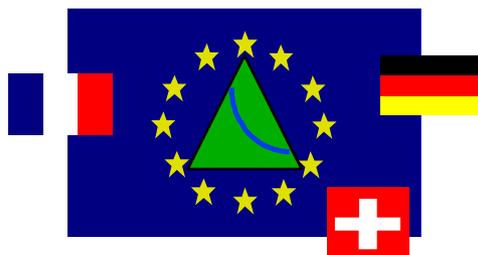


ITADA

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



Programme ITADA III (2002-2005)

RAPPORT FINAL DU PROJET 3

**Production de maïs durable dans la plaine du Rhin supérieur :
conception et évaluation approfondie de systèmes de culture**

Projet cofinancé par l'initiative communautaire INTERREG III Rhin supérieur Centre-Sud

Secrétariat ITADA : 2 allée de Herrlisheim F – 68000 COLMAR
Tél : 0(033)3.89.22.95.50 Fax : 0(033)3.89.22.95.59 -e-Mail : itada@wanadoo.fr
www.itada.org

Le programme d'actions ITADA III est placé sous la maîtrise d'ouvrage du Conseil Régional d'Alsace et cofinancé par :

- le Fonds Européen pour le Développement Régional (programme INTERREG III),
- le Ministère de l'Agriculture du Land de Bade-Wurtemberg,
- le Ministère de l'Agriculture français
- le Conseil Régional d'Alsace,
- l'Agence de l'Eau Rhin Meuse,
- les Cantons suisses de Bâle Ville, Bâle-Campagne, Argovie
- la Confédération helvétique

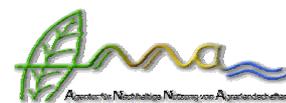
Les réalisateurs du projet 3

**« Production de maïs durable dans la plaine du Rhin supérieur :
conception et évaluation approfondie de systèmes de culture »**

sont :

Chef de projet :	Christian Bockstaller (ARAA)	Colmar
Partenaires :	K. Müller-Sämann (Agence ANNA)	Müllheim
	R. Vetter et J. Maier (IfuL)	Müllheim
	A. Blatz (INRA)	Colmar
	F. Juncker-Schwing (ARVALIS)	Colmar

Association pour la Relance Agronomique en Alsace, Schiltigheim (ARAA)
Agentur für nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften (ANNA)
Institut für umweltgerechte Landwirtschaft, Müllheim (IfuL)
Institut National pour la Recherche Agronomique, Colmar (INRA)
ARVALIS - Institut du Végétal, Colmar



SOMMAIRE

RESUME	5
SITUATION INITIALE ET POSITION DU PROBLEME	6
OBJECTIFS	8
METHODES ADOPTEES (MATERIELS ET METHODES)	8
I . Traitements étudiés	8
II. Sites d'essais	12
III. Les dispositifs	14
IV. Mesures proposées :	14
RESULTATS DETAILLES	16
I . Mise en place des systèmes de cultures	16
II. Mesures au champ : Evaluation globale agronomique et environnementale	25
1. Conditions météorologiques pour les années d'expérimentations	25
2. Maîtrise du désherbage	27
2.1. Notation d'efficacité.....	27
2.2. Suivi de l'évolution de la flore	28
3. Rendement	31
3.1. Pour le maïs	31
3.2. Pour les légumineuses.....	34
3.3. Interprétation des résultats de rendement à l'aide de l'évaluation agronomique .	35
3.3.1. Comptages et notations du peuplement	35
3.3.2. Composantes du rendement.....	38
3.3.3. Stades de développement	39
3.3.4. Suivi tensiométrique.....	40
3.3.5. Effet du sous-semis sur la culture.....	42
4. Réduction du lessivage des nitrates	45
4.1. Nitrates dans le sol	45
4.2. Efficacité du sous-semis	50
4.3. Mesure du lessivage des nitrates à l'aide de bougies poreuses (sites F).....	53
4.4. Estimation du lessivage des nitrates à l'aide de modèle	54
5. Maintien des potentialités du sol	60
III. Mesures au champ : Evaluation analytique de certaines règles de décision	63
1. Choix variétal et résistance aux maladies	63
2. Choix variétal et implantation d'un sous-semis	63
3. Choix de l'espèce de sous-semis, du travail du sol sans labour et de la date d'enfouissement.....	64
4. Absence d'insecticide du sol et de molluscicide.....	64
5. Utilisation des trichogrammes en systèmes innovants.....	65
IV. Evaluation globale à l'aide de la méthode INDIGO	66
V. Qualité de la récolte	70
VI. Evaluation technico-économique : marge et temps de travaux	71
1. Méthode de calcul de marges	71
2. Résultats économiques	72
3. Temps de travaux.....	74
VII. Synthèse des résultats	76

VIII. Discussion générale	77
1. La démarche suivie	77
2. Les résultats obtenus	78
TRANSPOSITION PRATIQUE	81
PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS	82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	83
ANNEXES	87

Résumé

La culture du maïs, malgré son importance économique de part et d'autres du Rhin fait l'objet aujourd'hui d'un nombre croissant de critiques en raison de nombreux problèmes environnementaux qui sont pour parti favorisés par la monoculture. Néanmoins, cette culture présente aussi des marges de progrès (désherbage mécanique, lutte biologique). En s'appuyant sur ces possibilités, le présent travail a pour objectif de proposer des systèmes de culture innovants conciliant rentabilité économique et respect de l'environnement

Entre 2002 et 2005, un système innovant basé en particulier sur la rotation maïs-soja avec culture intermédiaire systématique ou sous-semis dans le maïs, en technique sans labour, sur un désherbage de post-levée à dose réduite suivi d'un binage a été évalué expérimentalement sur 3 sites en Alsace et 2 en Allemagne, en comparaison avec un système raisonné en monoculture de maïs et en labour, sans sous-semis mais avec une stratégie de désherbage et de fertilisation raisonnée. Sur le site de Niederentzen en Alsace, sur sol superficiel de Hardt, il a été finalement décidé de maintenir le système innovant en monoculture de maïs mais avec enfouissement seulement à la sortie de l'hiver du sous-semis, ceci avec une variante supplémentaire en semis en bandes fraisées. Enfin, sur le troisième site alsacien, le système innovant n'a pas pu être mis en place et s'est limité en grande partie à l'introduction du sous-semis.

Les dispositifs expérimentaux s'appuient sur une approche « essais systèmes » développée au sein de l'INRA. Les systèmes mis en place sont décrits par des règles de décisions qui ont évolué dans certains cas. Ils ont été évalués par rapport à des objectifs environnementaux (limitation du lessivage des nitrates, des produits phytosanitaires, maintien de la structure du sol, etc.) et agronomiques (maîtrise du désherbage, rendement), économiques (marge directe) et sociaux (temps de travail, qualité de la récolte) selon les trois piliers de la durabilité. Cette évaluation approfondie s'appuie sur un ensemble de mesures de terrains (rendement, composantes du rendement, reliquats azotés, bougies poreuses sur 2 sites alsaciens, etc.), de calculs (modèle de lessivage, économique), et des calculs d'indicateurs de la méthode INDIGO® (notamment pour le coût énergétique et le risque lié aux produits phytosanitaires) .

Des résultats positifs sur le plan environnemental ont été obtenus, entre autre la diminution de la consommation énergétique, du lessivage des nitrates dans certains cas. Le sous-semis a été implanté avec succès dans une majorité de situations, si l'on excepte l'année 2003 à la forte sécheresse. La stratégie de désherbage en post-levée à profil environnemental favorable n'a pas engendré de forte dérive en densité et en espèces qui seraient devenues incontrôlables. Une certaine flexibilité des règles de décision est cependant nécessaire dans des années ou situations spéciales. C'est ainsi qu'il a fallu à plusieurs reprises ajouter un second traitement ou majorer les doses pour contrôler les repousses de ray-grass ou dans le cas de forte densité et/ou décalage de stades entre adventices. Ceci a engendré des coûts de désherbage supplémentaires mais sans une augmentation notable du risque environnemental pour les eaux souterraines.

Mais ce travail ne permet pas de livrer à la sortie des systèmes de culture durable « clé en main » aux agriculteurs, ceci pour plusieurs raisons :

- la durée des observations devrait probablement être prolongée (doublée ?) :
- les systèmes innovants mis en place ont montré des limites notamment au niveau économique, en particulier du côté alsacien,
- des problèmes de faisabilité technique sont apparus notamment liés à la gestion des repousses de ray-grass.

Néanmoins ce travail a permis d'accumuler une multitude d'observations qui peuvent servir pour les techniciens réfléchissant à l'élaboration de systèmes de culture innovants plus respectueux de l'environnement. Par ailleurs, il a permis d'identifier des questions qui méritent d'être traitées dans le cadre d'essais analytiques, telles le choix de l'espèce de sous-semis, le rôle de la date de récolte du maïs sur l'efficacité du sous-semis, l'impact d'un usage répété du glyphosate, etc.

TITRE : **Production de maïs durable : conception et évaluation approfondie de systèmes de culture**

Auteurs : C. Bockstaller (ARAA), K. Müller-Sämann (Agence ANNA-Müllheim)

Avec la participation de : A. Blatz (INRA Colmar), H. Clinkspoor (ARAA), Thomas Hölscher (ANNA-Müllheim), F. Juncker-Schwing (ARVALIS-Institut du Végétal-Colmar), Jürgen Maier et Jürgen Recknagel (IfuL-Müllheim), Martin Birgaentzle (LEGTA Rouffach)

CHEF DE PROJET

C. Bockstaller (ARAA)

PARTENAIRES

F : A. Blatz et P. Girardin (INRA Colmar)

F. Juncker-Schwing (ARVALIS-Institut du Végétal-Colmar)

D : R. Vetter (IfuL-Müllheim) et par commande

K. Müller-Sämann, T Hölscher (Agence ANNA-Müllheim)

DUREE DU PROJET

2002 - 2005

SITUATION INITIALE ET POSITION DU PROBLEME

La culture du maïs est certainement une des cultures qui a le plus profité du progrès génétique avec l'introduction des variétés hybrides (contribuant en moyenne à un gain de 1q/ha/an, (AGPM-Technique, 2003)). Le maïs est devenu une des trois premières productions céréalières au monde. L'utilisation de variétés hybrides a aussi permis sa culture en monoculture dans bon nombre de régions en France telles les Landes et la plaine du Rhin. Néanmoins ce formidable développement de la culture s'est accompagné d'une série de problèmes environnementaux. Des synthèses régionales (Bretagne et Adour, Barbut et Poux, 2000a ; 2000b) commandées par la DG XI de la Commission Européenne ont fait un point sur cette problématique comprenant différents aspects :

- la pollution par les nitrates (en France, (Delphin et Chapot, 2001 ; Normand et al., 1997) ; en Amérique du Nord, (Ferguson et al., 2002 ; Tan et al., 2002) à cause des sols nus en hiver,
- les transferts de substances actives vers les eaux de surface et de profondeur : des herbicides du maïs dont l'atrazine et ses dérivés sont parmi les plus fréquemment détectés (En France LfU-APRONA-DIREN/SEMA, 2000 ; IFEN, 2003) ; en Amérique du Nord, (Kolpin et al., 2000)),
- les problème de ruissellement et d'érosion (Auzet, 1988 ; Steffan, 2001) avec les problèmes d'entraînement de produits phytosanitaires mais aussi de phosphates (Sharpley et al., 2000),
- l'appauvrissement du milieu en termes de biodiversité dû à la monoculture (Keichinger, 2001 ; Paoletti et al., 1992),
- la forte consommation en engrais minéral nécessitant des énergies fossiles malgré une efficience améliorée depuis les années 70 (Pervançon, 1999 ; Pimentel et al., 1973 ; Swanton et al., 1996).

Ce contexte a contribué fortement à noircir l'image de la culture du maïs et amène certains acteurs à oublier ses atouts ((AGPM, 1994)), comme le nombre réduit de traitements chimiques dans de nombreuses situations. Ainsi en Allemagne, le BBA (Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft), en quelque sorte l'équivalent de l'INRA dans le

pays, a calculé un indice de pression polluante¹ de 1,16 pour le maïs contre 2,8, 3 et 6,0 pour le colza, les betteraves et les pommes de terre. Ceci s'explique en partie par l'approche génétique (résistance aux maladies) et les possibilités de lutte biologique ou de désherbage mécanique qui sont pistes à ne pas négliger. Par ailleurs le rôle économique primordial dans l'agriculture alsacienne (81 % de la production de céréales et oléagineux en 2002, (Lasserre et al., 2003)), et du pays de Bade (plus de 70 % des surfaces cultivées en maïs du Bade-Wurtemberg le sont en plaine du Rhin (Müller-Sämann et Hölscher 2005)) ne peut être occulté. Ces constats illustrent la nécessité de travaux sur des pratiques culturelles conciliant les deux composantes, économique et environnementale, de la durabilité des exploitations.

De nombreux travaux conduits sur ce sujet se sont centrés sur une problématique particulière (fertilisation azotée, gestion de l'interculture, etc., cf. travaux ITADA et autres) souvent dans des conditions d'expérimentations un peu éloignées de la réalité de la parcelle de l'agriculteur. Or face à l'ampleur du problème, une réflexion plus globale sur l'ensemble du système de culture, la succession culturale et l'itinéraire technique (en d'autres termes la conduite de la culture) est nécessaire pour associer de manière cohérente toutes les possibilités d'améliorations et jouer sur d'éventuelles synergies (Reau et al., 1996). A la fin des années 80 et début des années 90, un certain nombre d'expérimentation sont mis en place pour comparer des systèmes de culture basés sur les principes de la Production Intégrée ou biologique aux systèmes conventionnels (Holland et al., 1994). La Production Intégrée repose sur une association de moyens non chimiques (utilisation des effets de la rotation, lutte biologique, désherbage mécanique, etc.) et une utilisation limitée des produits phytosanitaires non dommageable à l'environnement, basée sur l'observation des cultures (El Titi et al., 1993 ; Viaux, 1999). Des travaux ont ainsi été effectués en Allemagne (El Titi, 1992 ; Steinmann et Gerowitt, 2000 ; Steinmann, 2005), en Suisse (Häni, 1993 ; Mäder et al., 2002) comme en France (Viaux, 1997). Pour l'ensemble de ces travaux, les rotations testées ne comprenaient que rarement une forte proportion de maïs. Au niveau régional, des essais « conduite de culture du maïs » allant dans ce sens ont été menés entre 1993 et 1995 par les Chambres d'Agriculture et l'ITCF (Lasserre et al., 1996). Mais, l'accent était plutôt technico-économique et les itinéraires testés reposaient plutôt sur une réduction systématique des intrants. Par ailleurs, un des volets d'un des précédents travaux conduits par le chef de projet (A4 programme ITADA 2) a porté sur des essais et l'évaluation sur le terrain d'un ensemble de pratiques culturelles chez des agriculteurs (Bockstaller et al., 2000). Cependant, ce travail n'avait pas porté sur des systèmes nouvellement conçus mais plutôt sur quelques techniques « innovantes » intéressantes mises en œuvre par les agriculteurs et dont la portée restait forcément limitée. Enfin, le contexte a évolué depuis avec l'émergence du concept de production raisonnée, traduite pour le maïs par une charte de la production raisonnée et un manuel de référence technique (AGPM-Technique, 2001) en plus de l'amélioration de la maîtrise de certaines techniques (nouveaux désherbants, désherbage sur le rang, etc.).

Il a donc été proposé dans ce projet de tester expérimentalement chez des agriculteurs en parcelle agricole (i.e. avec le matériel de l'agriculteur) un ensemble cohérent de pratiques culturelles (i.e. des systèmes de culture) :

- basé sur la Charte de Production selon les critères de l'Agriculture Raisonnée de l'Association Générale des Producteurs de Maïs (AGPM-Technique, 2001).
- plus novateur inspiré des principes de la Production Intégrée (Viaux, 1999) qui va plus loin que le concept précédent d'agriculture raisonnée (Pervanchon & Blouet, 2002).

Ce rapport final du projet récapitule l'ensemble des travaux qui ont débuté en 2002 du côté alsacien, et en 2003 du côté allemand (en raison de certains retards administratifs de mise en place du programme ITADA III), et se sont achevés en 2005.

¹ Cet indice utilisé par les méthodes IDEA en France (Vilain, 2003), REPRO et KUL en Allemagne (voir rapport final projet ITADA 4) est calculé de la manière suivante : (dose/dose homologuée).(surface traitée/surface assolée)

OBJECTIFS

- Evaluer globalement et tester la faisabilité de systèmes de culture du maïs permettant de concilier objectifs économiques et environnementaux, basés sur une Charte de Production Raisonnée ou sur les principes de la Production Intégrée, ceci sur un laps de temps suffisant pour mettre en évidence certains effets cumulatifs.
- Utiliser à terme les dispositifs comme sites de démonstration afin de lever des réticences chez les agriculteurs à mettre en œuvre ces systèmes de cultures innovants basés sur la production raisonnée ou intégrée.

METHODES ADOPTEES (MATERIELS ET METHODES)

Ce travail est fondé sur l'approche « essai système » développée par l'INRA (Meynard et al., 1996) et que nous avons adoptée dans le projet A4 du programme ITADA 2 ((Bockstaller et al., 2000)). Par rapport aux travaux cités dans l'introduction, ces auteurs ont formalisé l'approche de comparaison des systèmes de culture en la basant sur :

- la conception de système de culture définie par des règles de décision plus ou moins précisément formalisées,
- l'évaluation au champ, en parcelles « agricoles » (utilisant généralement le matériel d'un agriculteur).

La partie évaluation comprend :

- une évaluation globale qui portera sur le niveau de réalisation des objectifs globaux (Ex : atteinte du rendement objectif, limitation du lessivage par les nitrates).
- l'explication de ces résultats par une évaluation agronomique (par les composantes de rendements) et une évaluation analytique des règles de décision.

Un essai système se veut ainsi être le support pour une observation approfondie des systèmes de culture afin de comprendre les mécanismes qui arrivent aux résultats finaux observés (Meynard, com. pers.)

A la différence du travail dans le projet A4, où seul le volet évaluation a été traité, ce projet porte sur les deux volets conception et évaluation. Les systèmes de culture ont été mis au point empiriquement avec le concours des collègues des instituts techniques et SUAD, et les documents de l'AGPM-Technique cités plus haut.

I. Traitements étudiés

Les traitements initialement prévus sont décrits dans les Tableaux 1 et 2 :

- **un système « raisonné »** en monoculture inspiré de la Charte de Production rédigée par l'AGPM-Technique (AGPM-Technique, 2001) et qui reprend pour l'azote les conseils des opérations Ferti-Mieux en Alsace.
- **un système « innovant »**, basé sur les principes de la Production Intégrée qui comprend une rotation (maïs/soja + culture intermédiaire) implantée en non-labour (chiselage) et vise à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires (désherbage combiné, chimique et mécanique, lutte biologique contre la pyrale...). La rotation proposée bien que simplifiée par rapport aux références de l'OILB² en Production Intégrée est basée sur deux cultures qui se complètent bien agronomiquement (Porter et al., 1997) et qui permettent lorsqu'elles sont en rotation une réduction du risque sur le revenu (Helmers et al., 2001) aux Etat-Unis. La succession laisse par

² Organisation Internationale de Lutte Biologique qui attribue un label « Production Intégrée » (Ex : groupe de viticulteurs Typhlo en Alsace).

ailleurs des bons souvenirs aux maïsiculteurs alsaciens qui l'ont pratiquée dans les années 80 (cf. témoignages d'agriculteurs dans le projet A4).

Les différences entre les deux systèmes reposent non pas tant dans la gestion des intrants, (engrais N, P, K, désherbage) que dans la succession, la gestion de l'interculture et le travail du sol. Pour maintenir la cohérence du système innovant, il était aussi nécessaire d'adapter le choix variétal (variété plus précoce à port dressée pour favoriser le sous-semis³). Pour la fertilisation P K, les règles de décisions proposées reposent sur des méthodes voisines, si ce n'est que la méthode Régifert de l'INRA (Pellerin et al., 2000) est un peu plus élaborée et va un peu plus loin dans le conseil des impasses.

Au niveau désherbage, poste clé dans la culture du maïs, le choix s'est porté sur une stratégie de post-levée sans atrazine avec des molécules à bon profil environnemental en se basant sur l'indicateur I-Phy de la méthode INDIGO® (van der Werf et Zimmer, 1999 ; Bockstaller, 2004). La règle de décision dans le système raisonné est basée sur un respect « extrême » de l'engagement de la charte de production de l'AGPM-Technique, (2001). La seule différence avec le système innovant est le possible recours à un double traitement qui semble prometteur dans une logique en tout chimique (Lasserre et al., 2003 ; Gassman et Fischesser, 2003). En système innovant, l'association avec un désherbage mécanique est la règle (en passage séparé néanmoins et non en combinaison rang/interrang qui n'a pas donné de bons résultats en Alsace (Imgraben et Juncker-Schwing, 1997).

On notera aussi des différences dans la lutte contre la pyrale (lutte biologique en système innovant selon les principes de la Production Intégrée), et des règles de décision pour la récolte adaptées à la croissance d'un sous-semis.

³ Le sous-semis dans le cas du maïs désigne un semis sous couvert dans les interrangs d'une culture piège à nitrate, réalisé généralement entre les stades 8 et 12 feuilles du maïs.

Tableau 1 – Règles de décision pour la conduite du maïs raisonné

Élément du système	Règles de décision	Justification
Succession	Monoculture de maïs <u>sans</u> culture intermédiaire	Pratique de la monoculture courante, pas remise en question par le manuel de l'AGPM-Technique (2001)
Travail du sol	Classique (labour, reprise)	Pratique courante, sachant que le manuel de l'AGPM-Technique (2001) reste réservé sur le non-labour
Variété	<u>Indice</u> : 300-320 <u>Résistance</u> dans l'ordre de priorité : helmintho> fusariose> charbon inflor.> <u>Notes</u> <i>helmintho</i> : ≤ 2,5 (R/M) <i>charbon inflor</i> ≤ 7 <i>fusariose</i> : AR et plus	Pratique courante avec raisonnement du choix variétal en fonction de la pression maladie (helminthosporiose surtout) en accord avec le manuel de l'AGPM-Technique (2001)
Semis	<u>Date et profondeur</u> en conditions normales. <u>Insecticide du sol</u> seulement si risque taupin important <u>Densité</u> : valeur moyenne de la recommandation pour la variété	Selon pratique courante avec raisonnement du traitement insecticide en accord avec le manuel de l'AGPM-Technique (2001)
P, K	Selon méthode COMIFER, impasse au besoin	Selon manuel de l'AGPM-Technique (2001)
N	Dose et fractionnement selon conseils Ferti Mieux Dose 1 ^{er} apport <u>Ordre de priorité sur sol superf.</u> 18/46 localisé (18 à 27 kg N) au semis > ou 0 au semis >ou 50 au semis <u>Ordre de priorité sur sol profond</u> 18/46 localisé (18 à 27 kg N) au semis > ou 50 au semis > ou 0 au semis Enfouissement urée (binage ou irrigation)	Selon manuel de l'AGPM-Technique (2001) qui fait référence aux conseils de Ferti-Mieux pour limiter les pertes de lessivage après apport
Désherbage	<u>Tout en post</u> sans atrazine avec produits à spectre large. <i>En l'absence de graminées</i> : Stades 4-5 feuilles : 0,5 l CALLISTO 7-8 feuilles : 0,5 l CALLISTO (si nécessaire) <i>En présence graminées</i> : Stades 4-5 feuilles : 0,5 l CALLISTO + 0,5 l MILAGRO 7-8 feuilles : 0,5 l CALLISTO + 0,5 l MILAGRO (si nécessaire) Dans tous les cas : on ne recherchera pas une propreté à 100 % pour espèces non nuisibles. Désherbage si humidité de l'air suffisante (matin avant 9 h) Binage éventuel si possible et nécessaire	Le manuel de l'AGPM-Technique (2001) le présente comme une nouvelle technique « alliant économie et efficacité ».
Pyrale	Traitement chimique selon avertissement ou contrôle avec Trichogramma (D) si la pratique est établie sur l'exploitation	Selon pratique courante en accord avec le manuel de l'AGPM-Technique (2001)
Irrigation	Pilotage avec tensiomètres et avertissement (F) ; selon recommandation du programme du pilotage « Beregnungssteuerung ; DWD, (D)	
Récolte	A maturité (≤ 32 % humidité) Broyage résidus si possible	

Tableau 2 - Règles de décision pour la conduite du maïs innovant.

