170,1	133,3	155,0	1,2	294
I 1 9	34,4	65,6	316,1	114,5	70,8	29,2	699	80000	9	1,1	6293	195,5	145,4	169,1	1,3	311
I 1 10	37,2	62,8	233,8	91,7	72,5	27,5	613	90000	8	0,9	4901	138,6	105,5	122,7	1,2	283
I 1 11	36,8	63,2	251,9	97,4	75,2	24,8	530	80000	10	1,3	5297	157,5	124,0	144,2	1,3	297
I 1 12	37,8	62,2	271,3	107,6	76,7	23,3	357	80000	15	1,9	5356	158,8	127,5	148,2	1,2	296
I 2 1	29,0	71,0	290,9	88,8	70,6	29,4	616	100000	10	1,0	6164	131,5	97,2	113,0	1,1	213
I 2 2	35,1	64,9	270,4	99,5	71,1	28,9	693	80000	9	1,1	6237	156,1	116,4	135,4	1,2	250
I 2 3	34,2	65,8	225,8	81,4	69,9	30,1	626	80000	9	1,1	5636	140,3	102,8	119,6	1,3	249
I 2 4	38,4	61,6	176,1	70,8	69,4	30,6	638	90000	9	1,0	5743	130,4	95,0	110,5	1,3	227
I 2 5	32,7	67,3	325,2	111,1	70,7	29,3	547	90000	14	1,6	7662	196,3	145,7	169,4	1,3	256
I 2 6	37,5	62,5	277,5	109,3	69,4	30,6	674	80000	10	1,3	6744	184,7	134,4	156,3	1,2	274
I 2 7	43,6	56,4	239,3	109,0	72,1	27,9	708	90000	11	1,2	7786	182,5	137,9	160,4	1,3	234
I 2 8	34,6	65,4	313,6	113,3	70,1	29,9	681	90000	10	1,1	6805	151,3	111,4	129,5	1,0	222
I 3 1	30,9	69,1	287,5	93,7	79,3	24,2	612	80000	8	1,0	4899	137,6	109,2	126,9	1,2	281
I 3 2	34,7	65,3	289,4	105,2	78,2	25,4	565	100000	10	1,0	5645	162,1	126,7	147,3	1,2	287
I 3 3	37,3	62,7	301,7	118,3	81,0	22,4	554	90000	10	1,1	5538	157,1	127,3	148,0	1,1	284
I 3 4	34,2	65,8	292,4	105,4	79,0	24,5	638	90000	8	0,9	5105	157,9	124,7	145,0	1,2	309
I 3 5	35,1	64,9	343,1	125,7	79,9	23,8	566	80000	10	1,3	5664	179,3	143,3	166,6	1,1	317
I 3 6	37,0	63,0	278,9	108,4	82,3	21,2	498	80000	10	1,3	4985	143,3	117,9	137,1	1,1	287
I 3 7	36,4	63,6	230,3	88,3	81,1	22,5	553	80000	8	1,0	4421	126,5	102,6	119,3	1,2	286
I 3 8	34,4	65,6	240,9	86,4	82,3	21,2	470	80000	8	1,0	3759	105,4	86,8	100,9	1,0	280
I 3 9	37,1	62,9	156,3	60,5	79,3	24,4	616	90000	9	1,0	5542	158,8	125,9	146,3	2,1	287
I 3 10	40,9	59,1	263,0	112,1	79,8	23,7	563	80000	9	1,1	5068	142,3	113,6	132,1	1,0	281
Moyenne	35,4	64,6	271,3	100,3	75,4	25,8	559	85333	10	1,2	5526	153,7	119,0	138,4	1,2	280
Min	29,0	56,4	156,3	60,5	69,4	21,2	357	70000	7	0,9	3759	105,4	86,8	100,9	1,0	213
Max	43,6	71,0	343,1	125,7	82,3	30,6	708	100000	15	1,9	7786	196,3	145,7	169,4	2,1	317
Ecart type.	2,8	2,8	42,4	15,5	4,0	2,8	96	6700	2	0,2	930	22,3	16,3	19,0	0,2	27
CV [%]	8	4	16	15	5	11	17	8	19	18	17	15	14	14	15	10

Tab. T 5: Valeurs des analyses statistiques sur les données pour les plantes et les composants du rendement pour le maïs grain des parcelles quadrillées en WSG Weisweil, résultats des parcelles récoltées en 2000

Parcelle	Crrière statistique partie	Humidité végétative des pailles [%]	Humidité végétative Matière fraîche [q/ha]	MS [g/ha]	Partie végétative	Grain MS [%]	Humidité grain [%]	grains/ épis	Pl. par Hectare	épis/m ²	épis/Plante	grains/m ²	Rendement MF grain [q/ha]	Rendement grain MS [q/ha]	grain à 14 % humidité [q/ha]	Rapport grain/ paille	PMG [g]
I 1	Moyenne	33,5	65,0	278,2	101,9	74,7	25,3	497	84167	11	1,3	5197	155,5	121,0	140,7	1,2	299
	Min	32,5	62,2	233,8	86,5	70,8	23,3	357	70000	7	0,9	4321	125,5	98,4	114,4	1,1	283
	Max	35,2	67,8	328,9	122,0	76,7	29,2	699	90000	15	1,9	6293	195,5	145,4	169,1	1,3	311
	Ecart type.	35,2	1,8	33,0	13,4	1,6	1,6	102	6401	2	0,3	672	21,8	15,9	18,5	0,1	8
	CV [%]	32	3	12	13	2	6	20	8	21	20	13	14	13	13	4	3
I 2	Moyenne	33,2	64,4	264,9	97,9	70,4	29,6	648	87500	10	1,2	6597	159,1	117,6	136,8	1,2	241
	Min	35,9	56,4	176,1	70,8	69,4	27,9	547	80000	9	1,0	5636	130,4	95,0	110,5	1,0	213
	Max	36,4	71,0	325,2	113,3	72,1	30,6	708	100000	14	1,6	7786	196,3	145,7	169,4	1,3	274
	Ecart type.	34,4	4,0	46,0	14,8	0,9	0,9	49	6614	2	0,2	757	24,0	18,3	21,3	0,1	19
	CV [%]	37	6	17	15	1	3	8	8	15	14	11	15	16	16	9	8
I 3	Moyenne	36,8	64,2	268,4	100,4	80,2	23,3	564	85000	9	1,1	5063	147,0	117,8	137,0	1,2	290
	Min	37,8	59,1	156,3	60,5	78,2	21,2	470	80000	8	0,9	3759	105,4	86,8	100,9	1,0	280
	Max	35,0	69,1	343,1	125,7	82,3	25,4	638	100000	10	1,3	5664	179,3	143,3	166,6	2,1	317
	Ecart type.	32,2	2,5	47,9	17,9	1,3	1,4	49	6708	1	0,1	575	19,8	14,9	17,3	0,3	12
	CV [%]	38	4	18	18	2	6	9	8	10	11	11	13	13	13	25	4

Tab. T 6: Teneurs en éléments nutritifs sur les parcelles quadrillées en WSG Weisweil, résultats des parcelles récoltées en 2000

Parcelle et point de grille Nr.	Grain					Reste de la plante				
	N	P [% dans MS]	K	Mg	TS [%]	N	P [% dans.MS]	K	Mg	TS [%]
I 1 1	1,31	0,28	0,36	0,11	89,20	0,53	0,08	1,43	0,08	92,2
I 1 2	1,37	0,29	0,35	0,11	89,20	0,54	0,08	1,57	0,09	92,1
I 1 3	1,29	0,27	0,32	0,10	89,30	0,60	0,08	1,43	0,09	92,1
I 1 4	1,23	0,30	0,37	0,11	89,20	0,58	0,1	1,43	0,08	92,2
I 1 5	1,22	0,29	0,35	0,10	88,80	0,50	0,1	1,82	0,08	92,1
I 1 6	1,35	0,30	0,36	0,11	88,90	0,67	0,1	1,61	0,08	92,1
I 1 7	1,32	0,28	0,34	0,10	89,20	0,68	0,1	1,58	0,09	92,3
I 1 8	1,34	0,29	0,36	0,11	89,50	0,61	0,09	1,51	0,1	91,8
I 1 9	1,35	0,27	0,34	0,11	87,40	0,82	0,08	1,56	0,1	92,6
I 1 10	1,25	0,28	0,36	0,11	89,10	0,56	0,07	1,51	0,09	92,0
I 1 11	1,30	0,28	0,37	0,11	89,60	0,59	0,1	1,53	0,09	92,3
I 1 12	1,34	0,30	0,36	0,11	89,50	0,54	0,07	1,21	0,08	92,2
I 2 1	1,10	0,30	0,44	0,11	89,20	0,49	0,13	1,69	0,08	92,4
I 2 2	1,30	0,29	0,42	0,10	88,40	0,51	0,1	1,28	0,07	92,2
I 2 3	1,23	0,29	0,41	0,10	88,20	0,49	0,11	1,44	0,06	92,6
I 2 4	1,19	0,29	0,41	0,10	87,70	0,51	0,08	1,45	0,06	92,6
I 2 5	1,51	0,27	0,38	0,09	87,90	0,78	0,1	1,53	0,07	92,4
I 2 6	1,37	0,28	0,39	0,09	87,80	0,61	0,11	1,29	0,07	92,5
I 2 7	1,44	0,28	0,38	0,09	88,40	0,68	0,07	1,55	0,06	92,1
I 2 8	1,20	0,30	0,42	0,10	88,10	0,53	0,11	1,41	0,08	92,1
I 3 1	1,18	0,29	0,36	0,11	88,30	0,63	0,13	1,82	0,09	92,4
I 3 2	1,30	0,30	0,35	0,11	87,90	0,51	0,11	1,66	0,08	91,5
I 3 3	1,33	0,29	0,35	0,11	88,20	0,59	0,15	1,39	0,1	90,8
I 3 4	1,46	0,32	0,37	0,12	88,70	0,71	0,15	1,7	0,09	92,0
I 3 5	1,43	0,29	0,35	0,11	88,50	0,84	0,12	1,51	0,09	91,5
I 3 6	1,22	0,26	0,33	0,10	88,30	0,54	0,09	1,41	0,09	91,3
I 3 7	1,26	0,31	0,40	0,11	87,70	0,64	0,1	1,27	0,09	92,1
I 3 8	1,07	0,29	0,36	0,11	88,50	0,46	0,23	1,67	0,09	92,3
I 3 9	1,15	0,30	0,38	0,11	88,60	0,54	0,17	1,42	0,1	92,3
I 3 10	1,23	0,31	0,36	0,12	88,50	0,58	0,13	1,31	0,09	92,4
Moyenne	1,29	0,29	0,37	0,11	88,59	0,60	0,108	1,50	0,08	92,1
Min	1,07	0,26	0,32	0,09	87,40	0,46	0,07	1,21	0,06	90,8
Max	1,51	0,32	0,44	0,12	89,60	0,84	0,23	1,82	0,1	92,6
Ecart type.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,4
CV [%]	8	4	7	8	1	16	31	10	14	0