Élément du système	Règles de décision	Justification
Succession	Rotation maïs-soja avec sous-semis en maïs et culture intermédiaire après soja (moutarde, avoine) en non labour	effet positif du soja sur la structure, apport d'N par le soja (légumineuse), utilisation d'autres molécules de désherbage, implantation d'une CIPAN facilitée par le soja.
Travail du sol	Rouffach Chisel à 20 cm en automne + vibro ou compactor avant semis Niederentzen Chisel à 15 cm en mars + vibroculteur au moment du semis SteinStadt/Viehwegacker : Chisel avant légumineuse ; Fraise à bandes pour maïs	Suppression du labour pour viser des économies de carburant, améliorer l'activité biologique du sol, protéger le sol contre l'érosion (hors contexte du projet)
Variété	<u>Indice</u> : 280 à port dressé <u>Résistance</u> dans l'ordre de priorité : helmintho>charbon inflor.>fusariose <u>Note</u> <i>helmintho</i> : ≤ 2,5 (R/M) ; <i>charbon inflor</i> ≤ 4 <i>fusariose</i> : AR et plus	Choix d'une variété un plus précoce pour une date de récolte plus précoce et un port dressé pour favoriser le sous-semis. Variété résistante pour limiter les traitements chimiques
Semis	<u>Date et profondeur</u> en conditions normales. <u>Insecticide du sol</u> seulement si risque taupin important. Eventuellement anti-limace à base de <i>métaldéhyde</i> <u>Densité</u> : valeur maxi recommandation pour la variété	Raisonnement pour limiter les traitements chimiques. La densité est à raisonner en fonction du risque de perte de levée possible en situation de non-labour
P, K	Selon méthode REGIFERT, impasse au besoin ; (LEL, en Allemagne (Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume [CB2]))	méthode développée par l'INRA plus explicite pour la décision des impasses pour économiser des engrais minéraux, ressource non renouvelable
N	Cf. maïs raisonné maïs en fonction d'un reliquat avant semis, on adaptera	Le reliquat servirait à estimer un éventuel effet sous-semis, et/ou un retard minéralisation en non labour)
Sous-semis	<u>Espèce</u> : <i>ray-grass hybride Taldor</i> <u>Dose semis</u> : 20 kg/ha (RH+trèfle) <u>Date Semis</u> : au dernier apport N lors binage (stage 9-10 feuilles) Couvert laissé jusqu'à nov. / décembre, application de glyphosate si repousses trop développées,	Sur la base d'expérimentation locale du SUAD du Bas-Rhin
Désherbage	<u>Tout en post</u> sans atrazine avec produits à spectre large et bon profil environnemental (IPHY>7) + binage en rattrapage <u>En l'absence de graminées</u> : Stades 4-5 feuilles : 0,7 l CALLISTO <u>En présence graminées</u> (repousses de RG): Stades 4-5 feuilles : 0,7 l CALLISTO +0,5 l MILAGRO Binage à l'enfouissement de l'urée et au sous-semis Dans tous les cas : on ne recherchera pas une propreté à 100 % pour espèces non nuisibles Désherbage si humidité de l'air suffisante (avant 9 h)	Utilisation réduite des moyens chimiques avec des molécules à bon profil environnemental avec recours complémentaire à un moyen non chimique (binage).
Pyrale	Trichogramme selon avertissement et risque « système » (en cas de résidus en surface)	Utilisation de la lutte biologique pour économiser un traitement chimique
Irrigation	Pilotage avec tensiomètres et avertissement irrigation (SUAD 68 (F), DWD, (Deutscher Wetterdienst, -online Berechnungssteuerung)	Pour limiter la consommation en eau
Récolte	Avant 10 octobre Broyage moissonneuse pas de broyeur	Pour favoriser le développement du sous-semis

Modification des systèmes de culture prévus

Par rapport au système initialement prévu, il n'a pas été possible de mettre en place une culture de soja en Alsace, en raison de l'abandon de cette culture par tous les collecteurs alsaciens à la suite de l'abaissement des primes PAC pour l'espèce.

Lors de la réunion du groupe technique (avec partenaires de l'ITCF, SUAD 67 et 68) en février 2002, il a été décidé :

- d'introduire la **féverole** à la place du soja sur le site de Rouffach, cette culture ayant déjà été testée sur l'exploitation en question.
- de rester en monoculture sur le site en sol de Hardt superficiel de Niederentzen mais avec deux innovations importantes : maintien du sous-semis jusqu'à la sortie de l'hiver et suppression du labour avec 2 sous variantes :
 - ⇒ chisel
 - ⇒ « semis direct » qui a finalement consisté en un travail du sol en bande (cf. chapitre « Résultats détaillés » § I « mise en place des systèmes de cultures » et Annexe 1)

Ce choix d'un système basé sur une monoculture « aménagée » pour le site de Niederentzen a été motivé par le fait que les conditions de sol très superficielles limitaient fortement le choix des cultures. Or le traitement de maintien de couverture hivernale, est possible sur ces sols car le faible taux d'argile ne nécessite pas de travail du sol avant l'hiver. Il était donc intéressant de tester cette solution a priori favorable pour limiter les fuites de nitrates et pour la biodiversité (Bigler et al., 1995). Un tel système n'a pas été testé de manière approfondie par ailleurs en Alsace.

Du côté allemand, on s'est calé sur les règles de décision données dans les Tableaux 1 et 2. Le système innovant est donc basé sur une rotation maïs/soja tout en adaptant le travail du sol pour le système allemand (cf. Tableau 9, Annexe 1).

Le Tableau 3 un peu plus loin donne un récapitulatif des systèmes mis en place.

II. Sites d'essais

Du côté alsacien :

Mise en place de deux essais en 2002 :

- Sur une parcelle de la ferme du Lycée Agricole de Rouffach sur un sol limono-argilo-sableux calcique à calcaire profond faiblement hydromorphe sur alluvions récentes de la vieille Thur (Description en Annexe 2 faite par J.P. Party, Sol Conseil) avec un passé rotation, betterave/2-3 maïs et irrigation.
- Sur une parcelle d'un agriculteur de Niederentzen en sol de type Hardt superficielle en monoculture de maïs irrigué (Sol rouge lessivé limono-sablo-argileux à limono-argilo-sableux peu à moyennement profond caillouteux de Hardt rouge, (Description en Annexe 2 faite par J.P. Party, Sol Conseil).
- Un troisième site dans le Bas-Rhin sur sol de loess plus profond a été mis en place en 2003 seulement. Malgré les efforts d'un conseiller de l'ADAR de Benfeld (Chambre d'Agriculture 67), il a été difficile de trouver un agriculteur répondant aux exigences de ce type d'essai (type de sol limoneux profond, possibilité de ne faire que du maïs pour le traitement raisonné, matériel, disponibilité, ouverture ...). L'agriculteur trouvé en 2003 répondait à certaines exigences en terme de sol, matériel, culture du maïs avec sous-semis maïs en monoculture. Néanmoins, il n'a pas été possible de mettre en place tout le système innovant tel que décrit dans le Tableau 2 (cf. Tableau 9). Ainsi nous sommes restés en monoculture de maïs sur ce troisième site qui a surtout servi à tester l'efficacité du sous-semis.

Du côté allemand :

Deux essais ont été mis en place en 2002 :

- Sur un site « Steinenstadt », 2 km au SE d'Auggen (près de Müllheim), sur sol limono-argilo-sableux profond (classe sL Ackerzahl : 59 dans la nomenclature allemande, cf. Annexe 2) sans irrigation, succession 2000-2002 maïs/blé/maïs avec des apports de fumier de bovin dans le passé.
- Sur un site « Viehwegacker », à côté de l'essai rotation de l'IfuL, 2 km au NO de Müllheim sur sol superficiel (classe sL Ackerzahl : 49 dans la nomenclature allemande, cf. Annexe 2) en situation irriguée, succession 2000-2002 maïs/blé/maïs.

Tableau 3 – Récapitulatif des systèmes de culture mis en place.

Lieu	Début Expéri- menta- tion	Type de sol	Systèmes mise en place	Succession	Travail sol
Alsace					
Rouffach	2002	Sol limono-argilo-sableux profond	<u>Raisonné</u> : <u>Innovant</u>	monoculture maïs Maïs+s.-sem./ féverole-moutarde	Labour Chisel
Niederentzen	2002	Sol de Hardt rouge lessivé peu à moyennement profond caillouteux	<u>Raisonné</u> : <u>Innovant 1</u> <u>Innovant 2</u>	monoculture maïs Maïs+s.-sem. Maïs+s.-sem.	Labour Chisel « Semis direct » ^a
Rosheim	2003	Sol loessique	<u>Raisonné</u> : <u>Innovant</u>	monoculture maïs Maïs+s.-sem.	Labour Labour?
Bade-Wurtemberg					
Steinenstadt	2003	Sol limono-argilo-sableux profond (classe sL Ackerzahl = 59)	<u>Raisonné</u> : <u>Innovant</u>	monoculture maïs Maïs+s.-sem./ soja-avoine print. ^b	Labour Chisel
Viehwegacker	2003	Sol peu profond (classe sL Ackerzahl = 45)	<u>Raisonné</u> : <u>Innovant</u>	monoculture maïs Maïs+s.-sem./ soja-avoine print. ^b	Labour Chisel

^a en fait un travail du sol réduit en bande, cf. chapitre « Résultat détaillé » §I « Déroulement des cultures » Tableau 4 et Annexe 1

^b pois-moutarde en 2005 côté allemand (cf. chapitre RESULTATS DETAILLES Mise en place des systèmes de cultures)

III. Les dispositifs

Le choix de travailler avec le matériel de l'agriculteur sur des surfaces agricoles (quelques ares au moins) est une contrainte majeure dans ces dispositifs, en particulier en présence d'irrigation. Ainsi il n'est pas toujours possible d'introduire des répétitions en blocs aléatoires (Meynard et al., 1996). Ce cas de figure se retrouve même dans des dispositifs de recherche lourds par exemple celui de l'INRA de Dijon « système de culture et désherbage » (Munier-Jolain, com. pers.).

Les plans des dispositifs de nos essais sont donnés en Annexe 3. La disposition des traitements a été déterminée principalement en fonction de l'irrigation.

Comme une éventuelle hétérogénéité des sols ne pouvait pas être prise en compte dans le dispositif expérimental, des analyses plus détaillées ont été réalisées sur les sites de Niederentzen et Rouffach (Annexe 4). Dans l'ensemble les différences entre traitements sont faibles si ce n'est à Niederentzen, la zone Sud de la parcelle, où le taux de cailloux est plus faible (visuellement) et le taux d'argile un peu plus élevé (avec un gradient d'Est en Ouest). Néanmoins cette zone de sol apparemment meilleur (cf. Figure 4a et commentaires) est assez bien prise en compte par les répétitions non aléatoires du dispositif. Pour Rouffach, les analyses ne montrent pas de grandes différences. Cependant, le pédologue JP Party a jugé bon de réaliser deux profils du Nord au Sud (Annexe 2) en raison notamment de différence de pH. Ce gradient peut avoir des conséquences sur le traitement innovant qui selon les années peut souffrir de conditions pédologiques qui diffèrent légèrement. Le traitement raisonné avec sa position moyenne se retrouverait au milieu de ce gradient ce qui limite les écarts avec les deux parcelles du système innovant. Au niveau des analyses de sol en surface (laboratoire INRA Arras), ceci s'est traduit par un pH de 7,2 contre 7 et 7,4 pour les parcelles Sud et Nord du traitement innovant. Pour le taux d'argile et de matière organique, les analyses sur 30 cm du laboratoire d'Arras n'ont pas révélé de différence (Annexe 4).

Du côté allemand, avec la mise en place des « systèmes innovants » à gauche et à droite du témoin « système raisonné » sur plusieurs années, il s'est établi une égalité du gradient dans cette direction. Les hétérogénéités dans la longueur du dispositif peuvent être estimées à partir des écarts types trouvés dans l'analyse statistique faite à partir des fausses répétitions (Annexe 3).

IV. Mesures proposées :

Les systèmes étant mis en place, il s'agit de les évaluer. Nous avons repris la démarche de Meynard et al.(1996) en 3 étapes :

- Une évaluation globale visant à estimer le degré d'atteinte des objectifs fixés initialement qui sont :*
 - ⇒ La rentabilité économique estimée par le rendement, le calcul de marges
 - ⇒ La qualité de la récolte.
 - ⇒ La faisabilité technique : réussite du désherbage du maïs
 - ⇒ Un temps de travail acceptable : calcul des temps de travaux.
 - ⇒ La conservation des potentialités du sol : maintien d'une bonne structure du sol et de la fertilité chimique du sol.
 - ⇒ La préservation de l'environnement : réduction des pertes en nitrates, diminution des risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires, coût énergétique.

Le choix de ces objectifs est basé sur les principes de l'agriculture durable et des ses 3 dimensions environnementale, économique et sociale (Yunlong et Smit, 1994 ; Christen, 1999 ; Vidal et Marquer, 2002), de la pertinence régionale mais aussi de leur cohérence

avec l'échelle de travail. En effet, au niveau du système de culture, il n'est pas pertinent de traiter de thématiques telle la transmissibilité de l'exploitation ou du paysage. La dimension économique est traitée par la rentabilité et la faisabilité technique, la dimension sociale par l'acceptabilité par l'agriculteur en termes de temps de travaux et l'environnement par les aspects de qualité de l'eau notamment mais aussi de protection de la fertilité des sols. Vu la localisation, la thématique de l'érosion ne sera pas abordée. Certains objectifs peuvent répondre à plusieurs enjeux. Ainsi la maîtrise du désherbage est une étape clé de la réussite de la culture mais présente aussi des enjeux environnementaux, certains herbicides du maïs étant fréquemment détectés dans les eaux (AGPM-Technique, 2001).

- Une évaluation agronomique visant à expliquer les résultats précédents notamment le rendement
 - ⇒ Notation de peuplement, mesure des composantes de rendements.
 - ⇒ Mesure teneur en azote des plantes pour évaluer la nutrition azotée
- Une évaluation analytique de règles de décision
 - ⇒ la pertinence du choix variétal quant à la résistance aux maladies
 - ⇒ le choix variétal et la date de récolte pour favoriser la réussite du sous-semis
 - ⇒ choix de l'espèce de sous-semis, du travail du sol sans labour et de la date d'enfouissement
 - ⇒ l'absence d'insecticide du sol et de molluscicide.
 - ⇒ l'utilisation des trichogrammes

Le détail des protocoles de mesures sera donné avant la présentation de chaque type de mesure. L'évaluation expérimentale des objectifs environnementaux ne portera que sur certaines thématiques pour des raisons de faisabilité des mesures. Elle sera complétée par l'utilisation de la méthode INDIGO[®] (Bockstaller, 2002b ; Bockstaller et Girardin, 2002c) qui repose sur une batterie d'indicateurs dont les premiers travaux ont été effectués dans le cadre de projets des programmes ITADA 1 et 2 (Girardin et al., 1997 ; Bockstaller et al., 2000). Une telle démarche a aussi été adoptée pour d'autres essais systèmes avec INDIGO à l'INRA de Toulouse, ou I-Phy (sous son ancien nom Ipest) à l'Université de Goettingen dans le projet INTEX (de Mol et al., 2003). Cette méthode sera complétée pour la thématique des nitrates par l'utilisation de modèle de lessivage qui doit permettre une évaluation dynamique du lessivage.

Il est à noter que pour l'évaluation de l'objectif réduction des nitrates, les sites alsaciens de Rouffach et de Niederentzen ont été équipés à l'automne 2002 de bougies poreuses dans le cadre d'un projet « observatoire des fuites de nitrates » mené par l'ARAA (Burtin et Rapp, 2005).

RESULTATS DETAILLES

L'ensemble des résultats qui suit fera l'objet d'une synthèse à la fin de ce grand chapitre. Avant d'aborder les résultats des expérimentations proprement dites, nous analyserons la mise en place des systèmes de culture qui fournit une information sur la faisabilité des règles de décision.

I. Mise en place des systèmes de cultures

Les systèmes de culture mis en place sur les différents sites sont décrits pour l'année 2004 dans les tableaux 4 à 8 et en Annexe 1 (2002, 2003, 2005)

Tableau 4 – Itinéraires techniques mis en place sur les systèmes étudiés à Niederentzen en 2004 (les autres années en Annexe 1).

Niederentzen 2004			
Eléments du système	Raisonné	Innovant1	Innovant2
Travail du sol	25/11/03 : labour 22/03/04 : herse 01/04/04 : vibroculteur	18/03/04 : chisel 18/03/04 : herse rotative	22/04/04 : travail du sol et semis combiné fraise 18 cm
Semis	14/04/04 : var, Masaba: 95000 graines/ha	14/04/04 : var, DKc3420 99900 graines/ha	14/04/04 var, DKc3420 99900 graines/ha
Fertilisation (kg /ha)	06/04/04: 18-46 : 36 N + 92 P ₂ O ₅ 07/04/04 : KCl 108 K ₂ O 03/06/04 : urée 92 N 15/06/04 : urée 87 N Total N : 216 N	Idem Raisonné	Idem Raisonné
Désherbage	19/05/04 0,5 L Callisto + 0,5 L Milagro 15/06/04 binage 28/05/04 0,7 L/ha Callisto	19/05/04 0,5 L Callisto + 0,5 L Milagro 28/05/04 0,7 L/ha Callisto 15/06/04 binage	19/05/04 0,5 L Callisto + 0,5 L Milagro 28/05/04 0,7 L Callisto + 1 L Milagro 15/06/04 binage
Traitement pyrale	non	11/06/04 trichogramme	11/06/04 trichogramme
Irrigation	2 tours d'eau	2 tours d'eau	2 tours d'eau
Sous semis		15/06/04 ray gras (var, Fidgi) 16 kg/ha	Idem Innovant 1
Récolte	27/10/04	27/10/04	27/10/04
Broyage	03/11/04	03/11/04	03/11/04

Tableau 5 – Itinéraires techniques mis en place sur les systèmes étudiés à Rouffach en 2004 (les autres années en Annexe 1).

Rouffach 2004			
Eléments du système	Raisonné	Innovant sud soja	Innovant nord mais
Travail du sol	17/11/03 : labour 26/03/04 : compactor 14/04/04 : compactor	10/12/03 : chisel 26/03/04 : compactor 14/04/04 : compactor 15/10/04 : chisel	08/12/03 : chisel 26/03/04 : compactor 14/04/04 : compactor
Semis	16/04/04 : var, DKc3660 95000 graines/ha	04/05/04 645000 graines/ha	16/04/04 : Nexxos 102500 graines/ha
Fertilisation (kg /ha)	03/04/04 : KCl 120 K ₂ O 14/05/04 : urée 69 N 15/06/04 :urée 96 N Total N : 165 N	03/04/04 : KCl 120 K ₂ O	03/04/04 : KCl 120 K ₂ O 14/05/04 : urée 69 N 15/06/04 :urée 96 N Total N : 165 N
Désherbage	18/05/04 0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 15/06/04 : binage	05/05/04 : métolachlor 4,3 L/ha + Ronstar 1,95 L/ha 07/06/04 : Targa 0,5 LI/ha	18/05/04 : 0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 28/05/04 : 0,7 L Milagro 15/06/04 : binage
Traitement pyrale	11/06/04 trichogramme		11/06/04 trichogramme
Irrigation	3 tours d'eau	3 tours d'eau	3 tours d'eau
CIPAN/Sous semis		25/10/04 : seigle 200 kg/ha	15/06/04 : 16 kg /ha ray-grass fidgi
Récolte	06/10/04	04/10/04	06/10/04
Broyage	13/10/04		13/10/04

Tableau 6 - Itinéraires techniques mis en place sur les systèmes étudiés à Rosheim en 2004
(les autres années en Annexe 1).

Rosheim 2004		
Eléments du système	Raisonné	Innovant
Travail du sol	10/12/03 : labour 25/03/04 : herse 08/04/04: vibroculteur	Idem Raisonné
Semis	14/04/04 var, Pollamax 103000 graines/ha	Idem Raisonné
Fertilisation (kg /ha)	20/11/03: 0/20/30 130 P ₂ O ₅ 195 K ₂ O 8/4/04: NH ₃ injection 140 N 14/04/04: 18/46 localisé 27 N + 69 P ₂ O ₅ 24/5/04: Ammonitrate 33,5 N Total N = 200 N	Idem Raisonné
Désherbage	14/4/04 : 4 L alachlore (localisé sur 50 % surface) 5/5/04 : 0,4 L Banvel + 2 L Basanaris (en plein) 17/5/04 : 0,3L/ha Banvel + 0,3 L/ha Isotac adjuvant (en plein)	Idem Raisonné 24/05/04 : binage
Traitement pyrale	12/7/04 25 kg Dursban granulé	11/6/04: trichogramme
Irrigation	6 tours d'eau	6 tours d'eau
Sous semis		24/05/04: 15 kg ray grass
Récolte	13/10/04	13/10/04

Tableau 7- Itinéraires techniques mis en place sur les systèmes étudiés à Steinenstadt en 2004 (les autres années en Annexe 1).

Steinenstadt 2004			
Eléments du système	Raisonné	Innovant maïs	Innovant soja
Travail du sol	24/11/03 : labour 23/04/04 : herse 23/04/04 : semoir	22/04/04 : travail du sol et semis combiné fraise 18 cm	13/10/03 : chisel +, semis Seigle (CIPAN) 30/03/04 : vibroculteur 30/04/04 : Rototiller+semoir
Semis	23/04/04 : var, Dracila 85 000 graines/ha	22/04/04 : var, Nexxos 100.000 graines/ha	30/04/04 var, Essor 600.000 graines/ha
Fertilisation (kg /ha)	22/04/04: 20-11-18-3 40 N + 22 P ₂ O ₅ +36 K ₂ O 09/06/04 : ammonitrate 27 91 N Total N : 131 N	22/04/04: 18-46 : 36 N + 92 P ₂ O ₅ 09/06/04 : solution liquide (procédé CULTAN) 85 N Total N : 121 N	
Désherbage	24/05/04 0,8 L Callisto + 0,8 L Motivell + 0,3 L Orefa Dicamba	01/04/05: 2,5 L Roundup Turbo 24/05/04 0,5 L Callisto + 0,5 L Motivell + 0,3 L Orefa Dicamba 14/06/04 binage	07/06/04 1 L Basagran + 5 g Harmony 15/06/04 1 L Fusilade max 1,5 L + Basagran + 5 g Harmony
Traitement pyrale	30/06/04 trichogramme	30/06/04 trichogramme	-
Irrigation	-	-	-
Sous semis/CIPAN		14/06/04 ray-grass 20 kg/ha	25/08/04 avoine printemps (var. Jumbo)
Récolte	05/10/04	05/10/04	05/10/04
Broyage	16/11/04	16/11/04	

Tableau 8- Itinéraires techniques mis en place sur les systèmes étudiés à Viehwegacker en 2004 (les autres années en Annexe 1).