Tab. T 7: Valeurs des analyses statistiques pour les teneurs en éléments nutritifs du maïs grain sur les parcelles quadrillées en WSG Weisweil, résultats 2000

Parcelle	Donnée statistique	Grain				Reste des plantes			
		N	P [% de la MS]	K	Mg	N	P [% de la MS]	K	Mg
I 1	Moyenne	1,3	0,3	0,4	0,1	0,6	0,1	1,5	0,1
	Min	1,2	0,3	0,3	0,1	0,5	0,1	1,2	0,1
	Max	1,4	0,3	0,4	0,1	0,8	0,1	1,8	0,1
	Ecart type.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
	CV [%]	4	4	4	5	14	13	9	8
I 2	Moyenne	1,3	0,3	0,4	0,1	0,6	0,1	1,5	0,1
	Min	1,1	0,3	0,4	0,1	0,5	0,1	1,3	0,1
	Max	1,5	0,3	0,4	0,1	0,8	0,1	1,7	0,1
	Ecart type.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
	CV [%]	10	3	5	7	17	17	9	11
I 3	Moyenne	1,3	0,3	0,4	0,1	0,6	0,1	1,5	0,1
	Min	1,1	0,3	0,3	0,1	0,5	0,1	1,3	0,1
	Max	1,5	0,3	0,4	0,1	0,8	0,2	1,8	0,1
	Ecart type.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
	CV [%]	9	5	5	5	17	28	12	6

Tab. T 8: Analyse statistique par parcelle des teneurs en éléments nutritifs du maïs grain sur les parcelles quadrillées de WSG Weisweil, résultats 2000

Parcelle	Valeur statistique	Absorption grain [kg/ha]				Absorption par la plante entière [kg/ha]			
		N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
I 1	Moyenne	158,0	34,7	42,7	13,3	291,1	64,0	78,6	24,4
	Min	120,0	28,8	34,3	10,0	225,6	54,1	64,5	18,7
	Max	196,3	43,6	53,2	16,6	350,9	80,5	98,4	29,8
	Ecart type.	21,9	4,6	6,0	2,0	39,4	8,6	10,8	3,5
	CV [%]	14	13	14	15	14	13	14	14
I 2	Moyenne	154,3	33,9	47,4	11,5	282,0	62,1	86,9	21,2
	Min	106,9	27,1	39,0	9,8	197,3	47,3	68,1	17,0
	Max	220,0	39,8	54,7	13,3	387,8	70,1	96,4	23,4
	Ecart type.	39,3	4,5	5,4	1,1	66,8	8,0	10,0	2,1
	CV [%]	25	13	11	9	24	13	12	10
I 3	Moyenne	142,2	32,0	40,6	12,2	260,2	58,3	74,1	21,9
	Min	13,8	4,5	5,4	1,1	13,5	8,0	10,0	2,1
	Max	220,0	43,6	54,7	16,6	387,8	80,5	98,4	30,4
	Ecart type.	49,5	9,1	12,1	3,2	92,2	18,0	23,3	6,1
	CV [%]	35	28	30	26	35	31	31	28

Tab. T 9: Prélèvements en éléments nutritifs sur les parcelles quadrillées de la WSG Weisweil, résultats 2000

Parcelle et point de la grille Nr.	Absorption grain [kg/ha]				Absorption par la plante entière [kg/ha]			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
I 1 1	162	35	44	14	296	63	81	25
I 1 2	135	29	34	11	248	53	63	20
I 1 3	150	31	38	12	274	57	69	21
I 1 4	177	44	53	16	327	80	98	30
I 1 5	120	29	34	10	226	54	65	19
I 1 6	139	31	37	12	257	58	68	21
I 1 7	173	37	44	13	333	71	85	25
I 1 8	179	39	48	15	333	72	89	28
I 1 9	196	40	50	17	351	71	89	30
I 1 10	132	30	38	12	246	55	71	22
I 1 11	161	35	46	14	288	62	82	25
I 1 12	171	38	46	14	315	71	84	26
I 2 1	107	29	42	11	205	56	81	21
I 2 2	151	34	49	12	281	63	90	22
I 2 3	126	30	42	10	227	54	75	19
I 2 4	113	27	39	10	197	47	68	17
I 2 5	220	40	55	13	388	70	96	23
I 2 6	184	38	52	12	334	69	94	22
I 2 7	199	39	53	12	356	70	95	22
I 2 8	134	33	47	11	270	66	94	23
I 3 1	129	32	40	12	239	60	74	23
I 3 2	165	37	45	14	302	69	82	26
I 3 3	169	38	45	14	327	72	86	28
I 3 4	182	40	46	15	336	74	85	28
I 3 5	205	42	50	16	385	79	94	30
I 3 6	144	31	39	12	276	59	74	23
I 3 7	129	32	41	12	241	59	76	22
I 3 8	93	25	31	10	185	51	63	20
I 3 9	145	38	48	14	214	57	72	21
I 3 10	140	35	41	14	278	69	82	28
Moyenne	154	35	44	13	284	64	81	24
Min	93	25	31	10	185	47	63	17
Max	220	44	55	17	388	80	98	30
Ecart type.	30	5	6	2	54	8	11	4
CV [%]	20	13	14	15	19	13	13	15

Tab. T 10: Calcul des besoins en fertilisation azotée (NID), ex. de la parcelle I 2 en 2000.

N-BEDARF 3.0 (Stand 04/99)

EXCEL-Anwendung zur Ermittlung des Stickstoffdüngedarfs von Ackerkulturen
LEL Schwäbisch Gmünd, LAP Forchheim mit IFUL Müllheim
- Bildschirmausgabe -

Betrieb: <input style="width: 200px;" type="text"/>		Schlag/Bewirtschaft.: <input style="width: 50px;" type="text" value="I 2"/>	
Kultur: Körnermais		Wasserschutzgebiet: <input style="width: 50px;" type="text" value="ja"/>	

<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Zurück Ergebnis</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Duden</div> </div> <div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">kg N/ha</div> <p>Ertragsbewertung (dt/ha) <input style="width: 50px;" type="text" value="110"/> (begrenzt durch Minimal- und Maximalwerte)</p> <p>Entzugswert (kg N/dt Ertrag) × <input style="width: 50px;" type="text" value="2,20"/></p> <p>N-Entzug = <input style="width: 50px;" type="text" value="242"/></p> <p>Zuschlag f. nicht erntbare Restpflanze + <input style="width: 50px;" type="text" value="20"/></p> <hr/> <p>Stickstoffbedarf = <input style="width: 50px;" type="text" value="262"/></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Zurück Ergebnis</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Duden</div> </div>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">- Gegebene Unterfußdüngung (UFD) <small>Anrechnung max. 20 kg N/ha!</small></td> <td style="width: 20%; text-align: right;">- <input style="width: 50px;" type="text" value="20"/></td> </tr> <tr> <td>- N-min Bodenvorrat im Frühjahr <small>(bei Markt bis Mitte Juni)</small></td> <td style="text-align: right;">- <input style="width: 50px;" type="text" value="45"/></td> </tr> <tr> <td>- N-Lieferung des Bodens</td> <td style="text-align: right;">- <input style="width: 50px;" type="text" value="50"/></td> </tr> <tr> <td>aus langjähriger organischer Düngung</td> <td style="text-align: right;">- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td>aus Ernteresten der Vorfrucht Körnermais</td> <td style="text-align: right;">- <input style="width: 50px;" type="text" value="10"/> *</td> </tr> <tr> <td>aus Zwischenfrüchten und aus organischer oder mineralischer N-Düngung ab Ernte der Vorfrucht ohne Zwischenfrucht keine N-Düngung</td> <td style="text-align: right;">- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/> *</td> </tr> <tr> <td>= N-Düngung nach guter fachlicher Praxis <small>organisch und mineralisch (begrenzt durch Minimal- und Maximalwerte)</small></td> <td style="text-align: right;">= <input style="width: 50px;" type="text" value="137"/></td> </tr> <tr> <td>N-Düngung im Wasserschutzgebiet <small>(-20 % Risikoabschlag) (begrenzt durch Minimal- und Maximalwerte)</small></td> <td style="text-align: right;">= <input style="width: 50px;" type="text" value="110"/></td> </tr> <tr> <td>- Organische Düngung im Erntejahr</td> <td style="text-align: right;">- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td>= Mineralischer N-Düngebedarf</td> <td style="text-align: right;"><input style="width: 50px;" type="text" value="110"/></td> </tr> </table> <p style="text-align: right; font-size: small;">* Zusammen max. 40</p>	- Gegebene Unterfußdüngung (UFD) <small>Anrechnung max. 20 kg N/ha!</small>	- <input style="width: 50px;" type="text" value="20"/>	- N-min Bodenvorrat im Frühjahr <small>(bei Markt bis Mitte Juni)</small>	- <input style="width: 50px;" type="text" value="45"/>	- N-Lieferung des Bodens	- <input style="width: 50px;" type="text" value="50"/>	aus langjähriger organischer Düngung	- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>	aus Ernteresten der Vorfrucht Körnermais	- <input style="width: 50px;" type="text" value="10"/> *	aus Zwischenfrüchten und aus organischer oder mineralischer N-Düngung ab Ernte der Vorfrucht ohne Zwischenfrucht keine N-Düngung	- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/> *	= N-Düngung nach guter fachlicher Praxis <small>organisch und mineralisch (begrenzt durch Minimal- und Maximalwerte)</small>	= <input style="width: 50px;" type="text" value="137"/>	N-Düngung im Wasserschutzgebiet <small>(-20 % Risikoabschlag) (begrenzt durch Minimal- und Maximalwerte)</small>	= <input style="width: 50px;" type="text" value="110"/>	- Organische Düngung im Erntejahr	- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>	= Mineralischer N-Düngebedarf	<input style="width: 50px;" type="text" value="110"/>
- Gegebene Unterfußdüngung (UFD) <small>Anrechnung max. 20 kg N/ha!</small>	- <input style="width: 50px;" type="text" value="20"/>																				
- N-min Bodenvorrat im Frühjahr <small>(bei Markt bis Mitte Juni)</small>	- <input style="width: 50px;" type="text" value="45"/>																				
- N-Lieferung des Bodens	- <input style="width: 50px;" type="text" value="50"/>																				
aus langjähriger organischer Düngung	- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>																				
aus Ernteresten der Vorfrucht Körnermais	- <input style="width: 50px;" type="text" value="10"/> *																				
aus Zwischenfrüchten und aus organischer oder mineralischer N-Düngung ab Ernte der Vorfrucht ohne Zwischenfrucht keine N-Düngung	- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/> *																				
= N-Düngung nach guter fachlicher Praxis <small>organisch und mineralisch (begrenzt durch Minimal- und Maximalwerte)</small>	= <input style="width: 50px;" type="text" value="137"/>																				
N-Düngung im Wasserschutzgebiet <small>(-20 % Risikoabschlag) (begrenzt durch Minimal- und Maximalwerte)</small>	= <input style="width: 50px;" type="text" value="110"/>																				
- Organische Düngung im Erntejahr	- <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>																				
= Mineralischer N-Düngebedarf	<input style="width: 50px;" type="text" value="110"/>																				

LES CULTURES

AGRICULTURE DE PRÉCISION

Moduler les doses de semis et d'engrais

Jean Fumery et Emmanuel Wambergue réalisent des semis de blés modulés selon le taux d'argile. Ils font varier la dose d'azote sur colza et blé, ainsi que celle des engrais de fond.

« C'est un système prenant et qui relève encore du développement, prévient Emmanuel Wambergue. Jean y passe parfois ses nuits. » Emmanuel Wambergue et Jean Fumery, céréaliers dans les Yvelines (1), sur 120 ha chacun, se sont lancés en 1998 dans la grande aventure de l'agriculture de précision.

S'ils ont démarré, comme beaucoup, par la cartographie de rendement, ils concèdent que ce n'est pas forcément la meilleure entrée en matière. « L'information apportée doit être analysée avec des pinnettes, estime Jean Fumery, c'est bien pour quantifier ce que l'on fait, mais ce n'est pas en soi de l'agriculture de précision. » La carte de rendement sert surtout à estimer les exportations en P et K via les grains. Elle procure aussi des indications pour mieux cerner le potentiel de rendement à l'intérieur d'une parcelle.

C'est donc principalement sur la cartographie des sols

que s'appuie leur démarche. « Sur nos deux fermes, nous avons réalisé 150 analyses géoréférencées (repérées par GPS) suivant un maillage d'un échantillon par hectare, précise Jean Fumery. Autant dire que le prix a été négocié avec le laboratoire. Parmi les différents critères mesurés (P, K, MgO, matière organique...), le taux d'argile fournit une clé de décision importante pour faire varier la dose de semis pour le blé. Ils utilisent pour cela une grille expérimentale mise au point par ITTCF et déclinée par région, qui donne le nombre de grains à semer au mètre carré selon le pourcentage d'argile. Entre 14 et 27 %, la densité varie par exemple de 230 à 350 grains par m². Mais ils y ajoutent aussi leur touche personnelle, considérant que l'agriculteur doit toujours rester décisionnaire et avoir la mainmise sur la technologie, fort de sa connaissance des sols et de son expérience. « En conditions de semis difficiles, je majore les doses,



• Emmanuel Wambergue (à gauche) et Jean Fumery disposent d'un semoir, d'un épandeur d'engrais et d'un pulvérisateur équipés pour la modulation sous GPS.

explique Jean Fumery. » Sur 70 ha l'an passé, l'économie de semences était de 30 kg/ha.

Pesées géoréférencées de colza

Depuis deux ans, ils modulent aussi les doses d'azote sur colza, selon la réglette Cetiom. Avec un quad dont la position est repérée par GPS, ils sillonnent la parcelle pour effectuer des pesées géoréférencées de plantes, avec une moyenne d'un échantillon par hectare. Il faut ainsi une petite journée pour 70 hectares. Le poids est traduit en unités d'azote avec la réglette. Une carte d'application est ensuite élaborée, destinée à être exécutée automatiquement par l'épandeur (1^{er} passage avec 40 % de la dose), puis avec le pulvérisateur (60 % en engrais



• Depuis deux campagnes, ils utilisent le dispositif N-Sensor (prêté par Hydroagri) pour moduler l'azote sur blé en fonction de la quantité de chlorophylle et de biomasse.

liquide). Résultat : 178 kg épandus en 2001 chez Emmanuel Wambergue contre 210 kg habituellement.

Pour la deuxième année, ils vont se servir du N-Sensor pour moduler la quantité du troisième apport d'azote sur blé en fonction de la mesure de chlorophylle et de biomasse. La stratégie est la suivante : 50 unités pour le 1^{er} apport, 80 unités pour le deuxième, N-Sensor pour le troisième. Grâce à lui, ils pensent pouvoir se passer des reliquats sortie hiver géoréférencés qui coûtent top cher. Avec des sols hydromorphes qui minéralisent parfois très tard (en mai), la mesure par N-Sensor devrait donc bien coller aux besoins de la plante. Et pourquoi pas travailler la modulation des fongicides et des régulateurs grâce à l'indicateur biomasse que procure le N-Sensor ? Les deux agriculteurs y réfléchissent. ■ — Philippe Pavard

(1) Respectivement à Freneuse et à Saint-Illiers-la-Ville.

Et la rentabilité ?

▷ Entre les différentes modulations opérées, Emmanuel Wambergue et Jean Fumery estiment, pour l'instant, économiser 150 F/ha sur leur ferme (60 F/ha et 100 F/ha respectivement pour l'azote sur blé et colza, 200 à 250 F/ha en P et K, 50 à 60 F/ha

pour le semis de blé), même s'ils reconnaissent que l'évaluation n'est pas évidente.

« Depuis trois ans que nous pratiquons ainsi, il n'y a pas eu de catastrophe, remarque Jean Fumery. Loin de là même, puisque tous mes blés ont dépassé 11,5 % de

protéines l'an dernier, un seuil que j'arrivais difficilement à atteindre. » Ils ont aussi remarqué que les reliquats post-récolte avaient diminué. Enfin, à l'heure de la future redévance azote, ils pensent que ce type de démarche devrait prendre encore plus de sens.

▷ L'EXPLOITATION

A 6 : Bibliographie concernant l'agriculture de précision et l'exploitation des données géocodées

- AG Boden (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Nachdr., Hannover.
- Akin, H. und Siemes, H. (1988): Praktische Geostatistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Wien.
- Albertz, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. WB, Darmstadt.
- Amberger, A. (1979): Pflanzenernährung. UTB, Ulmer, Stuttgart.
- Amon, H. (1994): Abgrenzung und Bewirtschaftung von Teilschlägen mit Hilfe von Fernerkundung und Elektronik. Informationsmanagement in den Agrarwissenschaften 2. ZADI, Bonn.
- Anonymus (1968): Biometrisches Wörterbuch. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin. 1 und 2.
- Anonymus (1991): Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage. VDLUFA-Verlag, Darmstadt. 1.
- Anonymus (1999): Ertragskartierung und teilflächenspezifische Pflanzenproduktion. Fieldstar 1-17.
- Anonymus (2000): Erste Schritte mit einer Zukunftstechnologie. BW-agrar 10: 24-25.
- Anonymus (2000): Flurkarte für den PC. DLZ 3: 186-190.
- Anonymus (2000): Gemeinsam und doch getrennt. Erfahrungen in der virtuellen Flurbereinigung in Oberschwaben. Wochenblatt-Magazin 3: 12-13.
- Anonymus (2000): Vom Acker ins All. DLG-Mitteilungen 11: 64.
- Anonymus (2001): Freiwilliger Flächentausch unter Bewirtschaftern. Dlz 4: 140-143.
- Anonymus (2001): Kalkulationsdaten Marktfrüchte Ernte Deckungsbeiträge/Vollkosten. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (LEL) 01/2001: 1-69.
- Arnold, R.W. und Wilding, L.P. (1991): The Need to Quantify Spatial Variability. In: Mausbach, M.J. und Wilking, L. P. (eds.) 28: 1-8.
- Artmann, R. (1999): Einordnung "physikalischer Methoden zur Informationsgewinnung" in das Informationssystem der Landwirtschaft. Arbeitspapier KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB Workshop 1998 in Potsdam 264: 78-81.
- Auernhammer, H (1995): Griff nach den Sternen oder nur ein Flop? DLG Mitteilungen (1) 28-31.
- Auernhammer, H. und Mayer, M. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Praxisprobung des Managements von precision agriculture. Micro-precision-farming. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 37-43.
- Auernhammer, H., Demmel, M., Rothmund, M. (2001): Gewannebewirtschaftung im Projekt „Zeilitzheim“. Landtechnik 3: 136-137.
- Bach, H. und Braun, M. (1999): Ermittlung des Ernteertrages mit Fernerkundungsdaten. Studie Vista, München (Hrsg.) 1-61.
- Bach, H. und Mauser, W. (2000): Ermittlung des Ernteertrages mit Fernerkundungsdaten. Vista, München (Hrsg.) 1-25.