Viehwegacker 2004			
Eléments du système	Raisonné	Innovant maïs	Innovant soja
Travail du sol	12/12/03 : labour 13/04/04 : herse ? 22/04/04 :semoir	22/04/04 : travail du sol et semis combiné fraise 18 cm	31/12/03 : chisel 13/04/04 : herse vibroculteur 20/04/04 : 2 * herse 30/04/04 : Rototiller+semoir
Semis	23/04/04 : var, Dracila 85.000 graines/ha	22/04/04 : var, Nexxos 100.000 graines/ha	30/04/04 var, Essor 600.000 graines/ha
Fertilisation (kg /ha)	26/04/04: 9-23-15-6 36 N + 92 P ₂ O ₅ +60 K ₂ O 09/06/04 ammonitrate 27 105 N Total N : 141 N	22/04/04: 18-46 : 36 N + 92 P ₂ O ₅ 09/06/04 solution liquide (procédé CULTAN) 86 N Total N : 122 N	
Désherbage	24/05/04 0,8 L Callisto + 0,8 L Milagro + 0,3 L Orefa (dicamba)	01/04/05: 2,5 L Roundup Turbo 24/05/04 0,5 L Callisto + 0,5 L Milagro + 0,3 L Orefa (dicamba 14/06/04 binage	01/04/05: 2,5 L Roundup Turbo 07/06/04 1 L Basagran + 5 g Harmony 15/06/04 1, L Fusilade max + 1 L Basagran + 5 g Harmony
Traitement pyrale	30/06/04 trichogramme	30/06/04 trichogramme	-
Irrigation	-	-	-
Sous semis /CIPAN		14/06/04 ray-grass 20 kg/ha	25/08/04 avoine printemps (var. Jumbo) + rototiller (pas de récolte)
Récolte	05/10/04 (grêle)	05/10/04 (grêle)	- (grêle)
Broyage	16/11/04	16/11/04	16.08.04

Ce sont les écarts aux règles de décision initiales (Tableaux 1 et 2) plus que l'analyse détaillée de chaque itinéraire par année qui nous intéresse dans le cadre de ce projet. Au chapitre « méthode » nous avons déjà évoqué les adaptations initiales notamment pour la succession (Tableau 3). Le Tableau 9 résume les principaux écarts survenus durant le travail d'expérimentation pour chaque site. Les points suivants sont à noter :

- La première année, les systèmes innovants ont fait l'objet d'un labour. Ceci est vrai en 2002 pour les deux sites dans le Haut-Rhin, Niederentzen et Rouffach, et en 2003 pour les sites dans le Pays de Bade, Steinestadt et Viehwegacker.
- Pour le système innovant 1 à Niederentzen (travail réduit), nous avons préféré utiliser la herse rotative que le vibroculteur pour augmenter l'efficacité du passage de reprise. Pour le système innovant 2, le semis direct a consisté en fait en un travail du sol réduit à une bande de 30 cm environ, à l'aide d'un outil spécial : strip-till en 2003 et d'un outil d'un projet allemand en 2004 et 2005 (Annexe 5).
- Le choix des variétés a évolué en 2004 côté alsacien en raison de l'évolution de l'offre variétale avec le déclin des variétés DK 312 et Nexxos (Lasserre et al., 2004). Pour 2004, le choix a été guidé par les règles de décisions (Tableaux 1 et 2). En 2005, le choix variétal pour les systèmes innovants à Niederentzen a été modifié par rapport aux règles de décision. Nous avons décidé de prendre la même variété à port retombant qu'en système raisonné en raison des observations sur le sous-semis effectué en 2004 et du potentiel inférieur de la variété choisie pour 2004.
- La fertilisation P, K n'a pas fait l'objet d'un ajustement selon les règles de décision initiales. Ces apports se font souvent en dehors des périodes de cultures, où les contacts avec l'agriculteur étaient moins intenses. Ce point ne faisant pas l'objet d'une priorité, nous n'avons pas exercé de « pression » sur les agriculteurs non motivés par cet aspect, vu l'ampleur déjà des efforts demandés.
- L'ajustement de la dose N a été problématique une année à Niederentzen (229 kg N au lieu de 215 kg N conseillés en 2005) et à Rosheim où les écarts ont été systématiques (en moyenne une dose totale de 200 kg N au lieu de 170 kg N conseillés).
- La règle de décision pour le désherbage de post-levée n'a pas été respectée du côté alsacien dans une majorité des cas. A Rosheim, l'agriculteur est resté à une stratégie de prélevée mais en « localisé » (sur 50 % de la surface). Sur les autres sites, dès 2003 un traitement supplémentaire a été nécessaire en systèmes innovants pour contrôler les repousses de ray-grass à Niederentzen et la forte densité de graminées à Rouffach (Tableau 10). En pays de Bade, pour prévenir les résistances en monoculture de maïs (conséquence d'utilisation répétitive de mêmes matières actives), il a été appliqué en une intervention unique un herbicide de pré-levée alors que dans le système innovant, il pouvait être utilisé le même produit de post-levée tous les deux ans (pas danger de résistance).
- Il est à noter cependant que dans les règles de décision, la possibilité d'un traitement au glyphosate a été envisagée. Ce traitement n'a pas été effectué en 2003 et 2004 en raison des conditions sèches (Tableau 11). Les conséquences techniques, environnementales et économiques de cette substitution seront à évaluer.
- La date de récolte pour les systèmes innovants n'a pas été respectée certaines années. Nous reviendrons sur ce point dans la discussion.
- Le choix de l'espèce de CIPAN après soja a été modifiée au profit d'une céréale du côté allemand et puis sur les sites alsaciens. L'avoine de printemps a été préférée par les partenaires allemands à la moutarde car elle s'implante facilement avec un épandeur dans le soja en août et ne pose pas de problème de maladie (sclérotinia). Mais cela ne change pas le fond de la règle de décision (implantation d'une culture intermédiaire) mais juste la modalité (choix de l'espèce).
- Pour le maïs, à la suite d'échanges avec les agriculteurs qui sont intéressés par l'effet agronomique des légumineuses, nous avons choisi d'implanter en 2003 le trèfle

souterrain qui ressortait assez bien des essais du SUAD 67 (Barbot, com. pers.). Mais le dépérissement observé durant la canicule d'août et l'avis du groupe technique (Arvalis, SUAD 67 et 68), nous ont conduit à revenir au ray-grass.

Du côté allemand, on peut encore citer :

- En troisième année d'expérimentation, le soja a été remplacé par une autre légumineuse, le pois de printemps en raison des problèmes agronomiques (désherbage notamment) rencontrés du côté allemand avec le soja.
- Le travail du sol pour le système innovant a été davantage réduit que ce qui est décrit dans les règles de décision (Tableau 2). Une machine permettant le travail du sol uniquement sur des bandes (avec semis de maïs) a été utilisée (Annexe 5)
- L'introduction du procédé CULTAN en 2004 pour la fertilisation azotée, procédé qui a été développé à l'Université de Bonn par Sommer (2001) dans Müller-Sämann et Hölscher (2005). Celui-ci repose sur l'injection en profondeur, un rang sur deux d'une solution ammoniacale (ou ici en solution liquide plus pratique), entraînant le passage à une alimentation azotée de la plante par la voie ammoniacale. Ce procédé doit conduire à une meilleure utilisation de l'azote venant des engrais, ce qui devrait réduire les pertes, et limiter aussi la pression des adventices (en raison d'une application un rang sur deux seulement, et en non plein sur toute la surface) tout en assurant ou en améliorant le rendement. Il s'agit là d'une technique innovante qui va plus loin que la règle de décision basée sur les opération Ferti-Mieux et les conseils de fertilisations « classiques » allemands.
- Par ailleurs, le désherbage a aussi fait l'objet de quelques adaptations. En raison des niveaux d'infestation, il a été décidé en système raisonné de majorer la dose du traitement post-levée plutôt que de repasser à faible dose une seconde fois. Par un ailleurs, un produit antiliseron a été ajouté à faible dose pour favoriser l'action contre le liseron dont le niveau d'infestation était important sur les sites allemands.
- A Viehwegacker, en 2005 un seul apport d'azote a été a été réalisé au semis maïs avec un retardateur de nitrification pour éviter le lessivage précoce après apport. Ceci peut être considéré comme une alternative au fractionnement. En revanche à Steinensstadt en 2005, après l'apport selon la méthode CULTAN, un apport supplémentaire de 80 kg N/ha a été apporté par erreur sur le système innovant en même temps que sur le système raisonné.

Tableau 9 - Principaux écarts aux règles de décision à la base des systèmes de culture (Tableaux 1 et 2). Les parenthèses indiquent des écarts à effets jugés neutres ou positifs.

	2002	2003	2004	2005
Niederentzen	Labour en syst. innovant Fertilisation P, K non ajustée Date de récolte en syst. innovant	Herse rotative en syst. innovant 1 Fertilisation P, K non ajustée 2 ^{ème} passage de désherbant post-levée en syst. innovant Absence de désherbant total avant semis sur sous-semis Trèfle souterrain au lieu du ray-grass	Herse rotative en syst. innovant 1 Fertilisation P, K non ajustée 2 ^{ème} passage de désherbant post-levée Absence de désherbant total avant semis sur sous-semis Date de récolte en syst. innovant	Herse rotative en syst. innovant 1 (Variété à port non dressé en syst. innovant) Fertilisation P, K non ajustée Dose N mal ajustée 2 ^{ème} passage de désherbant post-levée et dose majorée Date de récolte en syst. innovant
Rouffach	Labour en syst. innovant (Féverole de printemps au lieu du soja)	(Féverole de printemps au lieu du soja). 2 ^{ème} passage de désherbant post-levée en syst. innovant Trèfle souterrain au lieu du ray-grass	2 ^{ème} passage de désherbant en syst. innovant (seigle d'hiver après soja)	Dose désherbant post-levée majorée en syst. innovant (seigle d'hiver après soja)
Rosheim	-	Dans système innovant : labour, dose fertilisants Désherbage prélevée avec substance active une note défavorable donnée par I-Phy (mais traitement uniquement sur le rang)	Dans système innovant : labour, dose fertilisants Désherbage prélevée avec substance active à I-Phy défavorable (mais sur le rang) Date de récolte en syst. innovant	Dans système innovant : labour, dose fertilisants Désherbage prélevée avec substance active à I-Phy défavorable (mais sur le rang) Insecticide du sol
Steinensadt et Viehwegacker	-	Labour en syst. innovant Dose désherbant 0,8 L en raisonné en 1 traitement (sous semis d'avoine de printemps en soja)	Travail du sol en bande fraisée (procédé CULTAN) (sous semis d'avoine de printemps en soja) Dose désherbant 0,8 L en raisonné en 1 traitement Produit antiliseron (dicamba)	Travail du sol en bande fraisée (procédé CULTAN) Apport N en 1 fois à Viehwegacker avec engrais à retardateur de nitrification (Pois de printemps au lieu du soja) Dose désherbant 0,8 L en raisonné en 1 traitement Produit antiliseron en localisé (dicamba)

Tableau 10 – Programme de désherbage du maïs dans les différents systèmes sur les sites de Niederentzen et Rouffach.

	2002	2003	2004	2005
Niederentzen				
Raisonné	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,75 L Callisto +0,75 L Milagro
Innovant 1	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 2,6 L Equip	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 0,7 L Callisto	5 L Basta 1,5 L Milagro
Innovant 2	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 2,6 L Equip	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 0,7 L Callisto + 1 L Milagro	1,25 L Basta 5 L Basta 1,5 L Milagro
Rouffach				
Raisonné	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,75 L Callisto +0,75 L Milagro
Innovant	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 1 L Equip	0,5 L Callisto +0,5 L Milagro 1 L Milagro	0,75 L Callisto +0,75 L Milagro

II. Mesures au champ : Evaluation globale agronomique et environnementale

Cette partie présente les résultats de l'évaluation expérimentale au champ de la réalisation des principaux objectifs agronomiques et environnementaux fixés aux systèmes étudiés et que nous listerons dans un ordre chronologique :

- maîtrise du désherbage
- réalisation de l'objectif de rendement
- qualité de la récolte
- maîtrise des fuites de nitrates
- maintien d'une bonne structure de sol

1. Conditions météorologiques pour les années d'expérimentations

Avant de rentrer dans l'analyse des résultats expérimentaux, il est nécessaire de connaître les principales caractéristiques des années étudiées. Il ressort du Tableau 11 que les années sont assez contrastées, avec naturellement l'année 2003 et sa canicule estivale. Pour le site bas-rhinois cependant, le cumul de pluie durant cette période de l'année 2003 a été moins déficitaire qu'en 2004.

Les conditions d'implantations ont été sèches en 2003 et 2004 et plus humides en 2005.

Les périodes estivales 2002, 2004 et 2005 ont été assez bien arrosées à la différence de 2003.

Les conditions de récolte de 2002, 2004, et 2005 ont été humides.

Au niveau températures, on est globalement dans des années « chaudes » sur la période de végétation avec en 2004 et 2005 des températures basses en mai.

Tableau 11 – Vue d'ensemble des conditions météorologiques des sites d'étude (détail en Annexe 1).

Année	Caractéristiques générales	Remarque particulière par site
2002	<p><u>Sur toute la période culturale :</u> Cumul T°c végétation > médiane Cumul pluie > médiane</p> <p><u>Période implantation et début cycle :</u> Période de végétation : Eté pluvieux (sauf septembre)</p> <p><u>Récolte et période post-récolte :</u> octobre et novembre surtout pluvieux, plus sec après</p>	
2003	<p><u>Sur toute la période culturale :</u> Cumul T°c végétation >> médiane Cumul pluie << médiane</p> <p><u>Période implantation et début cycle : déficit hydrique</u> <u>Période de végétation :</u> Eté très sec</p> <p><u>Récolte et période post-récolte :</u> Octobre sec hiver assez sec sauf janvier</p>	<p><u>Rosheim :</u> Déficit hydrique en été moins marqué</p>
2004	<p><u>Sur toute la période culturale :</u> Cumul T°c végétation > médiane Cumul pluie = médiane</p> <p><u>Période implantation et début cycle : déficit hydrique et basses températures en mai</u> <u>Période de végétation :</u> Eté pluvieux (sauf septembre)</p> <p><u>Récolte et période post-récolte :</u> Octobre très pluvieux (160 mm)</p>	<p><u>Rosheim :</u> Déficit hydrique avril-mai et en été (supérieur à 2003) Octobre très pluvieux (120 mm)</p> <p><u>Viehwegacker : grêle le 06/07/04</u></p>
2005	<p><u>Sur toute la période culturale :</u> Cumul T°c végétation > médiane Cumul pluie = médiane</p> <p><u>Période implantation et début cycle : humide et basses températures début mai</u> <u>Période de végétation :</u> Juin chaud et sec, puis période pluvieuse</p> <p><u>Récolte et période post-récolte :</u> octobre sec et chaud</p>	<p><u>Niederentzen : grêle le 29/06/05</u></p>

2. Maîtrise du désherbage

Cette partie porte sur l'évaluation de l'efficacité du désherbage à l'année mais aussi des conséquences pluriannuelles. En effet, la lutte contre les adventices se raisonne sur plusieurs années en raison de la complexité du cycle de ces plantes. Les adventices posent ainsi des problèmes de nuisibilité directe sur la culture mais aussi d'enrichissement du stock semencier du sol qui peut conduire à de forte augmentation de la pression les années suivantes. C'est pourquoi, les approches de protection intégrée reposant sur la notion de seuil de traitement ne sont pas adaptées à la lutte contre les adventices et font l'objet de nouveaux travaux à l'INRA de Dijon notamment (Munier-Jolain, com pers.). Ceci nous conduit à nous intéresser à l'évolution de la flore par des placettes témoins en plus de l'efficacité des traitements.

2.1. Notation d'efficacité

Les stratégies de désherbage ont été présentées précédemment (Tableau 10). Il est à ajouter que pour les sites alsaciens, en accord avec les agriculteurs, nous avons cherché à traiter le matin dans des bonnes conditions d'humidité dans la mesure du possible, en l'absence de vent. Ceci a conduit dans certains cas à reporter la date de traitement mais a également conduit à retarder le traitement à des stades de développement des adventices plus avancés.

L'efficacité du désherbage a été noté visuellement selon l'échelle de l'AGPM-Technique (Lasserre et al., 2003), p.91). Ces notations résultent d'un parcours de tous les traitements en longueur. Elles ont été faites 15 à 20 jours après désherbage chimique. Il ressort du Tableau 12 que les résultats sont insatisfaisants sur graminées avant binage à Rouffach et limité à Niederentzen en 2005 sur dicotylédones et graminées. Des notations plus tardives après binage et avant récolte n'ont pas été faites sur les sites alsaciens pour prendre en compte les relevées tardives. Du côté allemand, les résultats globaux sont insatisfaisants après le traitement chimique mais le deviennent après binage. Le résultat est un peu meilleur en système raisonné, la dose ayant été plus élevée sur le site de Steinensstadt, site à forte pression d'adventices. On constate avant récolte un léger ressaisissement des parcelles (notamment avec les variétés à port dressé laissant passer plus de lumière). Par ailleurs, on note sur ces sites que les résultats en 2005 sont moins bons en traitements innovants qu'en traitement raisonné et inférieurs à ceux de 2004. Ceci ne s'explique pas seulement par une plus forte pression d'adventices mais par un décalage de stade des adventices entre le rang travaillé par l'outil de travail du sol en bande (Annexe 5) et l'interrang non travaillé à la suite d'un semis retardé par les conditions météorologiques humides. La diminution des doses préconisée par la règle de décision n'était pas adaptée à ce cas de figure. A ceci s'est ajouté une efficacité limitée du binage qui a été effectué sur un sol sec et dur, empêchant une bonne pénétration des dents de l'outil.

Tableau 12 – Notation d'efficacité avant binage, 15 jours après traitement (9 : 100 %, 7 : 95 % satisfaisant, < 7 : insatisfaisant) pour les sites alsaciens. Notation après traitements et après binage (2^{ème} résultat) pour les sites allemands

		Dicotylédones	Graminées
Rouffach			
Raisonné	2002	9	6,5
	2003	8,5	7,5
	2004	8	8
	2005	9	7,5
Innovant	2002	8,5	6,5
	2003	8	6
	2004	8	5,5
	2005	8,5	6
Niederentzen			
Raisonné	2002	8,5 ^a	8,5
	2003	8,5	8
	2004	9	9
	2005	8	7
Innovant1	2002	8,5	8,5
	2003	8,5	8,5
	2004	7	7
	2005	7	2,5
Innovant2	2002	8,5	8,5
	2003	8,5	8,5
	2004	7	7
	2005	ND	ND
Steinenstadt			
Raisonné	2003	6 / 8 ^b (2 ^c)	
	2004	7,5 (4)	
	2005	8 (3)	
Innovant	2003	4 / 8 (2)	
	2004	7 (2)	
	2005	6 (6)	
Viehwegacker			
Raisonné	2003	8 / 9 (1)	
	2004	7 (3)	
	2005	8 (2)	
Innovant	2003	5 / 9 (1)	
	2004	8 (2)	
	2005	7 (5)	

^{a*} sauf ronces

^b le second résultat est une notation après binage

^c note de levées tardives d'adventices (1 = pas d'adventices sur 9 = excès d'adventices)

2.2. Suivi de l'évolution de la flore

Ces observations ont pour but d'évaluer l'évolution de la flore. L'idéal aurait été de procéder à des mesures de stocks semenciers. Mais ce genre d'observation est très lourde en temps (Ex 1 technicien à plein temps sur l'essai système de l'INRA de Dijon). Une autre approche est de forcer la levée des semences en conditions très favorables de températures et d'humidité développée aux USA (Forcella, 1992). Ces conditions artificielles posent aussi des problèmes, notamment à cause des prélèvements de sol qu'ils impliquent, ce qui gomme aussi l'effet des différences de travail du sol. Nous avons opté pour une méthode au champ avec des placettes témoins.

Des comptages ont été effectués sur les parcelles de maïs en Alsace chaque année fin mai sur 4 quadras de 50*75 cm par répétition, soit 12 par traitement. Les quadras ont été placés dans un interrang (2 interrangs tassés et 2 non tassés par répétitions). Ces quadras ont été

couverts lors des traitements chimiques. L'objectif est d'estimer la pression de désherbage avant les interventions chimiques et mécanique.

Du point de vue de la composition, on trouve une flore plutôt classique avec les chénopodes, amarantes, morelles et renouées (dans certains cas) et mercuriales. Cette dernière considérée comme une espèce indicatrice de l'absence d'atrazine n'a pas montré une évolution rapide de la densité. L'utilisation du Callisto au spectre suffisamment large peut en être la raison. Par ailleurs, on n'a pas observé de forte diversification de la flore (Renoux et al., 2003).

Sur le plan quantitatif, les deux sites n'ont pas le même niveau de pression : elle est assez élevée à Rouffach et faible à Niederentzen. Globalement, on n'observe dans aucun traitement de réelle tendance allant dans le sens d'une explosion qui deviendrait incontrôlable. Il ne faut pas oublier qu'il existe une rotation à Rouffach et sur les sites allemands en systèmes innovants et que les observations ne sont pas faites sur les mêmes parcelles tous les ans mais tous les 2 ans seulement. Ainsi faut-il placer en parallèle 2002 et 2004 d'une part et de l'autre 2003 et 2005, ce qui conduit à des tendances inverses. Cependant les valeurs très élevées de 2003 méritent un commentaire : elles sont dues au précédent féverole dont la culture s'est mal développée en raison de problèmes de levée, ce qui a entraîné un développement des adventices non contrôlé par l'agriculteur. Au niveau efficacité, il a été possible de contrôler le niveau en 2004 avec un traitement supplémentaire. Il serait intéressant de suivre l'évolution de la flore dans une condition aussi extrême. A Niederentzen, la faible pression en l'absence de travail du sol est à noter, si l'on excepte les repousses de ray-grass.

Du côté allemand, sur le site de Steinenstadt en particulier, une pression élevée a été observée dans les placettes témoins. Sur les 2 sites, on observe une augmentation de la pression dans les traitements innovants alors que dans le traitement raisonné la pression semble être maîtrisée. Bien qu'il faille rester prudent sur les conclusions au vu de 2 années d'observations, l'hypothèse est faite que cette augmentation observée sur les sites innovants serait due au mauvais contrôle des adventices dans la culture précédente de soja.

En conclusion, aucune forte augmentation de la densité non contrôlée n'a été observée suite à l'application des stratégies de post-levée suivie d'un binage un peu plus tard. Néanmoins, des adaptations ont été apportées des deux côtés. Du côté alsacien, une pression exceptionnelle dans certain cas où la présence des repousses de ray-grass ont conduit à un second traitement antigraminées. Côté allemand, il ressort clairement des observations sur le système innovant que dans des situations exceptionnelles de semis tardifs ou autre entraînant un décalage de stades entre adventices, l'application de la réduction de dose telle qu'elle est énoncée dans la règle de décision n'est pas tenable. Ceci est bien un avantage des stratégies de post-levée qui autorise un raisonnement fin des applications.

Tableau 13 – Comptage des adventices dans le maïs sur des placettes témoins (4 quadrats de 0,375 m² par répétition à Rouffach et Niederentzen et 4 quadrats de 0,75 m² à Steinenstadt et Viehwegacker).

		Total (sans vivace)	Graminées ^a	Chénopode	Amarante	Mercuriale	Autres espèces ^b
		<i>plante/m2)</i>					
Rouffach							
Raisonné	2002	73	17	47	2	1	Rp
	2003	242	89	139	9	0	Mo
	2004	98	28	56	15	1	-
	2005	30	15	12	3	1	-
	Innovant	2002	92	32*	39	4	12*
	2003	399	198	154	32	4	M, Rp
	2004	1720	1577	55	83	2	
	2005	94	88	3	0	1	M
Niederentzen							
Raisonné	2002	38	2	19	10*	1	M, Mo
	2003	68*	42*	21	3	1	-
	2004	34	1	26	2	0	M
	2005	37	22	4	0	0	M, RI
	Innovant1	2002	130*	4	92*	12	0
	2003	14	1	8	4	0	
	2004	20 ^a	1	3	0	1	M, Ro,RI
	2005	14	9	1	0	0	M
Innovant2	2002	30	0	11	1	7	M, Ro
	2003	4	0	0	0	0	-
	2004	9	0	0	0	0	M, RI
	2005	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Steinenstadt						
Raisonné	2004	81	-	-	-	-	-
	2005	19	-	-	-	-	-
Innovant	2004	299	-	-	-	-	-
	2005	1387 ^c	-	-	-	-	-
Viehwegacker							
Raisonné	2004	18	-	-	-	-	-
	2005	-	-	-	-	-	-
Innovant	2004	34	-	-	-	-	-
	2005	484	-	-	-	-	-

^a Panic à Rouffach, digitaire, (et quelques sétaires et panics) à Niederentzen

* 1 placette à valeur élevée

^b espèce avec une moyenne ≥ 2 pl./m² avec M = Morelle noire, Mo = Mouron des oiseaux, RI = Renouée liseron, Ro = Renouée des oiseaux, Rp = Renouée persicaire. Toutes les espèces sont à une densité entre 2 et 5 pl./m² sauf à Niederentzen en Innovant 1, Mo (6 pl /m2) en 2002 et M (10 pl./m²) en 2004

^c 90-95 % de graminées dans la flore observée

3. Rendement

3.1. Pour le maïs

Les résultats présentés sur les Figures 1 et 2 sont des rendements récoltés manuellement sur des placettes qui sont supérieurs à ceux donnés par l'agriculteur. Une corrélation entre ces valeurs de rendements et les rendements machine a été trouvée (Annexe 7). Le Tableau 14 résume les résultats.

L'effet année est bien marqué en 2003 avec un décrochage sur la majorité des sites notamment allemand, à l'exception du site de Rosheim, pour lequel le cumul de pluie a été moins défavorable. Pour le site de Viehwegacker, les rendements de 2004 sont plus faibles en raison de la grêle. Mais l'écart observé entre les systèmes est proche de l'autre site. En revanche, côté allemand, le niveau de rendement le plus élevé sur les 3 années a été obtenu en 2005 sur le site irrigué de Viehwegacker (3 apports avec un total de 50 mm) et sur le site non irrigué (SteinStadt) pour tous les traitements.

Entre systèmes, les constats suivants peuvent être dressés :

- Sur le site de Niederentzen à fort potentiel (rendement machine objectif de 115 q/ha), le traitement raisonné se retrouve systématiquement au-dessus des 2 systèmes innovants qui ne se différencient pas vraiment. L'écart est de 12 q/ha en 2002 et 2003 et de 15 q/ha en 2004 et 2005. Sur l'autre site à fort potentiel, Rosheim, l'avantage reste au système raisonné mais les écarts sont nettement plus faibles (< 5 q/ha). Mais dans ce cas, les systèmes ne se différencient pas.
- Sur les sites à plus faible potentiel, on n'observe pas la même tendance. Les rendements sont proches ou inversés. Pour le site de Rouffach, ceci est vrai les deux premières années avant le changement de variété en système raisonné.

Ces résultats méritent explication. Il est clair que l'effet variétal peut jouer. Les variétés des systèmes innovants à Niederentzen du côté alsacien ont un potentiel inférieur à celles du système raisonné d'après les résultats des essais variétaux (Lasserre et al., 2004). Pour le site de Rouffach à moindre potentiel, cela n'est pas tout à fait aussi clair les deux premières années. Néanmoins on retrouve à Niederentzen en 2005 des écarts du même ordre de grandeur que les années précédentes, cette fois avec la même variété pour tous les systèmes.

Côté badois, une légère augmentation de rendement (+ 2% à 18%) a été obtenue en 2003 et 2004 dans le système innovant avec la variété Nexxos et sous-semis par rapport au système conventionnel avec labour sans sous-semis/binage. En 2005, cette tendance s'est totalement inversée avec des rendements supérieurs en système raisonné, allant dans le même sens que ceux observés sur les sites alsaciens.

Plusieurs explications peuvent être apportées à cette inversion de la tendance en 2005 :

- en premier lieu la réduction de la densité de semis de 10000 plantes/ha pour la variété Nexxos préconisée par la firme semencière. La densité ainsi obtenue a été semble-t-il trop faible pour maintenir le niveau de rendement de cette variété (K 260⁴) par rapport à la variété de plus tardive Dracila (K 280) en conditions normales de maturation.
- Les conditions de levée sous optimales dans le semis en bande fraisée suite à de mauvaises conditions de préparation du lit de semence en raison des conditions humides, qui ont conduit à des attaques de limaces sur le site de SteinStadt et d'une manière générale à un retard de développement dans les premiers stades.
- Dans l'analyse des composantes de rendements, on observe aussi que la variété dentée Dracilia a mieux profité des bonnes conditions de remplissage du grain que la variété cornée Nexxos.
- En 2005 la date de fertilisation du procédé CULTAN a été avancée au semis alors qu'en 2004, la date d'apport était plus tardive, se situant au stade 6 feuilles après une

⁴ Indice de précocité des variétés en Allemagne

mesure de reliquats dans le sol. Ce changement n'a pas dû avoir d'effet sur l'alimentation en azote. On peut supposer qu'il y avait assez d'azote disponible puisque sur le site de Steinensstadt, un second apport a été effectué après mesure de reliquat d'azote dans le sol, suite à l'apport selon le procédé CULTAN au semis.

L'ensemble des mesures dans la phase d'évaluation agronomique va nous aider à interpréter ces résultats et sera présenté dans le paragraphe §2.3.

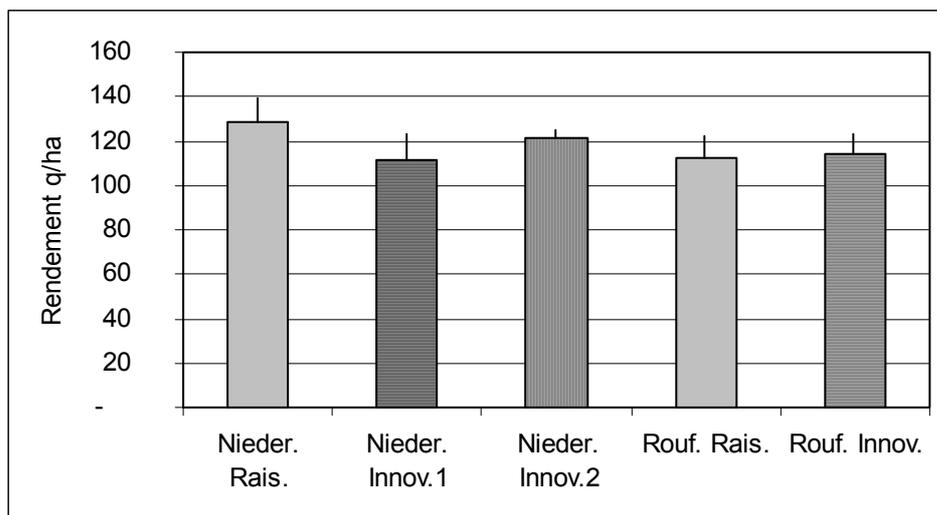
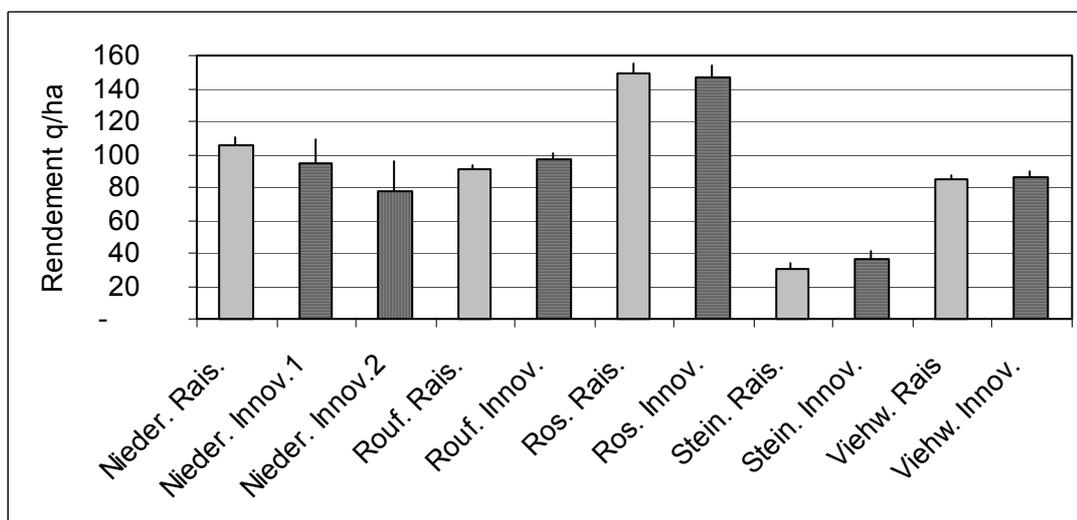
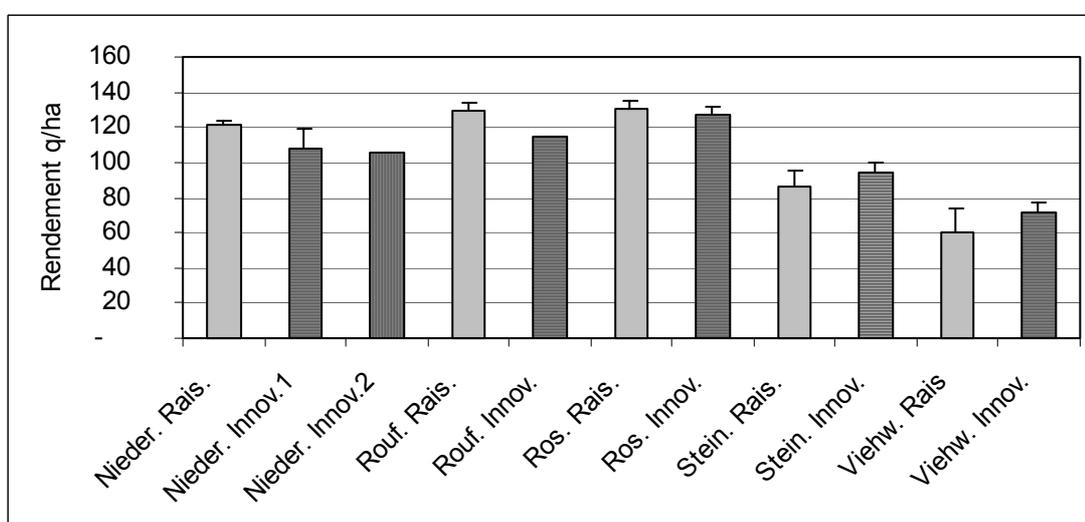


Figure 1 – Rendement grain du maïs sur les différents sites en 2002. Les barres représentent les écarts-types (récolte manuelle pour 3 répétitions de 10 m linéaires sur les sites alsaciens / les systèmes innovants sont en labour).

a) 2003 (les sites Steinenstadt et Viehwegacker innovants sont en labour)



b) 2004



c) 2005

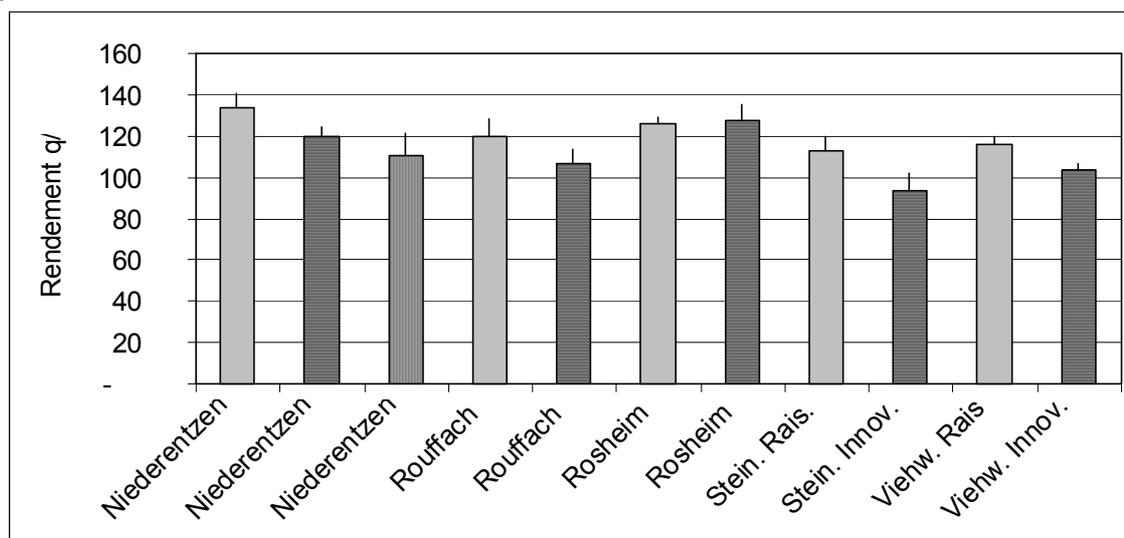


Figure 2 - Rendement grain du maïs sur les différents sites : a) 2003, b) 2004, c) 2005. Les barres représentent les écarts-types (récolte manuelle pour 3 répétitions de 10 m linéaires sur les sites alsaciens et 4 répétitions de 25 m² sur les sites Badois).

Tableau 14 – Synthèse des résultats de rendement grain sur la période 2002-2005.

	Objectif de rendement	Nombre d'année avec atteinte de l'objectif de rendement		Cas où le rendement système innovant \geq raisonné
		Raisonné	Innovant	
Niederentzen	115	2 sur 4	0 sur 4	0 sur 4
Rouffach	105	3 sur 4	2 sur 4	2 sur 4 ^b
Rosheim	120	1 sur 3	1 sur 3	1 sur 3
SteinStadt	100	1 sur 3	0 sur 3	2 sur 3
Viehwegacker ^a	100	1 sur 3	1 sur 3	2 sur 3

^a en 2004 forte grêle

^b dont l'année en labour (2002)

3.2. Pour les légumineuses

Les rendements des légumineuses sont très variables (Figure 3). En 2003, les rendements sont très affectés par la sécheresse et la canicule à Rouffach pour la féverole et à SteinStadt pour le soja, tandis qu'à Viehwegacker le niveau de rendement du soja a été moyen grâce à l'irrigation. Par ailleurs des problèmes d'implantation de la féverole avec le semoir à céréales ont aggravé la situation, problèmes qui ont été résolus pour le soja avec un nouveau semoir de précision. Pour les autres années, les rendements ont été satisfaisants si on excepte le résultat de 2004 du site de Viehwegacker qui a été détruit par la grêle. En 2005 des rendements satisfaisants ont été obtenus pour le soja sur le site de Rouffach comme pour le pois de printemps sur les sites badois. Le pois de printemps a pu profiter de l'humidité hivernale et a pu couvrir le sol avant la levée des adventices liées aux rotations avec maïs, chénopodes et graminées estivales qui ont été ainsi maîtrisées. Cette culture libère aussi le sol tôt ce qui laisse suffisamment de temps pour un passage d'outil pour un désherbage mécanique et pour un semis précoce d'une CIPAN, permettant une production de biomasse élevée.

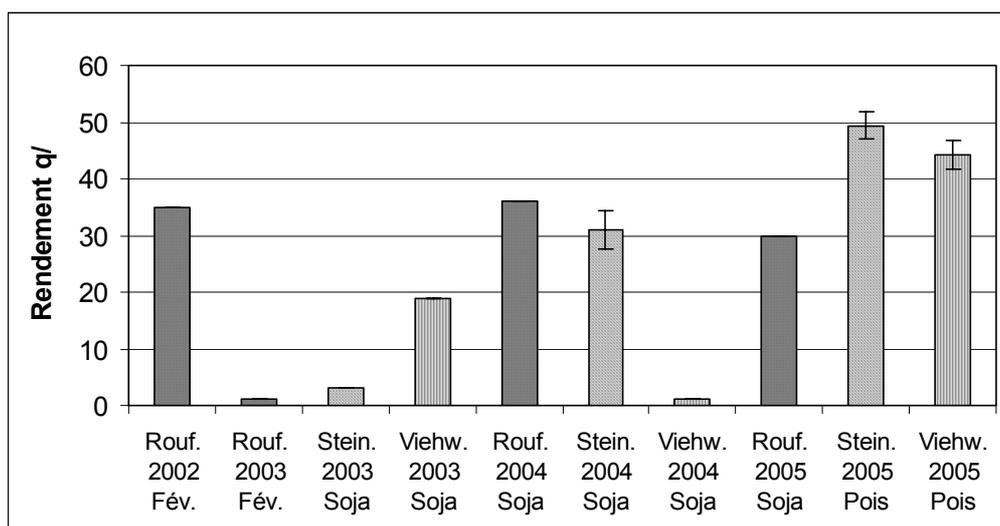


Figure 3 - Rendements grain des légumineuses en système innovant sur les différents sites (Essai 2004 à Viehwegacker grêlé). Les barres représentent les écarts-types.

3.3. Interprétation des résultats de rendement à l'aide de l'évaluation agronomique

Les niveaux de rendements mesurés et les différences entre rendements peuvent avoir plusieurs raisons que nous présentons dans les sous paragraphes suivants.

3.3.1. Comptages et notations du peuplement

Le peuplement joue un rôle majeur dans la formation du rendement (AGPM-Technique, 2001). Les comptages ont été effectués sur 1 à 2 placettes de 10 m linéaires (ou 2 * 5 m) par répétition d'un traitement . A l'implantation, certaines années et sur certains sites des problèmes apparaissent (Tableau 15) tant sur le plan de la levée (ou de pertes toute de suite après, la différence n'ayant pas été faite, vu les comptages plusieurs semaines après la levée), que de l'état du peuplement (plantes chétives). Le problème à Rouffach en 2002 dû à un problème de semoir n'a pas eu de conséquence sur le rendement. En revanche à Niederentzen, les systèmes innovants présentent des taux de levées inférieurs et/ou un nombre de plantes chétives supérieur.

Côté badois, les peuplements ont présenté en 2005 un retard de développement durant la phase juvénile par rapport au système raisonné en labour qui s'explique par des conditions défavorables au moment du fraissage et des attaques de limaces dans les semaines humides et froides qui ont suivi.

Tableau 15 – Notations peuplement au printemps (maïs, juin). Les chiffres en gras représentent les valeurs les plus faibles

	Site	Traitement	Peuplement	levée	(% plantes ^a)			
					pl chétives	oscinie	Phytoxicité herbicide	
2002	Nieder.	Raisonné	82500 ±1561	88%	2,2	2,2	1,4	
	Nieder.	Innovant1	95083 ±1627	92%	1,4	1,3	0,0	
	Nieder.	Innovant2	92917 ±5126	88%	1,5	1,1	0,0	
	Rouf.	Raisonné	94500 ±2646	95%	0,9	1,9	0,0	
	Rouf.	Innovant	86417 ±722	81%	4,2	0,3	0,0	
2003	Nieder.	Raisonné	84848 ±2087	90%	1,8	1,8	0,0	
	Nieder.	Innovant1	87446 ±5856	87%	9,8	2,5	0,0	
	Nieder.	Innovant2	90909 ±2341	87%	3,3	6,6	0,0	
	Rouf.	Raisonné	99784 ±375	95%	3,2	0,0	0,0	
	Rouf.	Innovant	108442 ±1299	95%	2,0	0,0	0,0	
	Ros.	Raisonné	99556 ±5048	96%	3,8	0,0	0,0	
	Ros.	Innovant	98667 ±1333	96%	6,5	0,0	0,0	
	Stein.	Raisonné	80944 ±7084	95%	1/9	1/9	3/9	
	Stein.	Innovant	79667 ±7954	80%	1/9	1/9	5/9	
	Viehw.	Raisonné	84333 ±1276	99%	1/9	1/9	3/9	
	Viehw.	Innovant	102333 ±6655	100%	1/9	1/9	6/9	
	2004	Nieder.	Raisonné	83550 ±1634	91%	3,6	2,8	0,0
		Nieder.	Innovant1	84416 ±2458	87%	31,7	1,2	0,0
Nieder.		Innovant2	89610 ±649	90%	5,3	1,5	0,0	
Rouf.		Raisonné	75111 ±1388	70%	1,8	0,0	0,0	
Rouf.		Innovant	88444 ±4073	84%	1,5	0,0	0,0	
Ros.		Raisonné	105333 ±1764	96%	5,9	0,8	0,6	
Ros.		Innovant	102444 ±1678	91%	8,3	2,4	1,3	
Stein.		Raisonné	79980 ±2027	94%	1/9	3/9	3/9	
Stein.		Innovant	92484 ±4754	93%	1/9	4/9	3/9	
Viehw.		Raisonné	83322 ±2038	98%	3/9	2/9	3/9	
Viehw.		Innovant	93871 ±4570	94%	2/9	2/9	3/9	
2005		Nieder.	Raisonné	80556 ±2427	93%	1,1	0,3	0,0
		Nieder.	Innovant1	80983 ±3846	91%	1,9	0,8	0,0
	Nieder.	Innovant2	84848 ±4225	91%	6,2	0,5	0,0	
	Rouf.	Raisonné	86222 ±2694	90%	3,1	1,6	0,0	
	Rouf.	Innovant	94667 ±2906	90%	2,6	1,2	1,4	
	Ros.	Raisonné	96977 ±3933	93%	5,6	0,2	0,2	
	Ros.	Innovant	100438 ±1321	96%	6,1	0,0	0,4	
	Stein.	Raisonné +)	80913 ±3804	95%	1/9	2/9	1/9	
	Stein.	Innovant	82496 ±6196	92%	1/9	1/9	2/9	
	Viehw.	Raisonné +)	72479 ±4194	85%	1/9	2/9	1/9	
	Viehw.	Innovant	84580 ±2499	94%	1/9	3/9	2/9	

^a sur sites Badois, notation sur une échelle de 1 (négligeable /très petit/ précoce) à 9 (fort/grand/tardif) selon méthodes de BSA (Bundessortenamt/équivalent du GEVES).

+) en 2005, afin de maintenir une alternance des produits appliqués, intervention avec un herbicide de pré-levée en maïs raisonné.