- Bach, H. und Rühling, I. (2001): Erprobung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zur Reduzierung/Optimierung des Düngeaufwandes in Wasserschutzgebieten für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und eine optimale Standortnutzung mit Einsatz der DGPS-Technik und Fernerkundung. Bericht zum Pilotprojekt i. A. des Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden Württemberg, Vista Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hrsg.): 79 S.
- Baumgärtel, G., Fruchtenicht, K., Hege, U., Heyn, J., Orlovius, K. (1999): Standpunkt: Kalium-Düngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf, Richtwerte für die Gehaltsklasse C. www.vdlufa.de/vd_00.htm?1
- Behnken, C., Bill, R., Grenzdörffer, G., Lamp, J., Reiche, E.-W., Schmidhalter, U., Schmidt, F., Selige, T., Sperl, C., Brozio, S., Gebbers, R., Herbst, R., Kersebaum, C., Lorenz, K., Wenkel, K.-O. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Standort- und Bestandesanalyse für das Management von precision agriculture. Ermittlung und Analyse der Zustände der Geofaktoren. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 45-74.
- Bergmann, W. (1983): Ernährungsstörungen der Kulturpflanzen. Fischer-Verlag, Jena, Stuttgart, New York.
- Berndtsson, R. und Bahri, A. (1995): Field variability of element concentrations in wheat and soil. *Soil Sci.* 159 5: 311-320.
- Beuche, H. (1998): Positionsbestimmung mit DGPS und Koppelortung. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20) 151-166.
- Bhatti, U.B., Fida, H., Khan, M. J. (1998): Use of spatial patterns of soil properties and wheat yield in geostatistics for determination of fertilizer rates. *Commun. Soil Sci. Pl. Analysis* 29 5,6 509-522..
- Bill, R. und Korduan, P. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Wirkungsanalyse zu precision agriculture. Ökologische Wirkungen. Projektinformations- und Datenmanagementsystem premis. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 207-216.
- Biller, R.H. u Ihle, W. (2000): Pflanzenunterscheidung mit optischen Sensoren, *Landtechnik* 2: 148-149.
- Bobert, J., Dölling, S., Pauly, J., Schmidhalter, U., Selige, T., Werner, A. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Standort- und Bestandesanalyse für das Management von precision agriculture. Ermittlung der teilspezifischen Ertragspotentiale und Ertragserwartungen. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro):75-88.
- Boisgontier, D. (2000): Vers l'agriculture de précision: capteur, exploitation des données et application au niveau intraparcellaire. Tagungsband In: AGFR - Précision des pratiques agricoles et environnement, Rennes. 117-126.
- Bonfig, R. S. (2001): „Virtuelle Flurbereinigung“ stoppt Kostenspirale. *Agri Vision* 1: 10-12.
- Borges, R. und Mallarino, A. P. (1997): Field-Scale Variability of Phosphorus and Potassium Uptake by No-Till Corn and Soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J* 61: 846-853.
- Böttinger, S. und Schwaiberger, R. (2000):): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Management der Informationsverarbeitung in precision agriculture. Software. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 165-176.

- Bouma, J. (1989): Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances Soil Sci.* 9: 177-213.
- Bouma, J. (1995a): Dealing with Variability in Space and Time in Site Specific Farming In: Olesen, S. E. (ed.): *Proceedings of the Seminar on Site Specific Farming*, SP-report 26. Danish Institute of Plant and Soil Science, Koldkkaergaard, Aarhus, DK. 26: S. 21-27.
- Bouma, J. (1995b): Methods to characterize Soil Resource Variability in Space and Time. In: Robert, P. C., Rust, R. H., Larston, W. E. (eds): *Proceedings of Site Specific crop Management for Agricultural Systems, 1994*, University of Minnesota, Minneapolis. Publ. ASA; CSSA; SSSA Madison, Wisconsin, USA, S. 201-207.
- Boyer, D.G., Wright, R. J., Feldhake, C. M., Bligh, D. P. (1996): Soil spatial variability relationships in a steeply sloping acid soil environment. *Soil Sci.* 161 (5): 278-287.
- Boysen, P., Ebertseder, Th., Gosch, K., Haneklaus, S., Herold, L., Holz, F., Kape, H.E., Krause, O., Orlovius, K., Severin, K., Schrödter, M. (2000): Standpunkt: Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftliche Flächen als Grundlage für eine teilflächenspezifische Düngung mit Grundnährstoffen. www.vdlufa.de/vd_00.htm?1
- Brenk, C. (1999): Bereits sinnvoll oder noch Zukunftsmusik? (teilflächenspezifische Grunddüngung) *BBZ* 37: 18-20.
- Brozio, S., Gebbers, R., Leithold, P., Wenkel, K.-O. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Management der Informationsverarbeitung in precision agriculture. Düngung. *KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro):*135-154.
- Bruce, R.R., Snyder, W. M., White, A. W., Thomas, A.W., Langdale G. W. (1990): Soil Variables and Interactions Affecting Prediction of Crop Yield Pattern. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 494-501.
- Brunotte, J., Wagner, M., Sommer, C. (2001): Bodenschutz und Kosteneinsparung. *Landtechnik* 3: 132-133.
- Buciene, A. und Svedas, A. (1997): Spatial variability of soil agrochemical properties and crop yield in Lithuania. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision agriculture '97, Spatial variability In: soil and crop*. BIOS scientific publishers Ltd., Oxford, I: S. 71-78.
- Buerkert, A. (1995): Effects of Crop residues. Phosphorus and Spatial Soil Variability on Yield and Nutrient Uptake of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) in Southwest Niger. Dissertation, Inst. f. Pflanzenernährung, Univ. Hohenheim. Verlag U.E. Grauer, Stuttgart.
- Burgess, T.M. und Webster, R. (1980a): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. *J. Soil Sci.* 2: 315-331.
- Burgess, T.M. und Webster, R. (1980b): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. *J. Soil Sci.* 2: 333-341.
- Burgess, T.M., Webster, R., McBratney, A. B. (1981): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. *J. Soil Sci.* 32: 643-659.
- Burrough, P.A: (1993): Soil variability - a late 20th century view. *Soils Fertilizers* 56: 529-562.
- Capelle, A. (1999): Die Eignung von Bodenkarten unterschiedlicher Maßstäbe für die Erfassung der kleinräumigen Heterogenität des Bodens. Arbeitspapier *KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB 264:* 42-46.
- Dabbert, S. und Kilian, B. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Wirkungsanalyse zu precision agriculture. Ökonomische Wirkungen. *KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro):* 195-206.

- Dahiya, I.S., Anlauf, R., Kersebaum, K.C., Richter, J. (1985): Spatial variability of some nutrient constituent of an Alfisol from loess. II. Geostatistical Analysis. Pflanzenernähr. Bodenk. 147: 268-277.
- Dahiya, I.S., Kersebaum, K. C., Richter, J. (1984): Spatial variability of some nutrient constituents of an Alfisol from loess. I. Classical statistical analysis. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 147: 695-703.
- Dammer, K.-H. und Ehlert, D. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Management der Informationsverarbeitung in precision agriculture. Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 155-164.
- Dampney, P.M.R., Froment, M. A., Dawson, C. J. (1997): Spatial variability in soil - implications for precision agriculture. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability in soil and crop, BIOS scientific I: S. 70-86.
- Dawson, C.J. und Johnston, A. E. (1997): Aspects of soil fertility in the interpretation of yield maps as an aid to precision farming In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability in soil and crop, BIOS scientific I: S. 87-94.
- Demmel, M. (1997): Ertragsermittlung im Mähdrescher. DLG Merkblatt 303: 1-16.
- Dobermann, A., Goovserts, P., George, T. (1995): Sources of soil variation in an acid Ultisol of the Philippines. Geoderma 68(3): 173-191.
- Dohmen, B. (1996): Kontrolle aus der Luft. DLG-Mitteilungen 4: 62-63.
- Dohmen, B. und Reh, A. (2000): Mit Hilfe der Optoelektronik dem Trockenstress beikommen. Bauernzeitung (Thüringen) 22: 24-25.
- Dohmen, B., Grenzdörfer, G., Irrgang, A., Muhr, T., Noack, P., Reh, A., Schmidhalter, U., Selige, T., Wagner, U. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Standort- und Bestandesanalyse für das Management von precision agriculture. Ermittlung und Analyse der Zustände der Pflanzenbestände. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 89-114.
- Domsch, H. und Wartenberg, G. (2000): Teilflächenspezifische Bewirtschaftung mit GPS (Teil 3). Getreide 6 (2): 136-141.
- Domsch, H., Lück und Eisenreich (1999): Ermittlung geophysikalischer Kennwerte für die großmaßstäbliche Kennzeichnung landwirtschaftlicher Flächen. Jahresbericht des ATB Potsdam-Bornim: S.16.
- Domsch, H., Lück, E., Eisenreich, M. (1998): Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung, ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, (20) 80-100.
- Domsch, H., Winter, R., Schmerler, J. (1998): Teilflächenspezifische Aussaat, ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (20) 101-107.
- Domsch, Lück, Eisenreich, M. (1999): Ermittlung geophysikalischer Kennwerte für die großmaßstäbliche Kennzeichnung landwirtschaftlicher Flächen. ATB-Jahresbericht: 16
- Ehlert, D. (1998): Ertragskartierung von Feldhäckslern. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (20) 49-58.
- Ehlert, D. (1998): Fahrzeuggestützte Erfassung von Bestandesparametern. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (20) 47.
- Ehlert, D. (1998): Grundlagen zur Ertragskartierung von Kartoffeln. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (20) 59-67.