A la récolte, on retrouve des tendances assez analogues (Tableau 16), les peuplements printemps et avant récolte étant corrélés ($R^2 = 0,667$), de même que taux de levée et manque à la récolte ($R^2 = 0,55$). Du côté des maladies, la variété DK312 (raisonné) a souffert à Rouffach en 2002, ce qui pourrait expliquer son décrochage alors qu'au niveau peuplement, la tendance était plutôt défavorable à l'autre système (innovant). On retrouve des taux significatifs en 2004 à Rouffach pour la variété du système innovant alors que le peuplement du système raisonné semble un peu faible. Du côté de la pyrale, il n'y a pas grande chose à signaler. En 2004 les taux sur les sites badois étaient un peu élevés mais

sans gravité. La présence d'helminthosporiose (*H. turcicum*), une maladie de plus en plus présente en Alsace (Lasserre et al., 2003) était assez élevée mais sans que le niveau d'attaque ait été très important. Côté allemand, les attaques d'helminthosporiose ont été à un niveau très faible sur les variétés utilisées durant la période d'expérimentations. Les attaques de fusariose sur épis ont été plus élevées sur le site irrigué de Viehwegacker durant les années avec irrigation, et sur le système innovant, que dans les autres situations. Mais cela reste ouvert si ces différences s'expliquent par la différence de variété ou à cause des cultures intermédiaires (il n'existe pas (encore) de notation de la fusariose dans les essais variétaux du Bade-Wurtemberg). Les densités de peuplement ont aussi été trop faibles (surtout pour la variété Nexxos en 2005), Il semblerait que la variété Dracilia a pu mieux compenser ce manque que la variété plus précoce et cornée Nexxos.

Tableau 16 – Notations peuplement avant récolte.

	Site	Traitement	peuplement	Plantes chétives	Helminthosporiose	pyrale	charbon	fusariose	coup de feu fusarien	manque
			Plantes/ha	(% plantes ^a)						
2002	Nieder.	Raisonné	81385 ±6137	2,1	66	0,5	0,0	0,0	13,8	12,5
	Nieder.	Innovant1	93939 ±5407	1,4	86	0,9	0,0	0,5	10,1	7,2
	Nieder.	Innovant2	91775 ±3749	2,8	74	0,0	0,0	0,0	10,1	11,0
	Rouf.	Raisonné	94372 ±5249	3,1	90	0,0	0,0	26,5	13,0	8,1
	Rouf.	Innovant	83117 ±5951	0,5	93	0,0	0,0	9,1	9,1	28,9
2003	Nieder.	Raisonné	90043 ±1500	0,0	0	2,5	0,0	2,4	0,0	6,4
	Nieder.	Innovant1	88745 ±5407	5,9	0	0,9	0,0	1,0	0,0	15,8
	Nieder.	Innovant2	75758 ±11784	8,0	0	1,9	0,0	0,0	0,0	35,7
	Rouf.	Raisonné	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rouf.	Innovant	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ros.	raisonné	91556 ±5389	2,5	0	0,0	0,0	0,5	0,0	9,8
	Ros.	innovant	93333 ±1333	1,9	0	0,0	0,0	2,8	0,0	7,2
	Stein.	Raisonné	-	1/9	2/9	1/9	3/9	1/9	1/9	8/9
	Stein.	Innovant	-	1/9	4/9	1/9	4/9	1/9	2/9	7/9
	Viehw.	Raisonné	-	1/9	4/9	1/9	2/9	1/9	1/9	1/9
Viehw.	Innovant	-	1/9	4/9	1/9	2/9	1/9	1/9	1/9	
2004	Nieder.	Raisonné	79654 ±1984	5,1		5,1		3,0	0,0	19,7
	Nieder.	Innovant1	80519 ±2249	11,7		3,9		8,9	0,0	27,4
	Nieder.	Innovant2	84632 ±2280	3,5		3,6		13,0	0,0	21,8
	Rouf.	Raisonné	74667 ±2404	0,2		1,2		0,6	6,6	35,1
	Rouf.	Innovant	91778 ±1540	3,8		1,7		13,1	34,1	11,6
	Ros.	Raisonné	97333 ±2404	4,2		0,2		5,6	0,0	7,0
	Ros.	Innovant	96444 ±6810	3,9		2,9		10,7	0,0	9,2
	Stein.	Raisonné	79980 ±2027	1/9	3/9	3/9	1/9	1/9	2/9	1/9
	Stein.	Innovant	92484 ±4754	1/9	3/9	4/9	1/9	2/9	1/9	1/9
	Viehw.	Raisonné	83322 ±2038	3/9	2/9	2/9	4/9	4/9	4/9	7/9
Viehw.	Innovant	93871 ±4570	2/9	2/9	2/9	3/9	4/9	4/9	8/9	
2005	Nieder.	Raisonné	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nieder.	Innovant1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nieder.	Innovant2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rouf.	Raisonné	86222 ±4073	9,9	0	0,0	0,0	0,0	7,0	10,0
	Rouf.	Innovant	91556 ±6711	5,7	0	0,0	0,0	1,0	0,0	14,4
	Ros.	raisonné	91556 ±2037	6,5	0	0,0	0,0	0,4	0,0	15,7
	Ros.	innovant	97778 ±4683	9,7	0	0,4	0,0	0,9	0,0	8,2
	Stein.	Raisonné	80913 ±3804	1/9	2/9	2/9	1/9	3	-	1/9
	Stein.	Innovant	82496 ±6196	1/9	2,3/9	1/9	1/9	7	-	1/9
	Viehw.	Raisonné	72479 ±4194	1/9	1,8/9	2/9	1,3/9	3	-	1/9
	Viehw.	Innovant	84580 ±2499	1/9	2/9	3/9	1/9	15	-	1/9

^a sur sites Badois, notation sur une échelle de 1 (négligeable/ très petit/ précoce) à 9 (fort/ grand/ tardif) selon méthodes BBCH.

3.3.2. Composantes du rendement

Les notations de composantes de rendement disponibles (Tableau 17) montrent bien l'effet sécheresse de 2003 sur les sites allemands avec un léger décrochage du nombre de grain par épis et un effet très marqué sur le poids de mille grain, conforme à ce qu'on pouvait attendre. L'effet de la grêle à Viehwegacker est bien visible en 2004 sur le nombre de grains par épis qui se forme plus tôt que le poids de mille grains. Sur ces sites en 2005, le nombre de grains par épis et le poids de mille grains a joué un rôle à côté de la densité de peuplement (sous-optimale pour Nexxos). En situation non irriguée à Steinenstadt, le nombre de grains par épi est nettement inférieur à Viehwegacker en raison d'une phase de sécheresse après la sortie des panicules. Durant la phase de remplissage de grain qui s'est prolongée en raison de conditions favorables, le poids de mille grain n'a pas été affecté et un rendement favorable a quand même pu être obtenu. Mais comme la variété Nexxos n'a pas pu aussi bien profiter de ce potentiel que la variété Dracila en raison de sa densité de peuplement inférieure à ce qui est typique pour cette variété, son rendement a été pour la première fois plus faible que celui dans le système raisonné. Les conditions défavorables pour le stade juvénile à Steinenstadt après un fraissage en bande sur sol humide ont ainsi eu un effet sur la végétation mais aussi de manière plus durable sur le rendement. Côté alsacien, il y a un décrochage à Rouffach par rapport à Niederentzen en 2004 de la variété Nexxos en système innovant.

Tableau 17 – Composantes du rendement épis.

Site	Traitement	Nombre de rangs	Longueur épis — (cm) —	Nombre de grains/épis	Poids 1000 grains
2003 Nieder.	Raisonné				
Nieder.	Innovant1				
Nieder.	Innovant2				
Rouf.	Raisonné				
Rouf.	Innovant				
Ros.	Raisonné				
Ros.	Innovant				
Stein.	Raisonné	13,4	12,1	221	165
Stein.	Innovant	13,8	12,4	296	132
Viehw.	Raisonné	14,9	18,0	407	220
Viehw.	Innovant	14,9	17,8	491	151
2004 Nieder.	Raisonné				374
Nieder.	Innovant1				351
Nieder.	Innovant2				333
Rouf.	Raisonné				408
Rouf.	Innovant				275
Ros.	Raisonné				323
Ros.	Innovant				326
Stein.	Raisonné	-	16,0	346	323
Stein.	Innovant	-	16,0	380	259
Viehw.	Raisonné	-	12,5	223	332
Viehw.	Innovant	-	13,3	264	246
2005 Nieder.	Raisonné	14,2		496	497
Nieder.	Innovant1	14,1			495
Nieder.	Innovant2	13,9			437
Rouf.	Raisonné	14,2		473	322
Rouf.	Innovant	14,7		543	242
Ros.	Raisonné				
Ros.	Innovant				
Stein.	Raisonné		19,0	429	304
Stein.	Innovant		19,1	455	248
Viehw.	Raisonné		19,2	447	315
Viehw.	Innovant		19,4	517	242

3.3.3. Stades de développement

Les stades de floraison femelles ont été notés sur les sites alsaciens au rythme des mesures tensiométriques qui se sont faites deux fois par semaines. Cela ramène la précision des notations dans le Tableau 18 à 2-3 jours. Les écarts les plus importants portent sur le traitement en quasi semis direct à Niederentzen en 2003 et 2005 notamment. En 2003, une date de semis plus tardive sur ce traitement, en raison d'un problème de disponibilité de la machine peut expliquer la différence, ce qui n'est pas le cas en 2005. En effet, pour cette dernière année, les dates de semis et la variété ont été identiques entre traitements à Niederentzen où l'explication la plus probable est la forte concurrence du sous-semis, d'au (cf. 2.3.5). Sur les sites badois, une légère avance (1-2 jours) a été observée sur les systèmes raisonnés en labour par rapport aux systèmes innovants en bande fraisée. Par la suite, cet ordre s'est inversé à cause de la précocité plus grande de la variété Nexxos, à l'exception du site de Steinstadt en 2005 (azote supplémentaire).

Tableau 18 – Notation du stade de floraison femelle pour les sites alsaciens (début floraison mâle au Pays de Bade).

Site	Traitement	Date de floraison	
2003	Nieder.	Raisonné	7/7
	Nieder.	Innovant1	3/7
	Nieder.	Innovant2	14/7
	Rouf.	Raisonné	7/7
	Rouf.	Innovant	7/7
	Ros.	Raisonné	7/7
	Ros.	Innovant	7/7
	Stein.	Raisonné	3/7 ^a
	Stein.	Innovant	3/7 ^a
	Viehw.	Raisonné	4/7 ^a
	Viehw.	Innovant	4/7 ^a
	2004	Nieder.	Raisonné
Nieder.		Innovant1	26/7
Nieder.		Innovant2	26/7
Rouf.		Raisonné	16/7
Rouf.		Innovant	16/7
Ros.		Raisonné	22/7
Ros.		Innovant	22/7
Stein.		Raisonné	20/7 ^a
Stein.		Innovant	21/7 ^a
Viehw.		Raisonné	19/7 ^a
Viehw.		Innovant	21/7 ^a
2005		Nieder.	Raisonné
	Nieder.	Innovant1	21/7
	Nieder.	Innovant2	1/8
	Rouf.	Raisonné	21/7
	Rouf.	Innovant	25/7
	Ros.	Raisonné	18/7
	Ros.	Innovant	18/7
	Stein.	Raisonné	20/7 ^a
	Stein.	Innovant	22/7 ^a
	Viehw.	Raisonné	18/7 ^a
	Viehw.	Innovant	18/7 ^a

^a Début floraison mâle ;

3.3.4. Suivi tensiométrique

Les suivis tensiométriques (1 tensiomètre par profondeur et par traitement) durant la phase de végétation active (mi-juin à août) ont permis de suivre l'évolution du statut hydrique du sol, notamment autour de la phase de sensibilité du maïs au stress hydrique qui culmine lors de la floraison. Le Tableau 19 résume les principales observations. L'effet du stress hydrique de 2003 est bien mis en évidence. L'écart à l'objectif de rendement en 2004 sur le site de Niederentzen ne s'explique pas par des périodes de stress hydrique important durant la phase de sensibilité (Figure 4).

Le fait important est que les différences de rendement entre les systèmes ne s'expliquent pas par le statut hydrique du sol. Les classements pour les valeurs tensiométriques entre le système raisonné et le ou les systèmes innovants ne vont pas dans le même sens que ceux pour le rendement.

Par ailleurs sur la Figure 4a, on note une variation plus importante des tensions pour le traitement raisonné, que les traitements innovants après irrigation ou forte précipitation, ceci surtout pour la période avant ou juste après floraison. Ceci a aussi été observé en 2003 et 2005 (Annexe 8) alors que les variétés dans les trois systèmes étaient semblables. On peut émettre l'hypothèse d'un effet d'une meilleure structure du sol en labour (cf. § profil cultural) qui permettra un meilleur enracinement ou une colonisation plus rapide. Ceci a alors pour conséquence une absorption plus rapide, donc plus d'évapotranspiration, et une diffusion plus rapide.

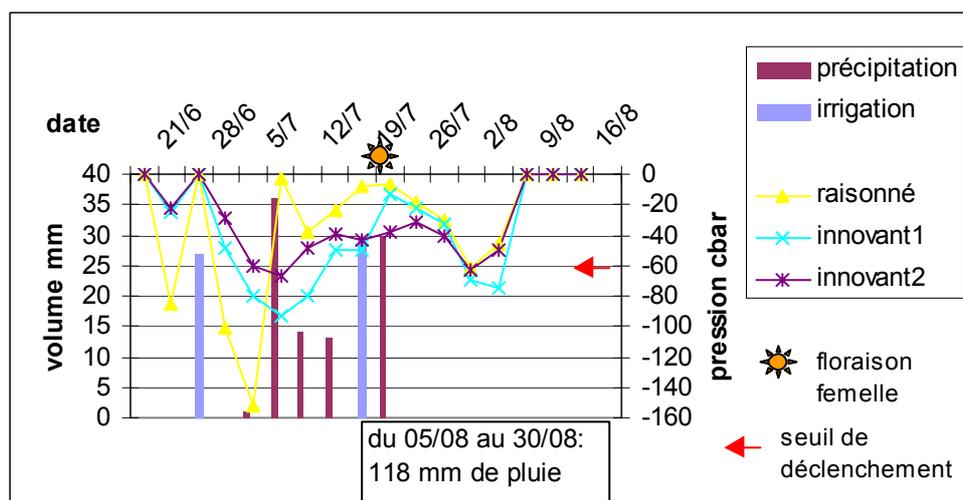
Du côté badois, l'irrigation a été conduite à Viehwegacker en 2005 avec le système de conseil via internet du service météorologique allemand. Avec les précipitations mesurées sur le site, la notation des principaux stades phénologiques du maïs et la description des caractéristiques du sol, le programme calcule à l'aide des données climatiques de la région et un modèle de croissance l'évapotranspiration et la disponibilité en eau dans le sol et le sous-sol. A partir de ces calculs il fournit un conseil en irrigation ou une valeur en drainage (en mm). D'après ce système, un manque en eau sur une courte période n'est apparu que deux fois sur le site de Viehwegacker : deux jours en juin (au stade 9-10 feuilles) dans l'horizon supérieur. Une seconde fois, un déficit hydrique est apparu pendant 4 jours durant la période du 20 au 26 juillet (après le commencement de la floraison), ce qui aurait eu effet sur le nombre de grains par épi. Ainsi ont été apportées sur ce site 22 mm le 22/6, 7 mm le 27/7 et 21 mm le 28/7. Par la suite, les besoins ont été couverts par les précipitations naturelles. Le détail des irrigations est donné en Annexe 9.

Tableau 19 – Résumé des observations sur les courbes tensiométriques (détail en Annexe 8). Le signe supérieur indique un meilleur statut hydrique.

	Niederentzen	Rouffach	Rosheim
2002	<p>Irrigation quand valeur en dessous du seuil^a</p> <p>A 30 cm : Innov.2 = Rais.> Innov.1</p> <p>A 50 cm : Innov.2 > Rais.> Innov.1</p> <p>Différences entre traitement expliquées par variété : valeurs les plus faibles pour le maïs raisonné (sans sous-semis)</p>	<p>Valeurs sous le seuil fin juin début juillet.</p> <p>A 30 et 60 cm Rais. > Innov.</p> <p>Par la suite, valeurs au-dessus du seuil proche de la saturation et pas de différence entre les systèmes</p>	
2003	<p>En août effet marqué de l'arrêt précoce de l'irrigation</p> <p>A 30 cm : Innov.2 = Innov.1 = Rais. Mais le traitement réagit davantage aux apports d'eau</p> <p>A 50 cm : Innov.2 > Rais.> Innov.1</p> <p>Pas d'effet clair entre variété et travail du sol</p>	<p>Décrochage à partir d'août malgré irrigation</p> <p>Pas de différence entre les systèmes</p>	<p>Décrochage à partir d'août</p> <p>A 30 cm Innov. > Rais.</p> <p>A 60 cm Innov. = Rais.</p>
2004	<p>Pas beaucoup de valeur en dessous du seuil déclenchement</p> <p>A 30 cm : Innov.2 = Innov.1 > Rais.</p> <p>A 50 cm : Innov.2 > Rais.= Innov.1</p>	<p>Avant floraison, valeurs en dessous du seuil avec à 30 et 60 cm Rais. > Innov.</p> <p>Après floraison, valeur en dessous du seuil à 60 cm avec :</p> <p>A 30 cm Innov. = Rais.</p> <p>A 60 cm Innov. > Rais.</p>	<p>Valeurs sous le seuil fin juin début juillet.</p> <p>A 30 cm Innov. > Rais.</p> <p>A 60 cm Innov. = Rais.</p> <p>Par la suite remontée des valeurs avec l'irrigation avec peu de différence entre les systèmes à 30 et 60 cm</p>
2005	<p>Sous le seuil en juin</p> <p>A 30 cm : Innov.2 = Innov.1 > Rais. en juin puis égaux</p> <p>A 50 cm : Innov.2 = Innov.1 > Rais. en juin</p> <p>Fin août Innov.1 = Rais.> Innov.2</p>	<p>Sous le seuil plusieurs fois durant le cycle à 30 et 60 cm en particulier pour le système Rais.</p> <p>A 30 et 60 cm Innov. > Rais.</p>	<p>A 30 cm, valeurs sous le seuil fin juin début juillet et remontée après</p> <p>avec à 30 cm Innov. = Rais.</p> <p>A 60 cm, valeurs sous le seuil tout le long du cycle avec</p> <p>Innov. > Rais.</p>

^a seuils de déclenchement à la floraison (Niederentzen 0-30 cm = 60 cb ; 30-60 cm = 15 cb
Rouffach 0-30 cm = 60 cb ; 30-60 cm = 30 cb Rosheim 0-30 cm = 80 cb ; 30-60 cm = 30 cb
(Source, Avertissement Irrigation 2005 Chambres Agriculture 68, 67)

a) à 30 cm



b) à 50 cm

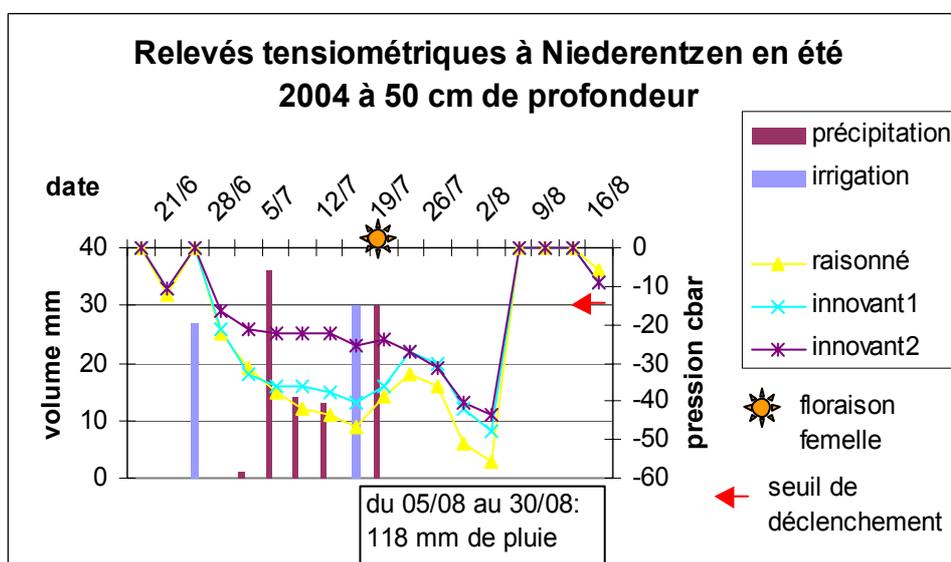


Figure 4 – Suivi tensiométrique, précipitations et irrigation sur le site de Niederentzen en 2004 : **a)** tensiomètre placé à 30 cm de profondeur **b)** tensiomètre placé à 50 cm de profondeur (un tensiomètre par profondeur).

3.3.5. Effet du sous-semis sur la culture

Une des explications possibles aux différences observées entre les systèmes innovants avec sous-semis et raisonné (Figures 1 et 2) pourrait être la concurrence exercée par le sous-semis, notamment pour l'eau et l'azote. Cette concurrence peut aussi intervenir sur la culture suivante si le couvert est maintenu trop tardivement.

Effet sur la culture :

L'étude des suivis tensiométriques n'a pas révélé de différences systématiques en faveur du système sans sous-semis, ce qui pourrait faire penser à une absence de concurrence durant la phase de végétation active du maïs, où la croissance du sous-semis reste limitée par la concurrence du maïs. Cependant en raison du type d'essai avec plus facteurs qui varient (notamment variété, travail du sol), il n'est pas possible de conclure définitivement pour les

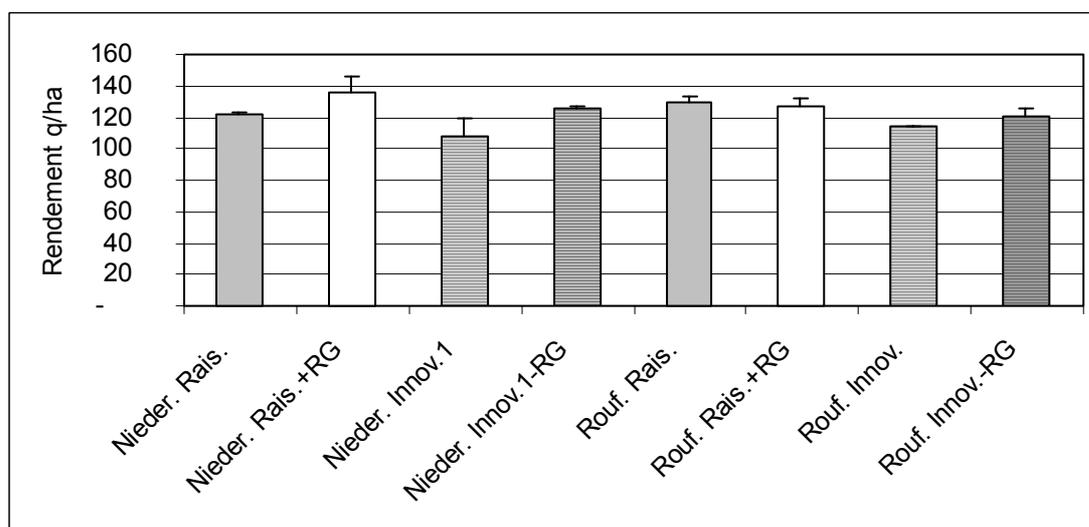
sites haut-rhinois. A Rosheim où le sous-semis est le principal facteur étudié, ceci est possible et aucun écart n'a été observé.

Pour suivre de plus près cet effet sur le rendement de la culture, nous avons décidé d'implanter une bande avec sous-semis dans le traitement raisonné et d'enlever sur des placettes dans le traitement innovant 1 de Niederentzen et innovant de Rouffach le sous-semis avant qu'il n'entre en phase de croissance.

En 2004 (Figure 4a), il ne ressort aucune tendance claire. Il est vrai que pour Niederentzen, les placettes avec ray-grass en système raisonné et sans ray-grass en système innovant viennent du bloc 3, un site avec un sol un peu meilleur (cf. § Matériel et Méthode IV les dispositifs et Annexe 4).

En 2005 (Figure 4b), il semble y avoir un effet négatif du sous-semis en système raisonné mais pas en système innovant. Mais il manque des répétitions à Rouffach pour ce système et à Niederentzen une valeur anormalement faible explique la différence.

a) 2004



b) 2005

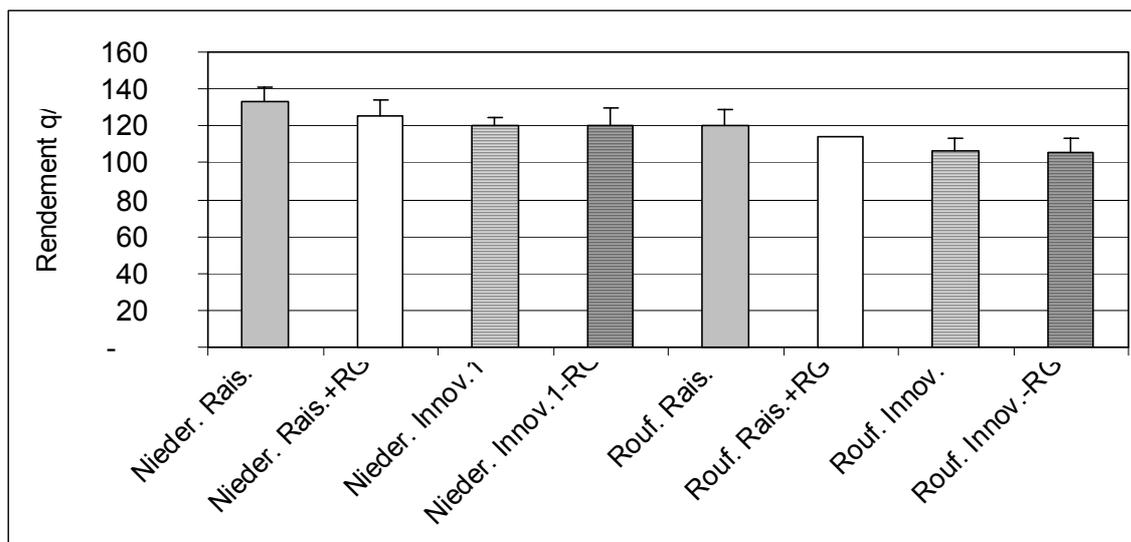


Figure 5 – Effet du sous-semis sur le rendement de la culture : **a) 2004 b) 2005** (+RG et -RG signifient respectivement avec et sans destruction du sous semis de ray-grass).

Effet sur la culture suivante du sous-semis en place (Niederentzen innovant 2) :

Il est clairement établi que le maïs est très sensible à la concurrence des adventices durant sa phase juvénile (AGPM-Technique, 2001). Or dans le système innovant 2 à Niederentzen, une forte concurrence due au couvert de ray-grass mal détruit a été observée visuellement en 2003 et 2005, confirmée par les pertes de rendements (Figure 2) et le retard de développement (Tableau 18). Au printemps 2004, en raison du dépérissement du sous-semis durant l'année précédente, ce problème ne s'est pas fait sentir.

Suite aux conditions sèche du printemps 2003, aucun traitement prélevé n'a été effectué avant semis. Les traitements avant levée (Tableau 10) en raison de mauvaises conditions météorologiques (Tableau 11) se sont révélés inefficaces. Par ailleurs, en 2003, le semis du maïs ne s'est pas fait de manière combiné au travail du sol en bande pour des raisons techniques dues au type de machine utilisée (strip till). Des problèmes de régularité du semis par rapport à la bande fraisée sont apparus (Tableau 20). En moyenne 30 % de la ligne de semis s'est retrouvée dans la végétation de la culture intermédiaire mise en place . Ceci s'est traduit par des manques importants, sur 25 % environ de la parcelle ce qui est énorme.

Par ailleurs, des repousses en quantités assez significatives pour mériter un traitement supplémentaires ont été observées dans les systèmes innovants 1 à Niederentzen en 2003 et 2005 (comme dans la culture de soja à Rouffach en 2005). Mais l'effet n'a pas pu être évalué.

Tableau 20 – Notation du peuplement en système innovant 2 à Niederentzen en 2003.

	% peuplement sur rang	% rangs avec plantules stressées	% rangs avec sous- semis bien développé	% rangs avec plantules dans rang de sous- semis
Moyenne	76	31	36	29
Ecart-type	10	14	7	21

4. Réduction du lessivage des nitrates

4.1. Nitrates dans le sol

Un suivi de l'azote minéral dans le sol a été effectué à partir de la récolte jusqu'au semis suivant. Les résultats proviennent de la moyenne de 3 répétitions (4 sur les site du Pays de Bade), chacune d'elle résultant de 8 prélèvements à la tarière manuelle côté alsacien et côté badois (5).

Les prélèvements en Alsace ont été effectués aux stades clés pour une étude du lessivage, avant récolte, début hiver, sortie hiver. D'une manière générale, les valeurs sont faibles à Niederentzen (Figure 6a), inférieure à 30 kg/ha sur 40 cm, à l'exception de point au moment du semis qui sont influencés par le premier apport d'azote (cf. Tableau 4, Annexe 1). Les reliquats à la récolte sont un peu plus élevés en 2003 et 2004, ce qui correspondrait à des années de non réalisation de l'objectif de rendement. Au vu des écarts-type qui restent dans la plupart des cas dans la gamme de variation trouvée par d'autres auteurs (Ilsemann et al., 2001 ; Schmidhalter et al., 1992), il est difficile de tirer des conclusions quant à d'éventuelles différences entre les systèmes étudiés. De même à Rosheim, les différences entre systèmes sont très faibles malgré des niveaux de reliquats plus élevés, ce qui est normal vu le sol limoneux profond à plus forte minéralisation.

On retrouve à Rosheim des valeurs élevées au moment du semis en raison du premier apport d'azote. On remarquera aussi les valeurs élevées à la récolte de 2004. La non atteinte de l'objectif de rendement en est probablement une raison. En 2003, on remarque une tendance à l'augmentation qu'on retrouve à Rouffach où aucun apport n'est fait au moment du semis. Ce dernier site mérite plus de commentaires. En 2003, on retrouve des reliquats à la récolte plus élevés qu'en 2002, ce qui serait dû à la non atteinte de l'objectif de rendement en raison de la canicule. Cette remarque aurait aussi pu être faite pour Niederentzen. Cependant il existe un doute pour les mesures de 2002 sur les deux sites en raison du mode de traitement des échantillons à l'INRA et du niveau d'humidité, suite à une comparaison des mesures faites par l'équipe avec des mesures faites sur ces sites dans le cadre du projet MoNit auquel participe l'ARAA. En revanche à Rouffach, l'évolution des valeurs en 2003 notamment après la féverole non récoltée montre une tendance nette à l'augmentation. La parcelle en maïs en 2004 reste à la récolte à un niveau élevé malgré le couvert. Est un effet de la minéralisation dû à la non récolte de la féverole ? L'augmentation qui suit la récolte est remarquable au vu des fortes précipitations d'octobre, d'autant plus qu'aucune accumulation dans le second horizon n'est constatée. Côté badois, l'augmentation de la minéralisation a aussi pu être observée après légumineuse récoltée et surtout non récoltée, spécialement à Steinensadt en 2004. Ceci s'est répété en 2005 sur cette parcelle à teneur en argile plus élevée et amendée durant de longues années avec du fumier, pour le traitement en maïs innovant après soja. Sur la parcelle de Viehwegacker à plus faible potentiel de rendement et avec un long passé de fertilisation minéral, et à teneur en matière organique moins élevée, cet effet « catalytique » de la culture précédente en légumineuse a été moins marqué. En 2005, cet effet a été à peine significatif avec une minéralisation au printemps plus faible d'une manière générale. A Steinensadt, on peut presque supposer que le changement des conditions du sol avec la réduction du travail du sol et l'introduction d'une CIPAN et d'une légumineuse a favorisé la tendance à une minéralisation élevée déjà existante, malgré la suppression du labour.

Du côté badois, des prélèvements supplémentaires ont été effectués durant la période de végétation (Figure 7). En 2005, les valeurs d'azote minéral dans le sol sont plus faible après l'hiver (17/03/05). Après les pertes de rendement dues à la grêle, elles ont été comme prévues un plus élevées mais atteignant cependant des valeurs entre 28 et 48 kg N /ha. Par ailleurs, sur le site de Steinensadt après soja malgré une réduction du travail du sol, une minéralisation très dynamique s'est mise en route très rapidement, alors que sur le site de Viehwegacker, cet effet a été à peine observable, avec une dynamique de minéralisation et une réaction au changement de systèmes plus faibles. Les valeurs élevées en juin sur le site de Viehwegacker sont la conséquence d'une fertilisation non prévue d'un engrais azoté

stabilisé avec retardateur de fertilisation (DMPP⁵) en un apport au semis (120 kg N/ ha sur 0-30 cm).

A cause des rendements élevés de 2005, les quantités d'azote minérales venant de la fertilisation et de la minéralisations ont été bien absorbées, avec l'exception de l'excès sur le site de Steinenstadt en maïs innovant a cause d'une erreur de fertilisation. Après le pois, avec une moutarde implantée tôt en été, les quantités d'azote minérale ont été quasiment épuisées par la culture intermédiaire (voir aussi Figure 7).

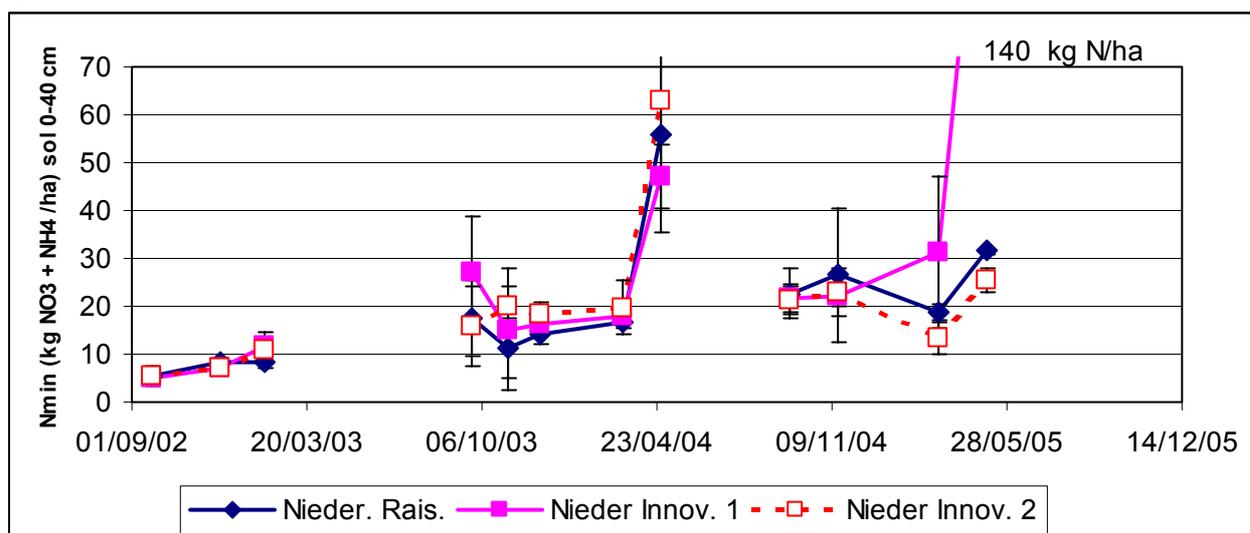
Pour la période d'interculture, on observe des reliquats plus élevés en 2003 et 2005 qu'en 2004, de même qu'à Steinenstadt (site non irrigué) par rapport à Viehwegacker (irrigué en 2003 et 2005). En 2003 et 2005 il y a un effet positif des CIPAN sur les deux sites après soja, pois et sous-semis à Viehwegacker. En 2004, cet effet se retrouve à Viehwegacker sur la parcelle de maïs et en 2005 sur les parcelles des pois. Par ailleurs, il ressort aussi qu'avec des rendements de maïs élevés dans les systèmes conventionnels, les reliquats de nitrates (2005) sont aussi faibles. Néanmoins la minéralisation survenant après la récolte ne peut toutefois pas être recueillie dans ce système sans cultures CIPAN.

Les prélèvements ont montré dans certains cas des écart-types assez élevés, notamment à Steinenstadt et en 2004 dans le système innovant. En effet, dans ce système, la fertilisation a été apportée sous forme de solution liquide riche en ammoniac un rang sur deux. Ceci a nécessité des mesures supplémentaires (Tableaux 21a et 21b). On remarquera aussi à Viehwegacker que les valeurs pour les 2 rangs, fertilisés et non, sont proches pour les nitrates. Il est possible que le prélèvement n'a été fait dans le dépôt même. Néanmoins cet effet a aussi été observé sur d'autres prélèvements en 2005, de sorte qu'on peut supposer que des caractéristiques spécifiques du sol sur ce site aient joué un rôle stabilisateur du dépôt. D'autre part, on pourrait aussi avoir obtenu par la fertilisation avec une solution de sulfate d'ammonium (33% et d'urée (66%)), - en particulier dans le sol argileux - (absorption d'ammonium par la plante) une efficacité d'azote plus élevée. Pour cela aucune étude détaillée n'est toutefois disponible. Il a aussi été observé en 2005, que le dépôt d'ammonium utilisé par la solution de sulfate d'ammonium (33% et d'urée (66%)) n'a pas été stable comme prévu et que déjà après 22 jours, une grande partie de la quantité d'ammonium (au départ 78 kg NH₄-N/ha) a été nitrifiée (Tableau 21b). La solution azotée et le procédé de fertilisation n'a pas permis de créer un effet protecteur durable par rapport à la nitrification au travers de la formation d'une couche protectrice acide. En effet, l'injection de la solution au travers d'un soc en forme de patte d'oie a probablement conduit à une répartition trop étalée du dépôt pour créer cet effet. Des connaissances plus précises sur les processus dans le sol au travers d'expérimentations spécifiques avec différentes formulations pour l'engrais devrait être acquises.

L'ensemble de ces mesures d'azote minéral n'ont pas permis de montrer un clair positif des systèmes innovants avec sous-semis sur la réduction des reliquats azotés côté alsacien. Il est possible qu'il existe un effet positif de celui-ci, compensé par une augmentation des reliquats due à des rendements inférieurs. Côté badois, en particulier en 2003 à Viehwegacker (à Steinenstadt, site non irrigué, le couvert a desséché), le sous-semis a permis de limiter les risques de lessivages dus à des rendements inférieurs aux objectifs, de même qu'après pois le risque de lessivage a été fortement diminué par la CIPAN. En tout cas, il est intéressant d'aller plus loin, soit par des mesures supplémentaires de type bougies poreuses pour approcher de plus près le lessivage ou à l'aide de modèle, pour analyser la dynamique et les raisons du lessivage.

⁵ DMPP = 3,4-Dimethyl-Pyrazolphosphat

a) Niederentzen



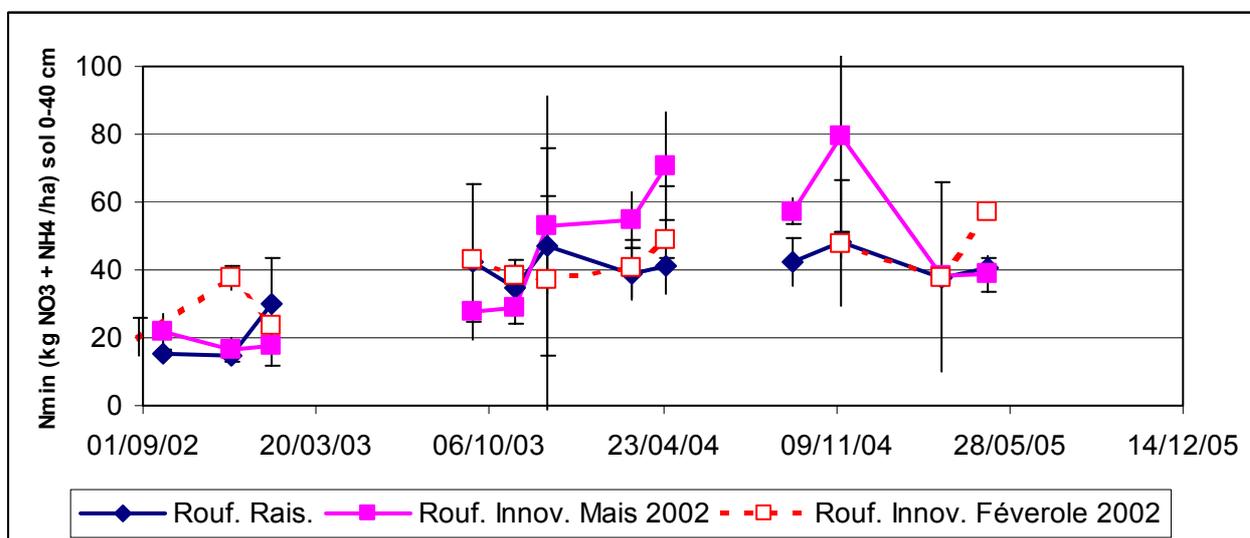
b) Rouffach

Rouf Innov. Maïs 2002,
Rouf Innov. Féverole 2002

2003 : Féverole
2003 : Maïs

2004 : Maïs
2004 : Soja

2005 : Soja
2005 : Maïs



c) Rosheim

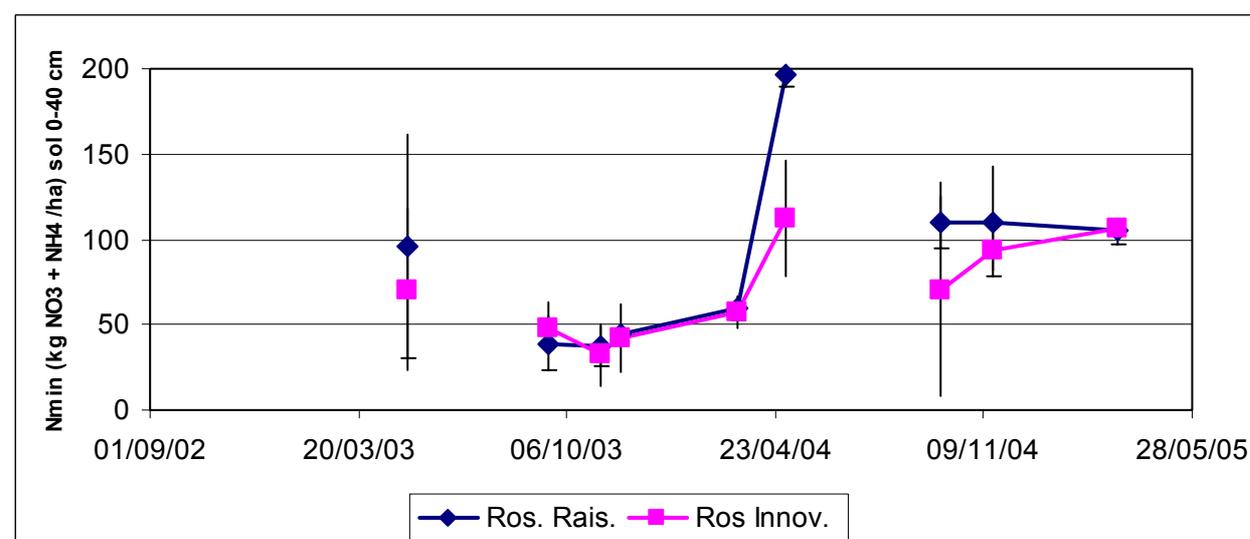
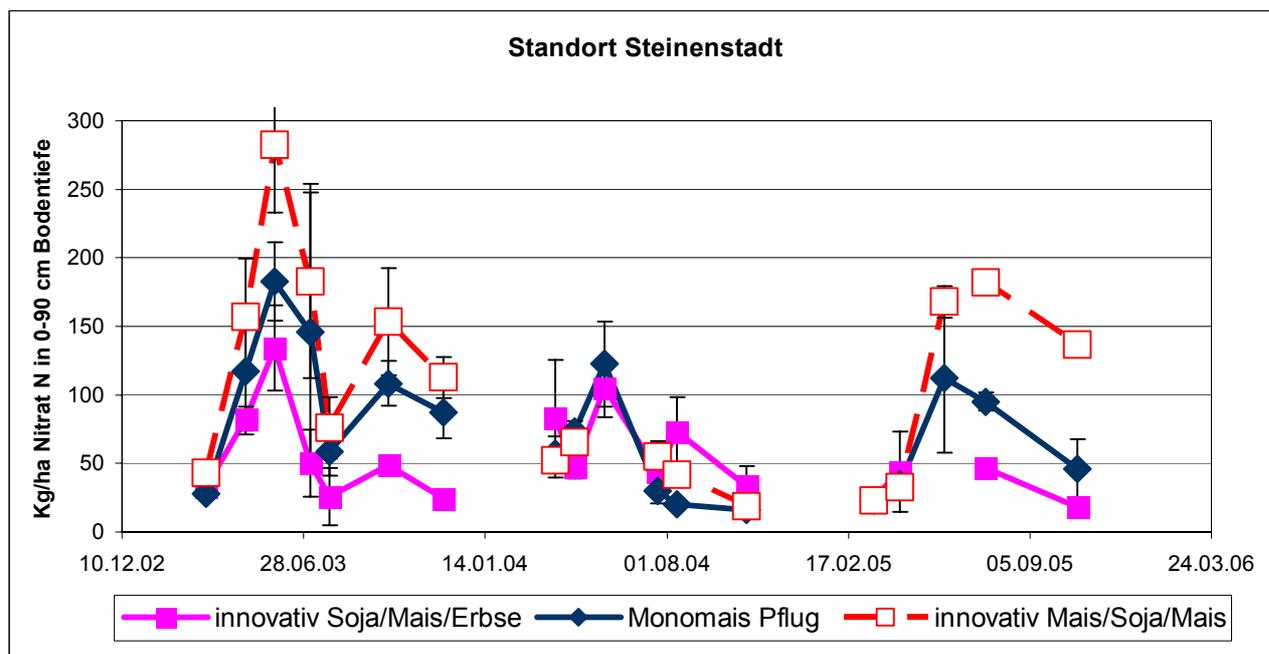


Figure 6 - Devenir de l'azote minéral dans le sol sur les sites alsaciens. L'absence de liens entre points correspond à la phase de culture.

a) Steinencit



b) Viehwegacker

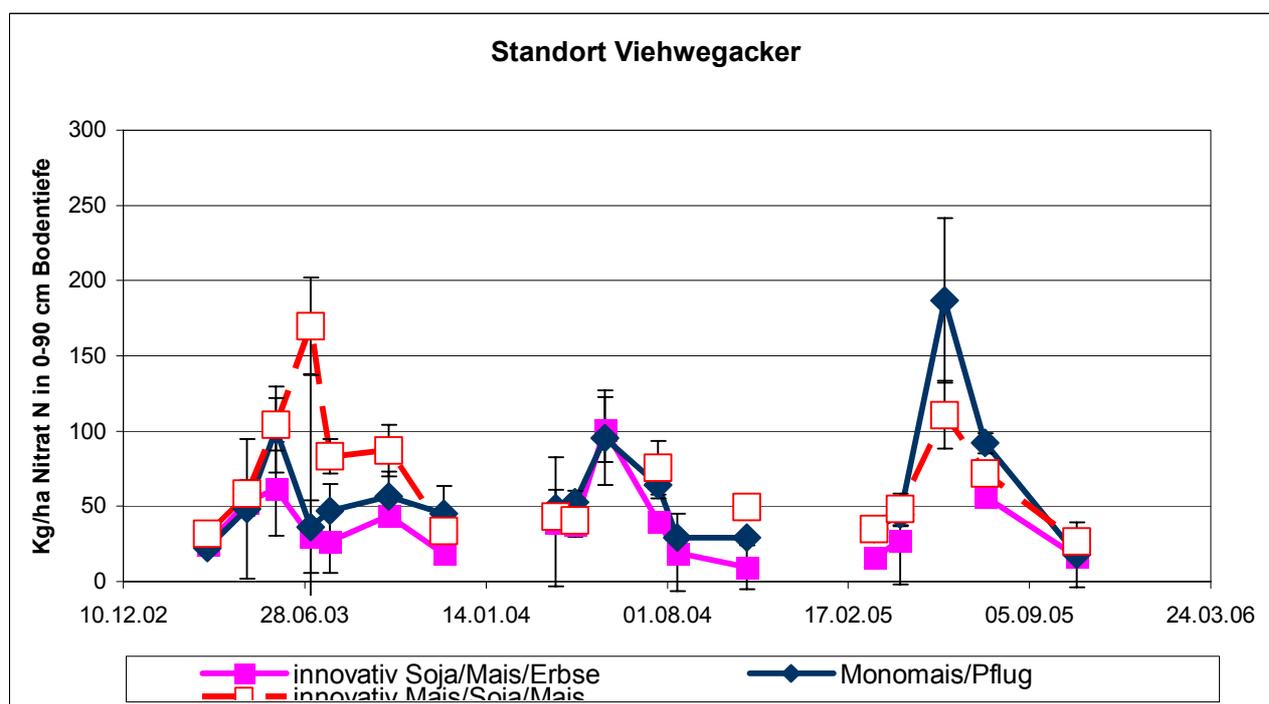


Figure 7- Devenir de l'azote minéral (sous forme nitrate uniquement) dans le sol sur les sites badois. L'absence de liens entre points correspond à la phase de culture.