- Ehlert, D. (1998): Inhalt und Bestandteile der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (20) 8-13.
- Ehlert, D. (1998): Zusammenfassung und Schlussfolgerungen. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20) 229-233.
- Ehlert, D. (1999): Ertragskartierung und Erfassung von Biomasse. Arbeitspapier KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Wordshop 1998 in Potsdam 264: 62-67.
- Ehlert, D. (2000): Mit Satellitentechnik ins Feld. Mais (3) 104-107.
- Ehlert, D. und Domsch, H. (2001): Korrelationen zwischen Boden- und Pflanzenparametern. Landtechnik 3: 134-135.
- Ehlert, D. und Hammen, V. (1998): Biomasseerfassung in Pflanzenbeständen. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 68-79.
- Ehlert, D., Algerbo, P.-A. (2000): Ertragskartierung bei Kartoffeln. Landtechnik 55: 436-437.
- Engel, T. (1995): Standortgerechte N-Düngung mit Hilfe von GPS, Elektronik und Stickstoff-Simulation. Landbauforschung Völkenrode 3: 127-133.
- Engelke, B. (2000): Zur Regelung von Geräten in der ganzflächig mechanischen Unkrautbekämpfung. Landtechnik 2: 146-147.
- Evans, C.E. und Catt, J. A. (1987): Causes of crop patterns in eastern England. J. Soil Sci. 38: 309-324.
- Finck, A. (1969): Pflanzenernährung in Stichworten. Hirts Stichwortbücher. Hirt, Kiel. 200.
- Finck, A. (1979): Dünger und Düngung. Verlag Chemie, Weinheim, New York 441.
- Finke, P.A. (1992): Spatial variability of soil structure and its impact on transport processes and some associated land qualities. Proefschrift. Wageningen.
- Finke, P.A. (1993): Field scale variability of soil structure and its impact on crop growth and nitrate leaching in the analysis of fertilizing scenarios. Geoderma, 60: 89-107.
- Finke, P.A. und Goense, D. (1993): Differences in barley grain yields as a result of soil variability. J. Agric. Sci. Cambridge; 120: 171-180.
- Fliege, U. (2001): Precision Farming erst bedingt praxisreif. Landwirtschaft im Internet-Zeitalter, Erwartungen und Erfahrungen, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft 95: 93-96.
- Fotyma, M., Faber, A., Czajkowski, M., Kubsik, K. (1997): Preliminary experience concerning precision agriculture in Poland. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability In: soil and crop, BIOS scientific publishers, Oxford. I: S. 111-118.
- Francis, D.D. und Schepers, J.S. (1997): Selective soil sampling for site specific nutrient management. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability In: soil and crop, BIOS scientific publishers, Oxford. I: S. 119-126.
- Friedl, L. (2001): Schöne, große Schläge. BLW 9: 66-68.
- Fumery, J. et Wambergue, E. (2001): Moduler les doses de semis et d'engrais. La France agricole, 27 avril 2001: 27.
- Funk, R. und Maidl, F.X. (1997): Heterogenität der Ertragsbildung von Winterweizen auf Praxisschlägen des oberbayerischen Hügellandes im Hinblick auf eine teilschlagspezifische Bestandesführung. Pflanzenbauwiss. 13: 117-126.

- Gerbermann, A.H. und Neher, D.D. (1979): Reflectance of Varying Mixtures of Clay, Soil and Sand. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 45: 1145-1151.
- Grenzdorfer, G. (2001): Vielfältig und flexibel einsetzbar. *Agrarmarkt* 5: 39-40.
- Grenzdörffer, G.(1999): Dokumentation und Analyse kleinräumiger Heterogenität mit Fernerkundung und GPS. Arbeitspapier, KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 93-105.
- Griepentrog, H.-W. (1999): Ertragsermittlung im Mähdrescher. Arbeitspapier, KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 68-77.
- Griepentrog, H.-W. und Persson, K. (2000): Arbeitsqualität von Schleuderstreuern mit variabler Dosierung. *Landtechnik* 2: 142-143.
- Haas, G. (1995): Auswahl von Feldversuchsflächen auf heterogenem Auenboden. Bestandeskartierung - Uniformitätsernten - Luftbildaufnahmen - Exaktvermessung. Dissertation Univ. Bonn, In: U. Köpke, Schriftenreihe Inst. f. org. Landbau.
- Haneklaus, S., Rühling, I., Schnug, E. (1995): Evaluation of the spatial variability of seed yield and its application to the improved use of natural resources and inputs in oilseed rape production. "In: Proceedings of the Ninth Int. Rapeseed Congr. "Rapeseed today and tomorrow", 4-7 July 1995, S.353-355.
- Haneklaus, S., Rühling, I., Schroeder, D., Schnug, E. (1997): Studies on the variability of soil and crop fertility parameters and yields in different landscapes of Northern Germany. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision agriculture '97, Technology, IT and Management*. BIOS scientific publishers, Oxford. II: 785-792.
- Hanser, E. (2000): Aussteller ziehen Zwischenbilanz. *BBZ* 37: 16-17.
- Hartl, P. und Thiel, K.-H. (1996): Satellitengestützte Ortung und Navigation. *Spektrum der Wissenschaft* 1: 102-106.
- Hartmann, F. (2001): Überzeugendes Ergebnis. *Agrarmarkt* 5: 32-34.
- Hasert, G. und Neubauer, E. (2001): Rentabler Getreidebau zwingt zu strategischem Feinschliff. *Bauernzeitung* 21: 14-17.
- Häusler, A. und Nordmeyer, H. (1995): Impact of soil properties on weed distribution. In: Olesen, S.E. (ed.): *SP-report 26, Proceedings of the Seminar on Site Specific Farming*. Danish Institute of Plant and Soil Science. Koldkaergaard, Aarhus. S. 186-189.
- Heinrich, U. (1992): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren. Deutscher Universitätsverlag GmbH, Wiesbaden.
- Hellebrand, H. J. und Ehlert, D. (1998): Grundansätze für eine ortsdifferenzierte Zustandserfassung von Böden und Pflanzen. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, *Bornimer Agrartechnische Berichte*. (20): 14-30.
- Hennings, V. (1991): Die Bedeutung der räumlichen Variabilität bodenkundlicher Basisdaten für aktuelle und zukünftige Kartiertechniken, dargestellt an einem Beispielsgebiet im nördlichen Harzvorland. *Geologisches Jahrbuch*. Reihe F. Bodenkunde, Schweizerbart, Stuttgart. 28.
- Herbst, R. und Lamp, J. (1999): Zur kleinräumigen Heterogenität der Böden Deutschlands und zum Akzeptanzpotential der Teilflächenbewirtschaftung. Arbeitspapier; KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 33-41.

- Hinterding, A., Kühne, S., Sleptsov, B., Streit, U., Heinen, T. (2000): Integration wissensbasierter Methoden und geostatistischer Verfahren zur räumlichen Interpolation. *Wasser & Boden* 52 (3): 18-21.
- Hurn, J. (1989): GPS - A guide to next utility. Trimble Navigation Ltd. 645 North Mary Avenue, P.O. Box 3642 Sunnyvale, CA94088-3642.
- Hurn, J. (1993): Differential GPS explained. Trimble Navigation Ltd. 645 North Mary Avenue, P.O. Box 3642 Sunnyvale, CA94088-3642.
- Immler, L.G. und Zahn, M.T. (1994): Die flächenhafte Variabilität bodenphysikalischer Parameter und des Corg-Gehaltes in den Pflugsohlen je eines Ton-, Sand- und Lößstandortes. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157: 251-257.
- Isensee, E., und Krippdahl, S. (2001): Online-Vergleich von Ertragsmesssystemen im Mähdrescher. *Landtechnik* 56: 274-275.
- Jacquin, O. (2001): La cartographie de rendement adaptée à la tomate de conserve. *La France Agricole*, 19 janvier: 47.
- Jäger, S., Wisswedel, O., Lippmann, J. (2001): Standortgemäß und umweltschonend. *Bauernzeitung* 21: 18-21.
- Jahns, G. (1996): Globale Navigations-Satelliten-Systeme. Globale Navigations-Satelliten-Systeme GNSS: Aspekte ziviler Nutzung und zukünftige Entwicklungen. *Landbauforschung Völkenrode*. 46A: 95-103.
- Janssen, B., Kersebaum, C., Lorenz, K., Plachter, H., Reiche, E.-W., Windhorst, W. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Wirkungsanalyse zu precision agriculture. Ökologische Wirkungen. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 177-194.
- Jarfe, A. und Weltzien, C. (2000): Analyse der aktuellen Anforderungen zu precision agriculture aus der Praxis. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 11-14.
- Journal, A.G. und Huijbregts, C.J. (1978): *Mining Geostatistics*. Academic Press, New York.
- Jüdisch, R. (2000): Boden via Satellit bearbeiten. *Dlz* 5: 156-158.
- Jürschik, P. (1998): Anwendung von Fernerkundungsmethoden für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 31-46.
- Jürschik, P. (1998): Erfassen und Verarbeiten von Informationen für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte (20): 140-150.
- Jürschik, P. (1999): Grundlagen der Anwendung von Fernerkundungsmethoden für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung. Arbeitspapier; KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 82-92.
- Jürschik, P. (1999): Teilflächenspezifische Düngung. *DLG Merkblatt* 315: 1-22.
- Keicher, R., Seufert, H., Knechtges, H., Brunner, D. (2000): Lenkungsautomatisierung zur mechanischen Unkrautbekämpfung. *Landtechnik* (2): 150-151.
- Kerner, F. und Murschel, B. (1991): Die räumliche und zeitliche Variabilität von bodenphysikalischen Erosionsparametern. *Mitt. Deutsch. Bodenk. Ges.* 66 II: 963-966.
- Kerschberger, M. und Heß, H. (2001): Mit N-Sensor genauer düngen? *Bauernzeitung* 19: 34-35.