Tableau 21 – Valeurs de reliquats dans les systèmes innovants des sites badois fertilisés avec le procédé CULTAN (1 rang sur 2)

a) Valeurs sur l'ensemble du profil (0-90 cm)

Site	Rang non fertilisé	Rang fertilisé avec le dépôt ammoniacal	Moyenne	Rang fertilisé	Total rang fertilisé
2004 (12.08.04) *)					
	kg NO ₃ -N/ha			kg NH ₄ -N/ha	kg NO ₃ +NH ₄ -N/ha
Steinensadt (0-90 cm)	23 ± 3	123 ± 47	73 ± 22	44 ± 21	167 ± 66
Viehwegacker (0-90 cm)	20 ± 4	19 ± 2	19 ± 2	41 ± 8	60 ± 10
2005 (3.06.2005)					
Steinensadt (0-90 cm)	75 ± 18	245 ± 42	167 ± 25 ³⁾	16,6	261 ± 66 ³⁾
Viehwegacker (0-90 cm)	69 ± 11	138 ± 44	110 ± 17 ³⁾	11,4	149 ± 17 ³⁾
18.07.05 ¹⁾					
Steinensadt (0-90 cm)	51 ± 4	314 ± 9	182 ± 6		
Viehwegacker (0-90 cm)	63 ± 10	81 ± 1	72 ± 6		
27.10.05 ²⁾					
Steinensadt (0-90 cm)	30 ± 4	244 ± 9	137 ± 3		
Viehwegacker (0-90 cm)	21 ± 6	33 ± 4	27 ± 5		

*) à la floraison femelle ; 1) à la floraison mâle ; 2) après récolte, 3) moyenne avec valeurs de la bande fraisée

b) Détail pour les prélèvements du 03/06/05 sur les sites de Steinensadt et Viehwegacker 22 jours après apport de l'engrais liquide (33% sulfate d'ammonium et 66% en urée).

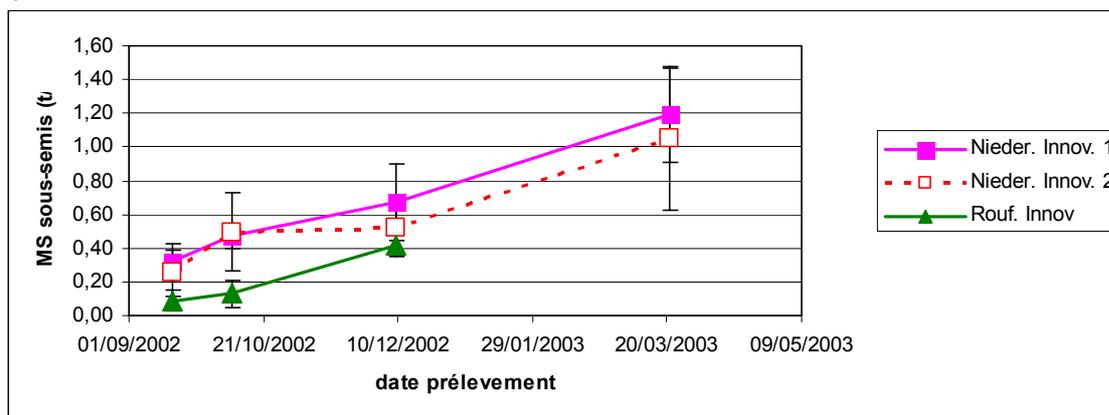
Traitement	kg NO ₃ -N/ha				kg NH ₄ -N/ha				Total N minéral (NO ₃ +NH ₄) kg N/ha			
	0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	60-90
Maïs Innovant Steinensadt												
Sur le rang fraisé	123,5	32,8	24,3	180,5	2,9	1,3	0,9	5,1	126,4	34,1	25,2	185,6
Dans l'interrang fertilisé	172,3	43,0	30,0	245,3	14	1,5	1,1	16,6	186,3	44,5	31,1	261,9
Dans l'interrang non fertilisé	44,3	18,0	13,0	75,3	2,6	1,3	1	4,9	46,9	19,3	14,0	80,2
Valeur représentative	113,1	30,9	22,3	166,4	5,7	1,3	1,0	7,9	119	32	23	174
Maïs Innovant Viehwegacker												
Sur le rang fraisé	64,3	31,3	25,3	120,8	2,8	1,7	1,4	5,9	67,1	33,0	26,7	126,7
Dans l'interrang fertilisé	74,0	33,0	31,0	138,0	7,9	2,1	1,4	11,4	81,9	35,1	32,4	149,4
Dans l'interrang non fertilisé	25,5	24,0	20,0	69,5	2,5	1,7	1,3	5,5	28,0	25,7	21,3	75,0
Valeur représentative	55,43	29,2	24,88	109,5	4,0	1,8	1,3	7,1	59	31	26	117

4.2. Efficacité du sous-semis

Des prélèvements de ray-grass ont été effectués à différentes dates avant récolte et après, jusqu'à sa destruction. Les valeurs obtenues ont été pondérées en fonction des notations sur le développement du couvert à Rouffach en 2002 et à Rosheim. A Rosheim, le taux de couverture a été estimé en 2003 à 39%, ce qui explique sa faible croissance à l'hectare. Les valeurs d'absorption d'azote par les parties aériennes ont été majorées par un facteur de 1,2 pour tenir compte de l'absorption racinaire (Chapot, 1992).

Deux années sur trois, une croissance acceptable du sous-semis est observée avec des absorptions d'azote de l'ordre de 15 à 20 kg N/ha avant hiver. En 2002, le maintien du couvert jusqu'à la sortie de l'hiver a permis une absorption supplémentaire de 15 kg/ha. Ce gain a été beaucoup plus faible en 2004.

a) 2002



b) 2004

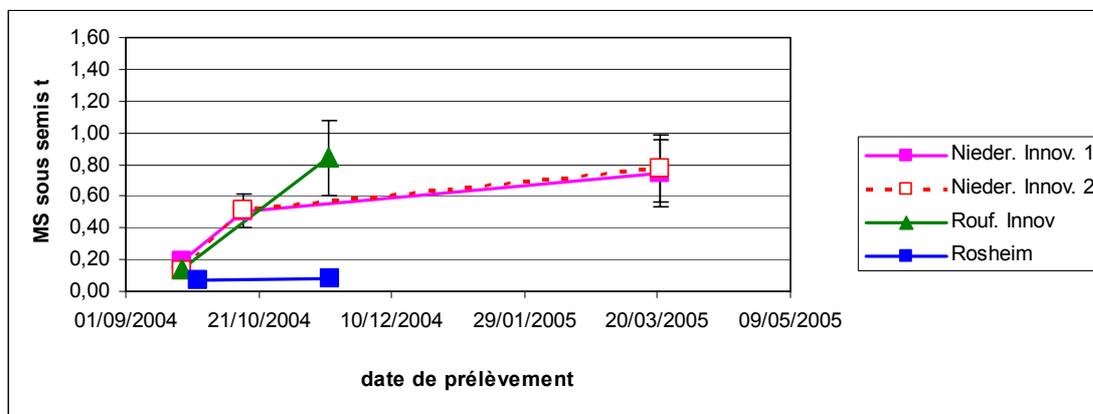
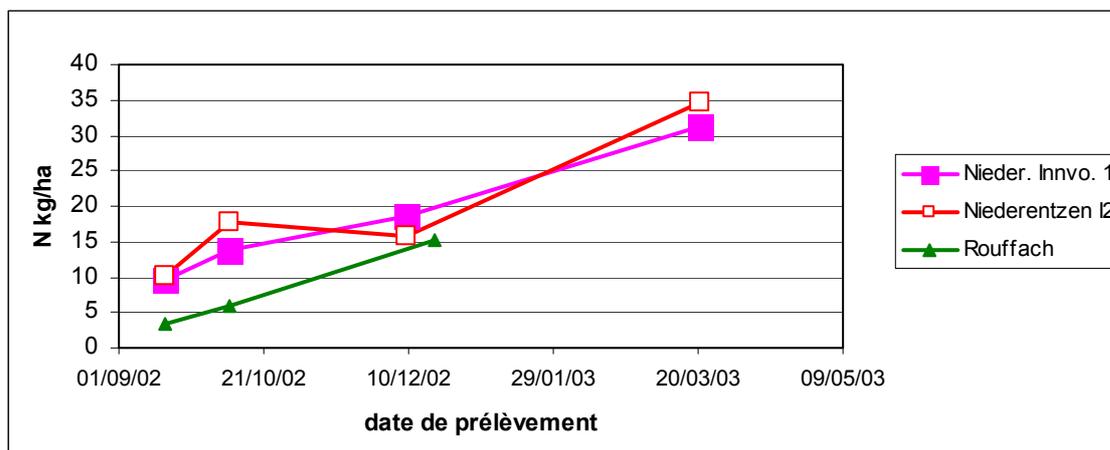


Figure 8 – Croissance du sous-semis de ray-grass (t MS/ha) avant et après récolte sur les sites alsaciens :a) 2002 b) 2004..

a) 2002



b) 2004

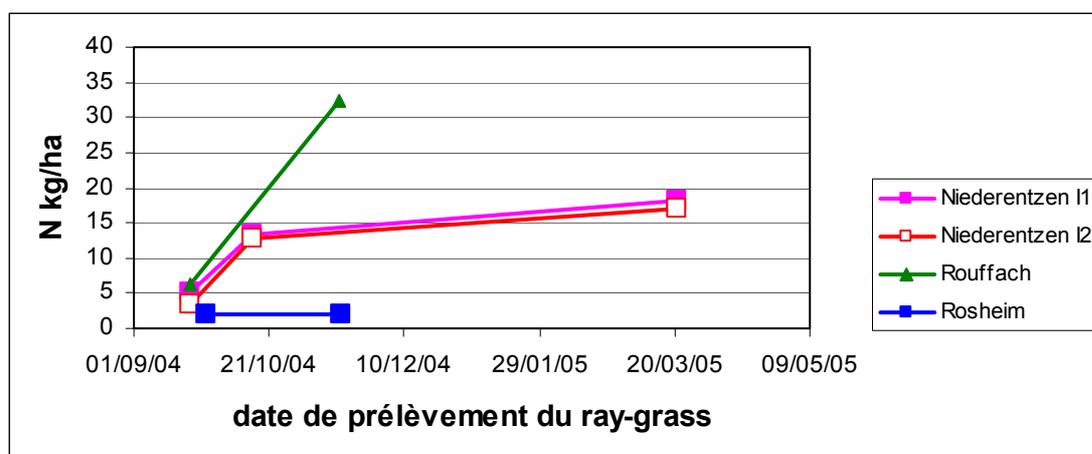


Figure 9 – Absorption d’azote par le sous-semis de ray-grass (kg N/ha) avant et après récolte sur les sites alsaciens : **a)** 2002 **b)** 2004. En 2003 dépérissement du couvert (sauf à Rosheim où même niveau qu’en 2004).

Sur les sites badois, des valeurs plus élevées qu’en Alsace ont été observées en 2003 (Tableaux 22 et 23) avec le sous-semis de l’avoine dans le soja (épandu en plein dans le couvert soja à maturité) en août, et avec le semis de ray-grass combiné avec binage au stade de 8-10 feuilles). Les résultats montrent que les sous-semis dans le maïs, comme la moutarde blanche comme CIPAN en 2005 peuvent absorber des quantités considérables et significatives dans des situations de reliquats élevés et contrôler l’excès d’azote dans les sols avant hiver. Les seules exceptions sont à Steinenstadt en conditions de minéralisation extrêmes.

Tableau 22 - Croissance du sous-semis de ray-grass et de CIPAN après Soja/Pois (t MS/ha) sur les sites badois, avant hiver (01.12.03/ 18.11.04/ 15.11.05).

		MS sous-semis (t MS/ha)	
		Sous-semis après maïs	CIPAN après soja/pois
		t MS/ha	
Steinenstadt	2003	0	1,74
	2004	0,51	0,55
	2005	0,51	3,96
Viehwegacker	2003	1,63	1,33
	2004	0,89	0,33
	2005	0,46	3,29

Tableau 23 - Absorption d'azote par le sous-semis de ray-grass (kg N/ha) et la CIPAN après soja et pois (2005) sur les sites badois, avant hiver (1.12.03/ 18.11.04/ 15.11.05).

		Absorption d'azote	
		Sous-semis après maïs	CIPAN après soja/pois
		kg N/ha	
Steinenstadt	2003	0	67
	2004	14	21
	2005	16	109 *)
Viehwegacker	2003	44	46
	2004	25	12
	2005	14	94 *)

*) teneurs d'azote de moutarde blanche (CIPAN) en 2005 estimées selon (Koller et al., 2000).

Tableau 24 – Valeur des rapports carbone sur azote (C/N) des couverts de sous-semis lors du dernier prélèvement avant l'enfouissement en Alsace.

	Niederentzen	Rouffach	Rosheim
	C/N		
2002	20	13	-
2003	-	-	17
2004	19	17	14

Dans l'ensemble les niveaux d'absorption peuvent paraître faibles ou très variables. Mais ces valeurs entrent dans la fourchette de ce qu'on peut attendre d'après la synthèse effectuée par l'ITADA en 1998 ((Gobillot, 1998)) et de données expérimentales obtenues en Alsace depuis (C. Barbot, com. pers., (Fritsch, 2001)). Dans tous les cas, il faut se souvenir que 11 kg d'azote lessivés dans 100 mm conduise à la concentration limite de 50 mg NO₃/L. Les performances du sous-semis ne permettent pas de limiter de forts excès mais en situation normale de fertilisation de capter la minéralisation. Le maintien du couvert jusqu'au printemps s'est révélé être intéressant pour 2002-2003 à Niederentzen mais non en 2004-2005. Ceci est peut-être dû au mois d'octobre très humide qui a entraîné un lessivage précoce d'azote et a limité les quantités disponibles pour une poursuite de la croissance. Cette date d'enfouissement du sous-semis de ray-grass peut se révéler problématique sur sols lourds, et semble-t-il faisable seulement avec une technique de semis de maïs en bande fraisée. Le contrôle des repousses et la préparation d'un lit de semence adapté est rendu alors plus difficile et les quantités d'herbicide augmentées, ce qui ne peut être compensé par l'augmentation faible de biomasse durant l'hiver et la consommation d'eau qui y est liée. Les CIPAN d'avoine après légumineuse peuvent être maintenues durant l'hiver. D'après l'expérience faite sur les sites badois en 2005, leur traitement par herbicide ne doit pas avoir lieu trop tôt avant maïs (environ fin mars) pour que les levées d'adventices au printemps puissent être contrôlées par le traitement herbicide sur maïs et le binage qui suit.

Le Tableau 24 présente les valeurs de rapport de carbone/azote (C/N) qui restent inférieures à 20 dans la majorité des cas sauf à Niederentzen. Ces valeurs sont en dessous des valeurs seuils au-dessus desquelles la décomposition des résidus entraîne en premier lieu une réorganisation de l'azote (Chapot, 1998). Le sous-semis doit donc être enfouis comme énoncé par les règles de décision au plus tôt à la mi-décembre.

Un autre point qui ressort de ces observations est la pertinence de maintenir une date de récolte précoce ce qui a des conséquences sur le choix variétal. En effet, le non respect de cette règle de décision n'a pas empêché des absorptions de l'ordre de 20 kg N/ha. Elle pourrait donc être remise en question, ce qui a été fait sur le site de Niederentzen en 2005. La réussite d'un sous-semis semble dépendre d'avantage des conditions météorologiques et de l'état du sol au moment de son implantation, et des conditions après récolte que du choix

de la variété de maïs. Quant aux CIPAN après légumineuse faites sur les sites allemands, il ressort que le semis d'une moutard après pois est moins coûteuse et plus efficace que le sous-semis d'avoine dans le soja sans travail du sol, technique qui n'est adaptée qu'au soja.

4.3. Mesure du lessivage des nitrates à l'aide de bougies poreuses sur les sites alsaciens.

Dans le cadre de son Programme Agronomique Régional, l'ARAA a équipé à partir de fin 2002 une trentaine de sites avec des bougies poreuses. Pour chaque site ou parcelle, 7 bougies horizontales ont été placées, enfoncées dans le profil non perturbé à partir d'une fosse. Les 3 parcelles de Rouffach ont été ainsi équipées. Sur le site à sol caillouteux de Niederentzen, les bougies ont été placées au fond d'une fosse et recouverte des différents horizons, ceci pour les traitements raisonnée et innovant 1. Dans les deux cas le regard où arrive les tuyaux des bougies a été placé dans le couloir d'irrigation. Il se comprend facilement que l'installation provoque des perturbations et que les résultats de la première année (2002/2003) sont inutilisables.

Le Tableau 24 résume les premières observations pour les intercultures 2003-2004 et 2004-2005. Les valeurs après la récolte 2003 sont plus élevées qu'après la récolte 2004 et systématiquement au-dessus de la norme des 50 mg NO₃/L. Pour 2004 on remarquera le bon résultat pour le système innovant 1 qui présente un faible lessivage à Niederentzen. La différence en quantité lessivée correspond grosso modo à l'absorption par le ray-grass (Figure 9). A Rouffach, les quantités lessivées sont inférieures et à un niveau faible. Le système innovant après la récolte de 2004 présente un niveau de perte légèrement supérieur au système raisonnée et dépasse la norme des 50 mg NO₃/L. Les conditions climatiques de 2003 à l'origine de rendement plus faibles peuvent expliquer les résultats plus défavorables en termes de concentration de 2003 tandis qu'à Rouffach, le système innovant malgré un sous-semis qui a bien fonctionné (cf. Figure 9a). L'objectif de rendement a été pourtant atteint. La minéralisation du couvert de graminées après enfouissement n'est probablement pas en cause. Les valeurs rapport de carbone/azote (C/N) sont autour inférieures à 20 (Chapot, 1998) ce qui peut être source minéralisation. Mais la majorité du drainage a eu lieu au cours du mois d'octobre et avant enfouissement (Annexe 10). Une autre explication plus probable pourrait être un surplus de minéralisation dû à l'enfouissement de la féverole non récoltée en 2003. On remarque en effet des valeurs d'azote minéral élevé sous ce traitement après 2004 (cf. Figure 6).

Tableau 25 – Résultats issus du réseau de bougies poreuses de l'ARAA (Burtin et Rapp, 2005)

Année de récolte	Site	Système	Période de drainage	Drainage estimé (mm)	Quantité N lessivée (kg N/ha)	Concentration moyenne en nitrates (mg NO ₃ /L)
2003	Nieder.	Rais.	10/10/03-15/03/03	160	33	92
	Nieder.	Innov. 1 ^a	-	-	-	-
2004	Nieder.	Rais.	09/10/04-21/01/05 et 15-30/04/05	183	20	48
	Nieder.	Innov. 1	09/10/04-21/01/05 et 15-30/04/05	183	7	17
2003	Rouff.	Rais.	01/01/04-15/03/04	93	14	65
	Rouff.	Innov. (Fév)	01/01/04-15/03/04	93	14	65
-2004	Rouff.	Rais.		136	13	42
	Rouff.	Innov. (Mg)		136	17	57

^a problème suite à l'action d'un rongeur, le site a dû être réouvert

4.4. Estimation du lessivage des nitrates à l'aide de modèle

Si les modèles de simulation issus de la recherche sont souvent trop lourds pour une utilisation de routine, ils peuvent s'avérer utiles pour de telles expérimentations pour apporter des informations complémentaires, extrapoler à d'autres situations.

Ainsi pour la problématique des lessivages des nitrates, le modèle LIXIM a été développé à l'INRA de Laon (Mary et al., 1999) pour estimer le lessivage durant l'interculture à partir des mesures de reliquats d'azote. Plus complet encore est le modèle STICS (Brisson et al., 2003) qui permet de simuler le devenir de l'azote dans le système sol-plante, donc durant toute la phase de végétation. Du côté alsacien, nous avons rapidement penché pour le modèle STICS suite aux conseils d'un des concepteurs. Malgré les efforts d'une stagiaire en contact l'INRA d'Avignon où se situe l'unité qui appuie les utilisateurs de STICS et les échanges avec l'ARAA et la LfU (Landesanstalt für Umwelt, sorte d'équivalent de la DIREN) impliqués dans le projet MoNit qui est en train de tester et calibrer STICS, il n'a pas été possible dans le temps imparti de parvenir à des résultats satisfaisants, ni d'en identifier les raisons : si les écarts étaient dus au modèle ou aux conditions particulières des essais ceci pour le traitement raisonné sans sous-semis. Les simulations avec sous-semis ont été faites avec le module « culture associée » de la nouvelle version 6 de STICS. A ce niveau, le modèle est certainement à améliorer. Dans tous les cas, un effort supplémentaire de paramétrage était nécessaire. Le Tableau 25 donne un extrait des résultats des erreurs moyennes (observées-simulées) qui sont bien trop élevées pour permettre des estimations satisfaisantes.

Tableau 26 – Erreur moyenne (valeurs observées –valeurs simulées) avec l'utilisation de STICS avec les données du projet (2002-2004) sur les sites alsaciens

	Date levée (j)	Rendement (q/ha)	Azote minéral dans le sol (horizon 1) (kg N/ha)	Azote minéral dans le sol (horizon 2) (kg N/ha)	N absorbé par la plante entière
Erreur moyenne	16	55	16	22	130

Les partenaires allemands en sont restés au modèle LIXIM et ont entrepris un effort de calage ([Müller-Sämann et Hölscher, 2005). Ils ont notamment modifié les paramètres de facteur de pondération sur l'humidité de la première couche de 2 à 1, et, l'épaisseur de la couche minéralisante de 35 à 30 cm.