- Khan, A. (1994): Horizontal variability in DTPA-extractable iron, manganese, copper, and zinc in deep loess hill soils at the Mey Research Station. *Commun. Soil Sci. Pl. Analysis*; 25 (17-18): 3009-3023.
- Knoop, F., Lamp, J., Schnug, E. (1985): Regionale Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit. I. Modelle zu Erfassung und Darstellung. *Mitt. Deutsch. Bodenk. Ges.* 43 (2): 655-660.
- Köbbemann, C., Blume, H.-P., Elsner, D., Jacobsen, M., Beyer, L. (1992): Die Variabilität von Nährstoffvorräten nach langjährigem Ackerbau in Abhängigkeit vom Bodentyp. *VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband.* 119-122.
- Köhler, W., Schachtel, G., Voleske, P. (1984): *Biometrie, Einführung in die Statistik für Biologen und Agrarwissenschaftler.* Heidelberger Taschenbücher, Springer, Berlin.
- Krause, O. (1998): Zur Bodenprobenahme auf Praxisschlägen und teilschlagbezogene Düngung. *Schriftenreihe Thüringer Landesanstalt Landwirtschaft.* 6: 31-36.
- Krishnan, P., Alexander, J.D., Butler, B. J., Hummel, J.W. (1980): Reflectance Technique for Predicting Soil Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 1282-1285.
- Kühn, J., Roth, R., Werner, A. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Management der Informationsverarbeitung in precision agriculture. Bestandesführung. *KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro):* 115-128.
- Kuhn, M. (1998): Untersuchungen zur Auswirkung der Variabilität von Bodeneigenschaften auf die Wasserflüsse - Feldversuch und Simulation. *Dissertation, TU Braunschweig.*
- Kuntze, H., Roeschmann, G., Schwerdtfeger, G. (1994): *Bodenkunde. Uni-Taschenbuecher.* Ulmer, Stuttgart.
- Lamp, J. (1992): Böden als Landschaftssegmente. In: Blume, H.-P. (Hrsg.): *Handbuch des Bodenschutzes - Bodenökologie und -belastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen.* 2. Aufl.; ecomed, Landsberg/Lech. S. 47-57.
- Lamp, J. und Knoop, F. (1984): Erfassung der regionalen Merkmalsvarianz von Böden. *Mitt. der Deutsch. Bodenk. Ges.* 40: 191-198.
- Lamp, J. und Schnug, E. (1987): Computergesteuerte Düngung mit Hilfe digitaler Hofbodenkarten. *Schriftenreihe Agrarwiss. Fak. Univ. Kiel* 69: 61-70.
- Lamp, J., Bringkötter-Runde, K., Classen, A.L., Capelle, A., Ehlert, D., Jürschik, P., Kloepfer, F., Nordmeyer, H., Schröder, D., Werner, A. (1998): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität in der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion. In: Lamp, J. (Hrsg.) : *Memorandum zum KTBL-Fachgespräch Potsdam, 15./16.01.98* KTBL, Darmstadt.
- Lamp, J., Capelle, A., Ehlert, D., Jürschik, P., Kloepfer, F., Nordmeyer, H., Schröder, D., Werner, A. (1999) Erfassung der kleinräumigen Heterogenität in der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion. *Arbeitspapier; KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam* 264: 7-32.
- Lang, S. (2001): Les nouvelles technologies pour l'expertise agronomique. *Paysan du Haut-Rhin* 10.08.01: 10-11.
- Lark, M. (1997): Variation in soil conditions and crop performance. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision agriculture '97, Spatial variability In: soil and crop.* BIOS scientific publishers Ltd., Oxford. S. 127-136.
- Le Page, G. (2001): J'ai cartographié ma moisson. *Paysan du Haut-Rhin* 29.06.2001: 28-29.
- Lenge, R. (2000): „Flurbereinigung“ per Satellit in Oberschwaben. *Top Agrar* 11: 74-75.

- Lichtfuss, R. (1988): Räumliche Variabilität von Kenngrößen der Bodenfruchtbarkeit ostholsteinischer Kleinlandschaften. Proceedings of the 99th VDLUFA congress, September 1987, Koblenz, German Federal Republic. VDLUFA-Schriftenreihe No. 23. J.D. S. 1041-1052.
- Lohmeyer, A. (2000): Ertragsmessung und -kartierung. Mais (3): 118-119.
- Lütticken, R. (1996): Realisierung des Raum-Zeit-Bezugs von Daten zur Umsetzung teilflächenspezifischer Bewirtschaftungsmaßnahmen im Pflanzenbau. Diss. Universität Hohenheim PLITS 14 (4): 178.
- Lütticken, R. (1999): Bodennährstoffkartierung - Grundlage der Hölzl-Präzisionsdüngung. Arbeitspapier; KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 106-109.
- Lütticken, R. (2000): Präzise nach Nährstoffkarte düngen. DLZ 3: 52-57.
- Mahmoudjafari, M., Kluitenberg, G.J., Havlin, J.L., Sisson, J.B., Schwab, A.P. (1997): Spatial variability of nitrogen mineralization at the field scale. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61: 1241-1221.
- Maidl, F.X. und Fischbeck, F. (1993): Pflanzenbau. In: Ruhr-Stickstoff-Aktiengesellschaft Bochum (Hrsg.): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. S. 440-441, 456.
- Mallarino, A.P. (1996): Spatial Variability Patterns of Phosphorus and Potassium in No-Tilled Soils for two Sampling Scales. Soil Sci. Soc. Amer. J. 60: 1473-1481.
- Matheron, G. (1963): Principles of Geostatistics. Econ. Geol. 58: 1246-1266.
- Matheron, G. (1971): The theory of regionalized variables and its applications. Les Cahiers du centre de morphologie mathématique, Fas. 5, C.G. Fontainebleau, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, France.
- McBratney, A.B. und Pringle, M.J. (1997): Spatial variability in soil - implications for precision agriculture. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability In: soil and crop, BIOS scientific publishers, Oxford S. 3-31.
- McBratney, A.B., Whelan, B.M., Shatar, T.M. (1997): Variability and uncertainty in spatial temporal and spatiotemporal crop-yield and related data. Wiley Chichester Ciba Foundation Symposium 210: 141-160.
- Mengel, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. S. 325.
- Miehlich, G. (1976): Homogenität, Inhomogenität und Gleichheit von Bodenkörpern. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 5: 597-609.
- Milfred, C.J. und Kiefer, R.W. (1976): Analysis of Soil Variability with Repetitive Aerial Photography. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40 (4): 553-557.
- Miller, M. P., Singer, M. Nielson, J., Donald R. (1988): Spatial Variability of Wheat Yield and Soil Properties on Complex Hills. Soil Sci. Soc. Amer. J. 52: 1133-1141.
- Muhr, T. (1999): GPS in der Landwirtschaft. DLG Merkblatt 316: 1-11.
- Muhr, T., Demmel, M., Stanzel, H., Auernhammer, H. (1994): Positionsbestimmung landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen für die Entwicklung ökologisch optimierter Anbauverfahren. Inst. und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik der TU München - Weihenstephan, Bayerisches StMELF (Hrsg.): Landtechnische Berichte aus Praxis und Forschung, Gelbes Heft 53.
- Muhr, T., Maier, S., Auernhammer, H. (1995): Das Ende von Laufrad und Bandmaß? DLG-Mitteilungen (1): 32-34.

- Mulla, D.J. (1993): Mapping and Managing Spatial Patterns. In: Soil Fertility and Crop Yield. Proceedings of soil specific crop Management, 1992, University of Minnesota, Minneapolis. Published by ASA; CSSA; SSSA Madison, Wisconsin, USA. S. 15-26.
- Mulla, D.J. und Bhatti, A.U. (1997): An evaluation of indicator properties affecting spatial patterns in N and P requirements for winter wheat yield. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability In: soil and crop, BIOS scientific publishers, Oxford. S. 145-154.
- Murphy, D.P.L., Oestergaard, H., Schnug, E. (1994): Lokales Ressourcen-Management - Ergebnisse und Ausblick. Technik für die kleinräumige Bestandesführung. Ziele - Entwicklungsstand - Forschungsbedarf. In: ATB/KTBL-Kolloquium. S. 90-101.
- Murphy, D.P.L., Schnug, E., Haneklaus, S. (1995): Yield mapping - a guide to improved techniques and strategies. Site-Specific Management for Agricultural Systems, ASA-CSSA-SSA. S. 33-47.
- Myers, V.I., Bauer, M.E., Gausman, H.W., Hart, W.G., Heilman, J.L., Macdonald, R.B., Park, A.B., Ryerson, R.A., Schmutge, T.J., Westin, F.C. (1983): Remote Sensing Applications in Agriculture. In: Estes, J.E., Thorley (eds.) : Manual of remote sensing II: II: 2111-2218.
- Noël, J.-M. (2000): Onze fermes regroupées avec des exploitants spécialisés. La France agricole, 25 février 2000: 31.
- Nordmeyer, H. (1999): Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz. Arbeitspapier KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 53-61.
- Nordmeyer, H., Häusler, A., Niemann, P. (1997): Patchy weed control as an approach in precision farming. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability In: soil and crop, BIOS scientific publishers, Oxford. S. 307-314.
- Obenauf, S. (1987): Variabilität von Bodenfruchtbarkeitskennziffern während der Vegetationszeit im Ap sandiger Ackerböden. Arch. Acker-Pflanzenb. Bodenk. 31: 137-145.
- Obenauf, S. und Seeboldt, M. (1986): Zur Methodik der Bodenprobenahme für die Erfassung von Bodenfruchtbarkeitskennziffern auf Produktionsschlägen der BG1. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 30 (3): 123-129.
- Oehmichen, J. (1986): Pflanzenproduktion. Parey, Hamburg. 1 und 2
- Oliver, M.A. und Frogbrook, Z.L. (1998): Sampling to estimate soil nutrients for precision agriculture. International Fertiliser Society. Proc. 417: 1-36.
- Ostheim K.-U. (2001): Einsteigen in Precision Farming - aber wie? In: Landwirtschaft im Internet-Zeitalter, Erwartungen und Erfahrungen, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft 95: 173-178.
- Otte, F. (1988): Über die quantitative Erfassung der Bodenvariabilität und Gütemaße für großmaßstäbliche Karten. Schriftenreihe Inst. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 2. Univ. Kiel.
- Pannatier, Y. (1996): Variowin: 2.2, Software for Spatial Data Analysis In: 2D, Software-package and user's guide.
- Papritz, A (1993): Estimating temporal change of soil properties. Dissertation, Zürich.
- Papritz, A. und Webster, R. (1995a): Estimating temporal change in soil monitoring I. Eur. J. Soil Sci. 1: 1-12.
- Papritz, A. und Webster, R. (1995b): Estimating temporal change in soil monitoring II. Sampling from simulated fields. Eur. J. Soil Sci. 1: 13-27.

- Parton, W.J., Schimmel, D.S., Cole, C.V., Ojima, D.S. (1987): Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51: 1173-1179.
- Paulsen, H.M. (1989): Berücksichtigung von Bodenmerkmalen bei der Anlage von Feldversuchen. Diplomarbeit, Inst. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde, Univ. Kiel.
- Preuße, T. und Kutschenreiter, W. (2000): Mehr als nur Maschinen. *DLG-Mitteilungen* 10: 48-49.
- Quinckhardt, M. (2001): Electronic Farming: Trugbild oder reale Chance? In: *Landwirtschaft im Internet-Zeitalter, Erwartungen und Erfahrungen*, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft 95: 147-155.
- Rath-Kampe, J. (2001): Forderungen stellen. *Agrarmarkt* 5: 26-31.
- Reich, R. und Backfisch, R. (2001): Anschluss fahren bei Nacht und Nebel. *BW-agrar* 11: 16-17.
- Reitz, P. und Buermann, M. (1992): Korndurchsatzmessung auf dem Mähdrescher. *Proceedings of the International Scientific Conference "Trends In: Agriculture Engineering"*, 15.-18. Sept. 1992. S. 484-489.
- Reitz, P. und Kutzbach, H.D. (1993): Measurement techniques for yield mapping during grain harvesting with combines. *Proceedings of the XXV CIOSTA-CIGR V Congress "Farm planning, Labour and labour conditions, Computers in agricultural management"*.
- Reitz, P. und Kutzbach, H.D. (1994): Data Acquisition for yield mapping with combine harvesters. *Proceedings of the 5th conference "Computers in Agriculture"*, Orlando, Florida.
- Reusch, S. (1999): Online Erfassung der Stickstoffversorgung von Pflanzen. Arbeitspapier; KTBL Darmstadt (Hrsg.): *Erfassung der kleinräumigen Heterogenität*, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 110-117.
- Richter, G.M. (1996): Variabilität und Schätzgenauigkeit von N-Mineralisation, Ertrag und Bedarf - Methoden zur Bewertung der 'Ist-Analyse'. *Landbauforschung Völkenrode* 3: 121-126.
- Riegger, L. (2001): Aktualität ist beim Internet-Auftritt entscheidend. *Landwirtschaft im Internet-Zeitalter, Erwartungen und Erfahrungen*, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft 95: 169-172.
- Rogasik, J. und Smukalski, M. (1993): Beziehungen zwischen quantitativen Faktoren der Bodenfruchtbarkeit und Höhe des Pflanzenertrages auf Ackerstandorten sowie deren Modifikation durch ausgewählte Klimatelemente. *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk.* 37: 325-340.
- Rogasik, J., Haneklaus, S., Panten, K., Funder, U., Schnug, E. (2000): Operations For Precision Agriculture. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 93: 116-119.
- Rösch, A. (2000): GPS wird kommen. *BBZ* 37: 15-16.
- Ruge, H. (2000): Management für die effektive Bewirtschaftung von Teilschlägen. *Bauernzeitung* 25.
- Rühling, I. (1999): Räumlich-zeitliche Variabilität von physikochemischen Bodeneigenschaften und Pflanzenmerkmalen in einer norddeutschen Landschaft. Dissertation, TU Braunschweig. *FAL (Hrsg.): Landbauforschung Völkenrode Sonderheft* 205: 183.
- Rühling, I. (2000): Die Oberrheinregion – Kann sich Präzisionslandwirtschaft ökonomisch und ökologisch etablieren? *Naturschutz-Info* 3: 27-28.

- Rühling, I., Haneklaus, S., Schnug, E. (1997): Geostatistical investigations on soil and crop fertility parameters in northern Germany. Proceedings of the 11th World Fertilizer Congress of CIEC; 7-13 Sept. 1997, Gent, Belgium. S.178-188.
- Sachs, L. (1988): Statistische Methoden Planung und Auswertung. Bd. 1+2 Springer, Berlin etc.
- Sauter, J. (2001): Mieux connaître les sols pour mieux produire: Les apports d'une base de données informatique. Paysan du Haut-Rhin 10.08.01: 11.
- Sawyer, J.E. (1994): Concepts of variable rate technology with considerations for fertilizer application. J. Prod. Agric. 7:195-201.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.-H., Schwertmann, U. (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schlichting, E., Blume, H.-P., Stahr, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. Pareys Studentexte 81. Blackwell Wiss.-Verlag, Berlin, Wien; etc.
- Schmerler, J. (1998): Betriebswirtschaftliche Effekte der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung und Aussaat. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 212-220.
- Schmerler, J. und Großkopf, M. (1999): Weniger Betriebsmittel und höhere Erträge; dlz-Sonderheft (10): 92-95.
- Schmerler, J. und Großkopf, M. (2000): Saatstärke dem Boden anpassen. Mais (3): 108-110.
- Schmerler, J. und Jürschik, P. (1998): Praktische Anwendung der teilflächenspezifischen Düngung und Aussaat. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 167-183.
- Schmerler, J.(1998): Teilflächenspezifische Düngung. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 108-113.
- Schmerler, J., Ehlert, D., Kühn, G. (2000): Mais- und Getreideanbau per Satellit. Innovation (1): 4-7.
- Schmerler, J., Jürschnik, P., Basten, M., Kohlmüller, S. (1995): Die teilflächenspezifische Düngung am Beispiel des N-Einsatzes in einem Praxisbetrieb als Beitrag zur umweltgerechten Pflanzenproduktion. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 1995. 40: S. 273-276.
- Schmerler, J., Wartenberg, G., Ehlert, D. (2000): Teilflächenspezifische Bewirtschaftung mit GPS (Teil 4). Getreide 6, (3): 208-213.
- Schmidt, H. (1995): Eine Investition in die Zukunft. DLG Mitteilungen (1): 40-42.
- Schmidt, W. und Weltzien, C. (2000): Ergebnisse der integrativen Forschung und Erprobung in pre agro. Praxiserprobung des Managements von precision agriculture. Technikbetreuung / Erprobung Module und Software. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 31-36.
- Schmittmann, O., Moneim Osman, A., Kromer, K.-H. (2000): Durchsatzmessung bei Feldhäckslern. Landtechnik 4: 286-287.
- Schnug, E. (1993): Ökosystemare Auswirkungen des Einsatzes von Nährstoffen in der Landwirtschaft. In: Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel in Agrarökosystemen. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft S. 25-48.
- Schnug, E. (1996): Lokales Ressourcen-Management landwirtschaftlicher Böden. Landbauforschung Völkenrode 3: 111-113.

- Schnug, E. und Holst, P. (1994): CAF - Realisierung einer ökologischen und ökonomischen Landwirtschaft. In: *Elektronikeinsatz in der Außenwirtschaft*. KTBL-Arbeitspapier. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup 175: S. 175-178.
- Schnug, E., Evans, E., Haneklaus, S. (1992): Importance, evaluation and application of equifertiles to CAF. *Proceedings of the International Scientific Conference "Trends in Agricultural Engineering"*, 15-18 Sept. 1992. II.
- Schnug, E., Haneklaus, S., Murphy, D. (1994): Innovative soil sampling and analysis procedure for the local resource management of agricultural soils. *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, 10-16 July 1994*. 56: S. 613-630.
- Schnug, E., Lamp, J., Knoop, F. (1985): Regionale Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit. II. Beispiele und praktische Bedeutung. *Mitt. Deutsch. Bodenk. Ges.* 43, 2: 679-684.
- Schnug, E., Murphy, D., Evans, E., Haneklaus, S., Lamp, J. (1993): Yield mapping and application of yield maps to computer aided local resource management. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (eds.): *Proceedings of soil specific crop Management, 1992*, University of Minnesota, Minneapolis. ASA, CSSA, SSSA Madison, Wisconsin.
- Schnug, E., Murphy, D.P., Haneklaus, S. (1995): Yield mapping - a guide to improved techniques and strategies. In: *Site-Specific Management for Agricultural Systems*, ASA-CSSA-SSA; 677 South Segoe Road, Madison, WI 53711, USA.
- Schreiber, A. (1999): Globales Positionierungs System (GPS) - Ein Instrument zur Verbesserung der Ökonomie in kleinstrukturierten Ackerbauregionen? Diplomarbeit, Uni. Hohenheim.
- Schröder, D. (1983): *Bodenkunde in Stichworten*. Hirt, Kiel.
- Schröder, D., Haneklaus, S., Schnug, E. (1997): Information management in precision agriculture with LORIS. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision agriculture '97, Technology, IT and Management*. BIOS scientific publishers, Oxford. II: S. 821-826.
- Schröder, D. (1999): Strategien zur Erfassung der kleinräumigen Heterogenität; Arbeitspapier; KTBL Darmstadt (Hrsg.): *Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam*; 264: 47-52.
- Schwaiberger, R., Sommer, C., Werner, A. (2000): Einleitung und Übersicht. *KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro)*: 7-10.
- Schwarz, J., Kersebaum, K. C., Reuter, H., Wendroth, O. (2001): Stickstoff gezielt einsetzen. *Landtechnik* 56: 320-321.
- Shiel, R.S., Mohamed, S.B., Evans, E.J. (1997): Planning phosphorus and potassium fertilisation of fields with varying nutrient content and yield potential. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision Agriculture '97: Spatial variability in soil and crop*, BIOS scientific publishers, Oxford. S. 171-178.
- Simmelsgaard, S.E. und Andersen, M.N. et al. (1995): The Influence of Nitrogen and Water Availability on Crop Yield Variation. In: Olesen, S.E. (ed.): *Proceedings of the Seminar on Site Specific Farming*. SP-report 26, Vol. 3. Danish Institute of Plant and Soil Science. Koldkaergaard, Aarhus. S. 99-109.
- Simmelsgaard, S.E. und Djurhuus, J. (1997): The possibilities of precision fertilisation with N, P and K based on plant and soil parameters. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision Agriculture '97: Spatial variability in soil and crop*, BIOS scientific publishers, Oxford. S. 179-188.
- Sinowski, W. (1995): Die dreidimensionale Variabilität von Bodeneigenschaften - Ausmaß, Ursachen und Interpolation. Dissertation, TU München; FAM-Bericht 7, Shaker, Aachen.

- Sommer, C. und Voßhenrich, H. (2000): Bodenbearbeitung. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 129-134.
- Spangler, A., Auernhammer, H., Demmel M. (2001): LBS lib als Open Source Modell frei verfügbar. Landtechnik 3: 138-139.
- Stein, A., Brower, J., Bouma, J. (1997): Methods of Comparing Spatial Variability Patterns of Millet Yield and Soil Data. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61: 861-870.
- Stein, A., Hoogerwerf, M., Bouma, J. (1988): Use of Soil-Map Delineations to improve Kriging of Point Data on Moisture Deficits. Geoderma 34: 163-177.
- Steingießer, R., Davidson, M., Kühbauch, W. (1999): Lesbarkeit von Radarsignaturen in der landwirtschaftlichen Fernerkundung; Arbeitspapier; KTBL Darmstadt (Hrsg.): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 1998 in Potsdam 264: 118-122.
- Süss, H. (1999): Virtuelle Flurbereinigung in Riedhausen bereits Realität. BLW 38: 38-39.
- Süss, H. (2001): Strukturen selber verbessern. BLW 30: 18-19.
- Thiessen, E. (2000): Sensorgesteuerte Stickstoffdüngung. Landtechnik 2: 144-145.
- Thiessen, E. (2001): Erfahrungen mit der sensorgesteuerten Stickstoffdüngung. Landtechnik 56: 278-279.
- Thomsen, A. und Hougård, H. (1995): Field Variability in Crop Development and Water Balance. In: Olesen, S.E. (ed.): Proceedings of the Seminar on Site Specific Farming. SP-report 26. Danish Institute of Plant and Soil Science. Koldkaergaard, Aarhus. ed.
- Thomsen, A., Schelde, K., Heidmann, T., Hougard, H. (1997): Mapping of field variability in crop development and water balance within a field with highly variable soil conditions. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '97: Spatial variability in soil and crop, BIOS scientific publishers, Oxford. S.197-204.
- Timmermann, C. und Krohmann, P.(2000): Unkräuter erst erfassen, dann bekämpfen. Mais (3): 114-117.
- Trangmar, B.B., Yost, R.S. und Uehara, G. (1985): Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances Agron. 38: 45-93.
- Van Meirvenne, M. (1991): Characterization of soil spatial variation using geostatistics. Ph.D. Thesis, Rijksuniversiteit Gent. S.168.
- Voßhenrich, H.-H. und Kottenrodt D. (2001): Prototyp für die ortsspezifische Bodenbearbeitung. Raps 19: 143-145.
- Voßhenrich, H.-H., Sommer, C., Gattermann, B., Träger-Farny,W. (2000): Ortsspezifische Bodenbearbeitung. Landtechnik,4: 319.
- Voßhenrich, H.-H., und Kottenrodt, D. (2001): Ortsspezifische Bodenbearbeitung. Landpost 25.08.2001: 60-62.
- Wagner, P. (1999): Besseres Management. dlz-Sonderheft (10): 96-98.
- Wartenberg, G. (1995): GPS - Ein Baustein des Pflanzenschutzes. DLG Mitteilungen (1): 36-39.
- Wartenberg, G. (2000): Teilflächenspezifisches Spritzen von Pflanzenschutzmitteln. Landtechnik 55: 438-439.
- Wartenberg, G. (2001): Teilflächenspezifische Unkrautregulierung im Echtzeit-Verfahren. Landtechnik 56: 322-323.
- Wartenberg, G. und Schwarz, J. (1998): Betriebswirtschaftliche Effekte der teilflächenspezifischen Herbizideinsatzes. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur

- teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 221-228.
- Wartenberg, G. und Schwarz, J. (1998): Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 114-139.
- Weber, E. (1980): Grundriß der biologischen Statistik Anwendungen der mathematischen Statistik in Forschung, Lehre und Praxis. Fischer, Stuttgart, New York.
- Webster, R. und Oliver, M.A. (1990): Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press, Oxford.
- Weitz, A., Bunte, D., Frank, T., Hersemann, H. (1989): Nested sampling, ein Verfahren zur Ermittlung der Größenordnung der räumlichen Variabilität bodenkundlicher Kenndaten. Mitt. Deutsch. Bodenk. Ges. 59, 2: 1011-1014.
- Weltzien, C. (2001): Arbeitsqualität Düngerstreuer. Landtechnik 56: 293.
- Weltzien, C. und Kottenrodt, D. (2001): Einfaches Handling fordern. Agrarmarkt 5: 35-38.
- Wendroth, O., Reynolds, W.D., Vieira, S.R., Reichardt, K., Wirth, S. (1997): Statistical approaches to the analysis of soil quality data. In: Gregorich, Carter (eds.): Soil Quality for Crop Production. Elsevier. 247-276.
- Werner, A. (2000): Ausblick zur weiteren Entwicklung des Projektes pre agro. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau: 217-219.
- Werner, A., Jarfe, A., Kloepfer, F., Kottenrodt, D. (2000): Forschungskonzept von pre agro. KTBL-Sonderveröffentlichung 032; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau (pre agro): 15-30.
- Wigger, A.-F. (2000): Lohnt Teilflächenmanagement? Bauernzeitung 30: 22.
- Wild, K. und Haedicke, S. (2001): Auch den Heuertrag messen. BLW 7: 47-49.
- Wilding, L.P. (1985): Spatial variabilityits documentation, accommodation and implication to soil surveys. In: Nielson, D.R. und Bouma, J (eds.): Proceedings etc. ISSS, Wageningen. S. 166-194.
- Wilding, L.P. und Drees, L.R. (1983): Spatial Variability and Pedologie. In: Wilding, L.P., Smeck, N.E. und Hall, G.F. (eds.): Pedogenesis and Soil Taxonomy. Vol. I: Concepts and Interactions. Developments in Soil Science, 11 A. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York S. 83-116.
- Winter, R. (1998): Verfahren der teilflächenspezifischen Unkrautbehandlung und Abschätzung ihrer Vorteilswirkung. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte. (20): 201-211.
- Winter, R. (1998): Vorteilswirkungen teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung. ATB Bornim (Hrsg.): Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte (20): 184-200.
- Wollring, J. und Reusch, S. (2000): Es grünt so grün. Mais (3): 111-113.
- Wulff, F., Schulz, V., Jungk, A., Claassen, N. (1998): Potassium fertilization on sandy soils in relation to soil test, crop yield and K-leaching. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161: 591-599.
- Yost, R.S., Uehara, G., Fox, R.L. (1982): Geostatistical Analysis of Soil Chemical Properties of Large Land Areas. I. Semi-Variograms. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46: 1028-1032.