Les Figures 10 à 13 montrent les résultats issus de la modélisation pour l'interculture 2003-2004. Le modèle montre ainsi des valeurs de minéralisation de 20 à 30 kg/N pour la période automnale. Sur un des sites, on observe une réorganisation qui soustrait de l'azote avant l'hiver (Figure 10). Ceci pourrait être dû à un passage de chisel précoce (13.10.03) avec semis du seigle tardif (peu efficace avant l'hiver). Dans tous les cas, les valeurs de drainage se situent entre 60 et 120 mm, à un niveau assez faible avec un démarrage précoce en automne qui a été pluvieux (Figure 11). Malgré ces valeurs assez faibles, les valeurs de lessivage sont élevées (Figure 12) en raison des fortes quantités présentes dans le profil (cf. Figure 7) notamment à Steinenstadt. La valeur du système innovant maïs à Viehwegacker est étonnamment élevée malgré l'effet positif du sous-semis (cf. Tableau 22). En revanche, l'absence de fertilisation et la mise en place d'une CIPAN (contrôlé seulement en avril de l'année suivante) permet une forte réduction du lessivage sous soja. En moyenne sur la succession, les quantités sont plus faibles en particulier sur le site de Steinenstadt. En raison des fortes quantités d'azote lessivées par rapport au faible drainage, les concentrations se situent à un niveau élevé.

Les estimations de lessivage à partir des mesures de reliquats d'azote ont été répétées durant la période de l'interculture en 2004/2005 sur les deux sites badois.

Les Figures 14 à 17 montrent les résultats issus de la modélisation pour l'interculture 2004-2005.

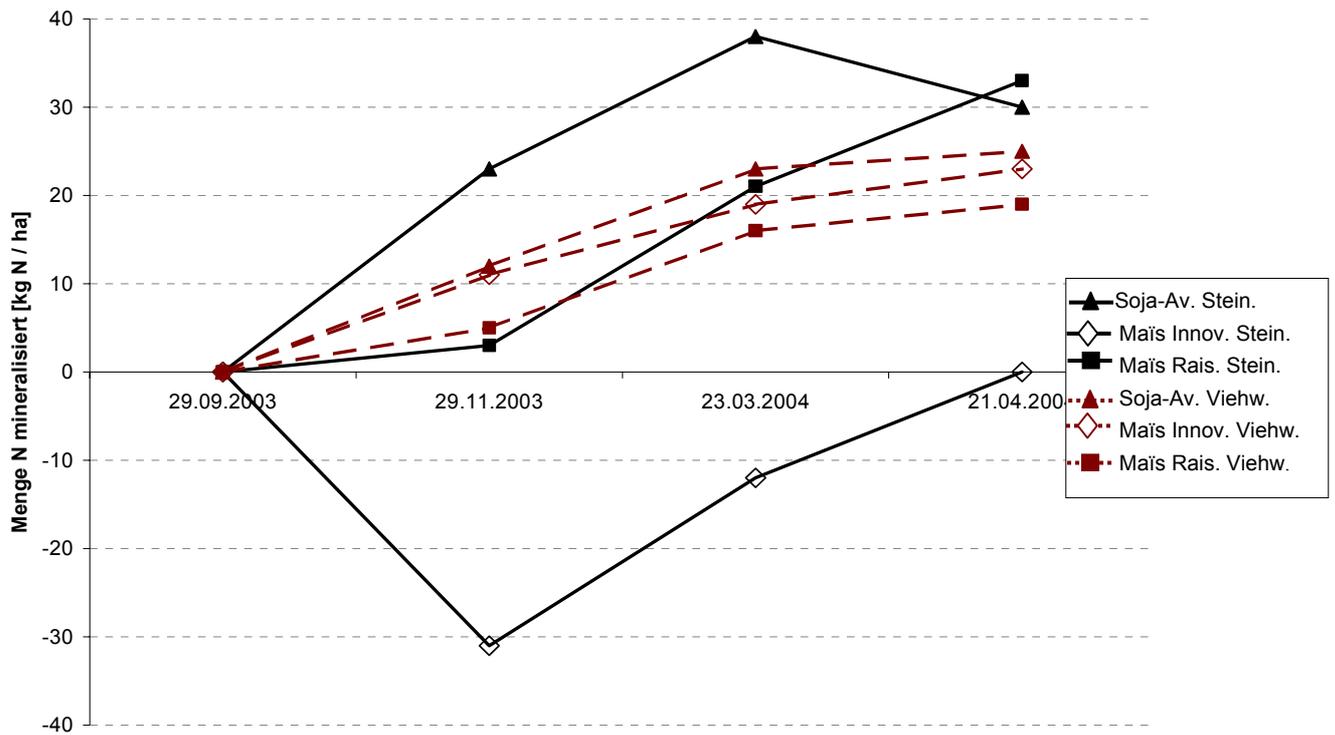


Figure 10 – Minéralisation de l'azote dans le sol durant l'interculture 2003-2004 sur les sites allemands

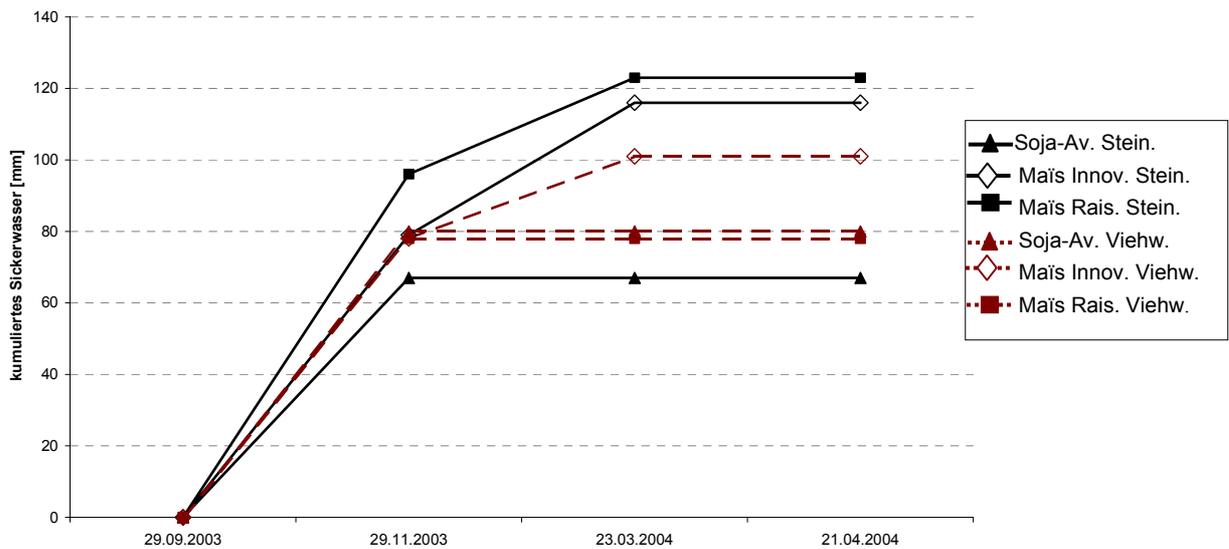


Figure 11 – Drainage cumulé durant l'interculture 2003-2004 sur les sites allemands

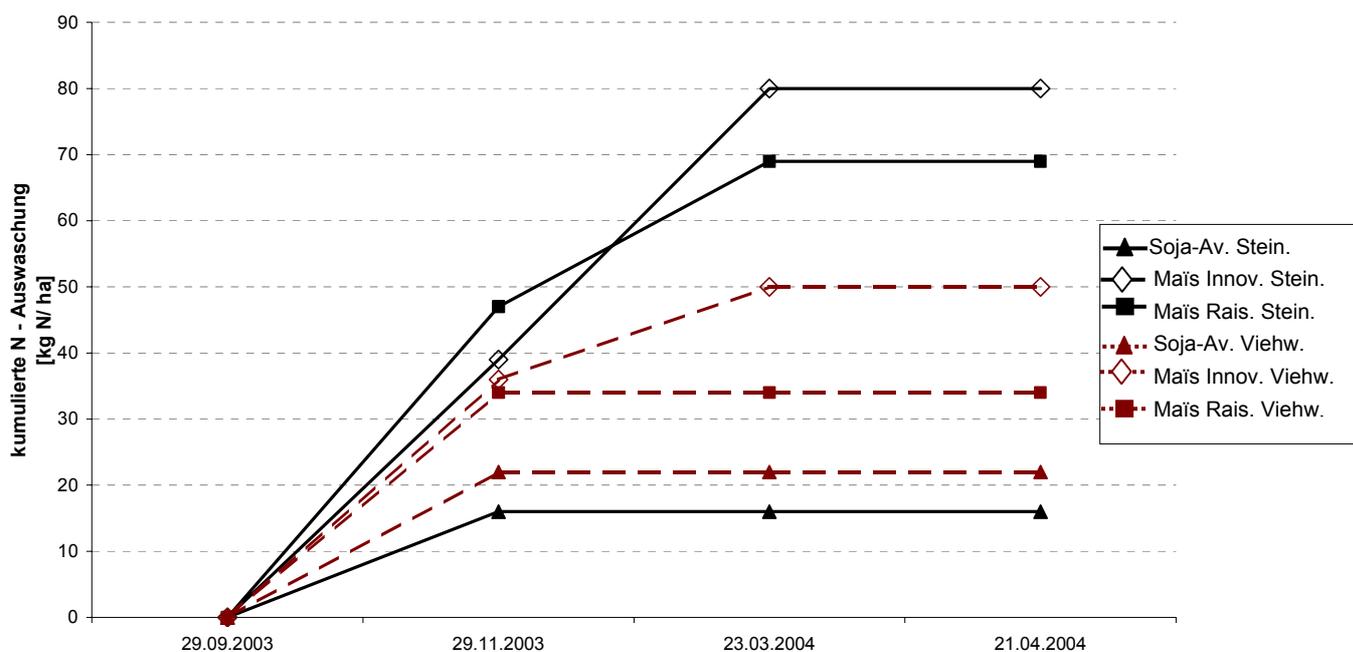


Figure 12 – Lessivage cumulé durant l’interculture 2003-2004 sur les sites allemands

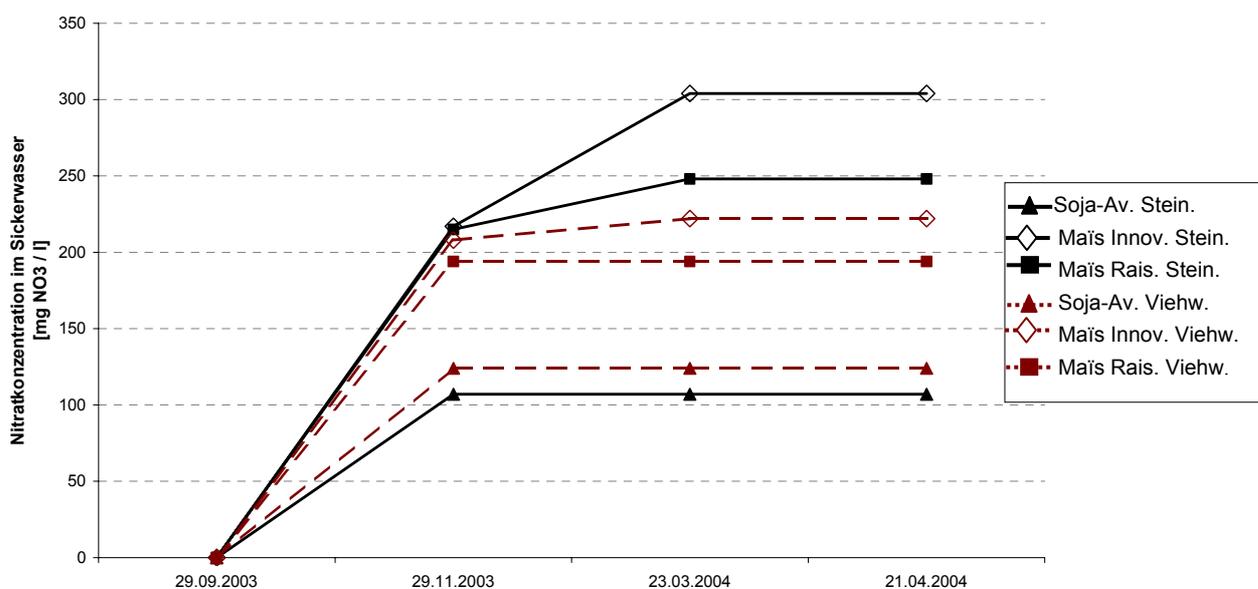


Figure 13 – Concentration en nitrates durant l’interculture 2003-2004 sur les sites allemands

Résultats de la modélisation LIXIM durant l’interculture 2004-2005 sur les sites allemands

Durant l’interculture 2004-2005, les résultats de modélisations avec LIXIM ont montré une relative bonne concordance avec les mesures observées au champ (données non présentées). Mais en raison du pas de temps assez éloigné entre deux mesures, les résultats ne sont pas si facile à interpréter.

La minéralisation (Figure 14) semble d’abord plus faible en système innovant qu’en système raisonné (28/10/04). Après le travail du sol en système innovant et l’enfouissement du ray-grass, la minéralisation augmente fortement jusqu’au semis de pois. Le système innovant après soja en 2004 et sans travail du sol jusqu’au printemps présente des valeurs

intermédiaires qui est à relier à l'effet sur la minéralisation au printemps de la légumineuse précédente.

Les valeurs de drainage ne présentent à quelques exceptions que de faibles différences entre les systèmes de culture, qui peuvent être expliquées par des différences de sol, alors que la valeur plus faible après soja à Viehwegacker reste inexpliquée. En ce qui concerne le lessivage d'azote, il en ressort que pour l'interculture 2004-2005 les valeurs les plus élevées se retrouvent dans les systèmes innovants (avec l'exception du maïs avant pois à Viehwegacker), avec des valeurs particulièrement élevées sur le site de Steinstadt.

Dans l'ensemble, les résultats de modélisations de 2004-2005 fournissent des résultats difficilement interprétables, à l'exception du fait que sur les systèmes en rotation, la dynamique de l'azote soit stimulée sur le site plus argileux de Steinstadt en comparaison avec le système raisonné en monoculture. Ceci va à l'encontre d'expérience courante mais peut être la conséquence d'une activité biologique plus élevée stimulée par le sous-semis. Par ailleurs, des changements dans la physique du sol pourraient être une explication. En effet, de nombreuses galeries de vers de terre ont été observées à Steinstadt en particulier en système innovant avec une couverture de sol presque permanente par rapport au système raisonné en labour. Ceci a pu conduire à une meilleur aération du sous-sol. Dans tous les cas, le nombre de prélèvements durant l'interculture a été trop faible (un en octobre puis un à la sortie hiver). Il en aurait fallu au moins un à « l'entrée de l'hiver » comme sur les sites alsaciens.

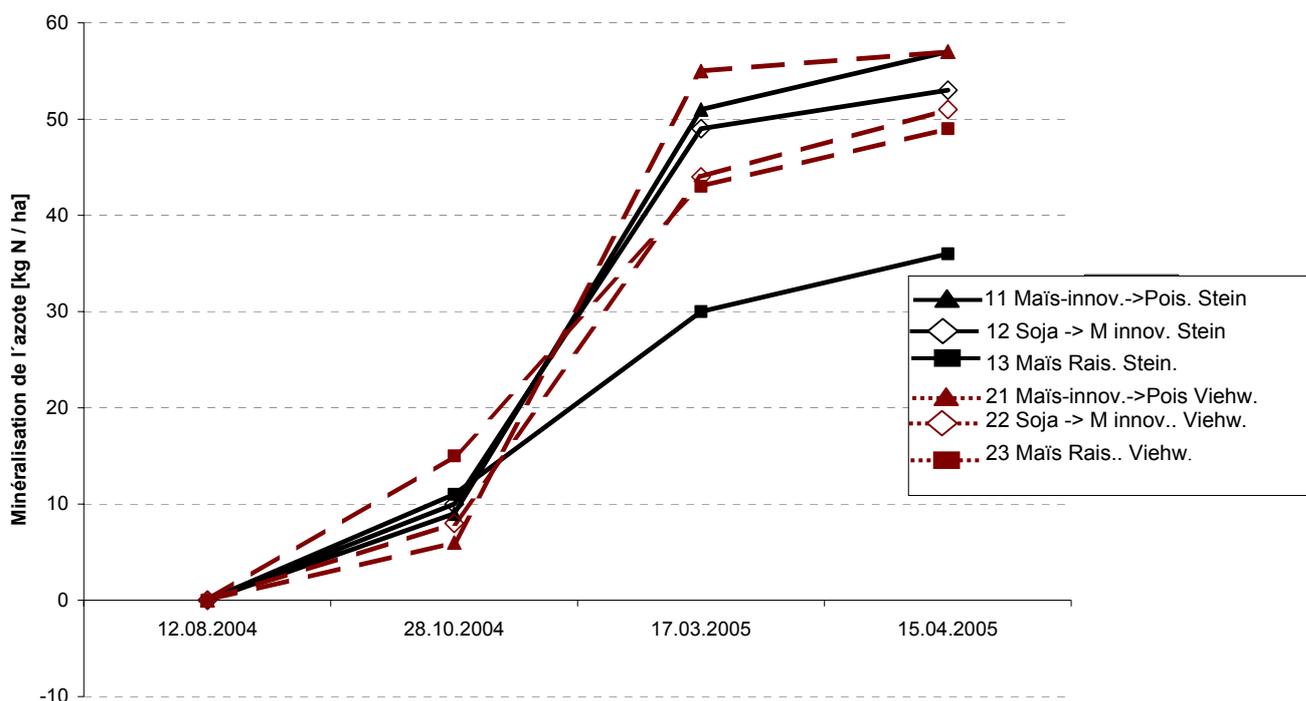


Figure 14 – Minéralisation de l'azote dans le sol durant l'interculture 2004-2005 sur les sites allemands

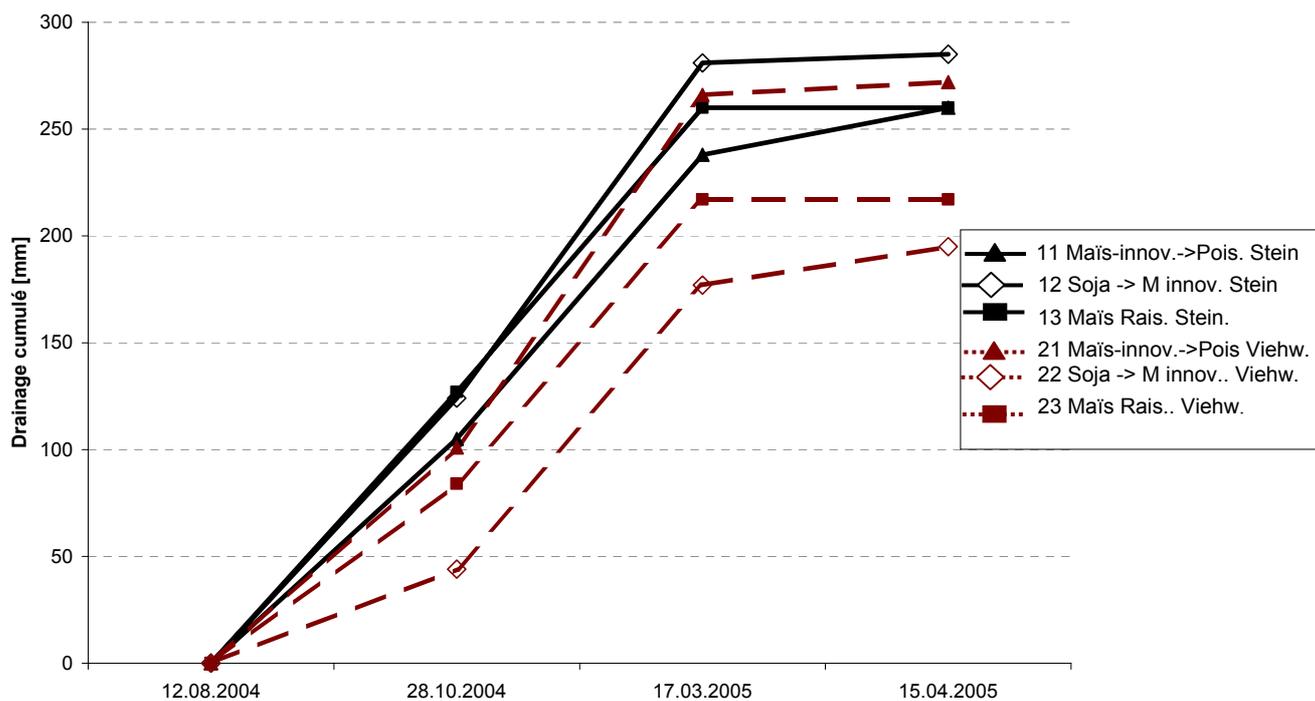


Figure 15 - Drainage cumulé durant l'interculture 2004-2005 sur les sites allemands.

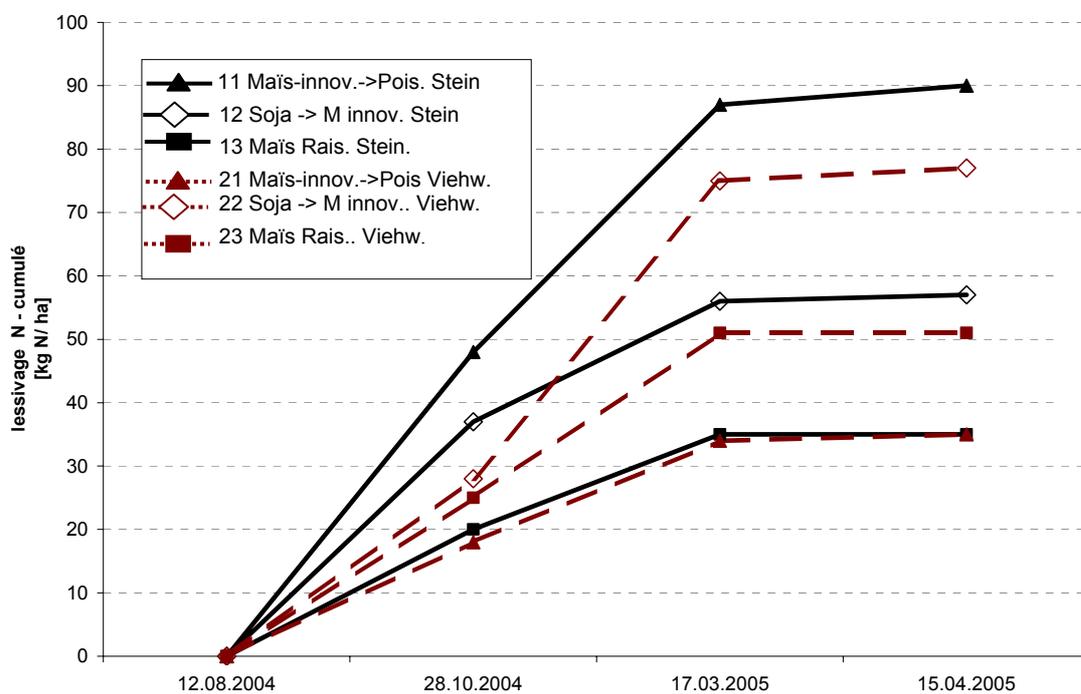


Figure 16 - Lessivage cumulé durant l'interculture 2004-2005 sur les sites allemands.

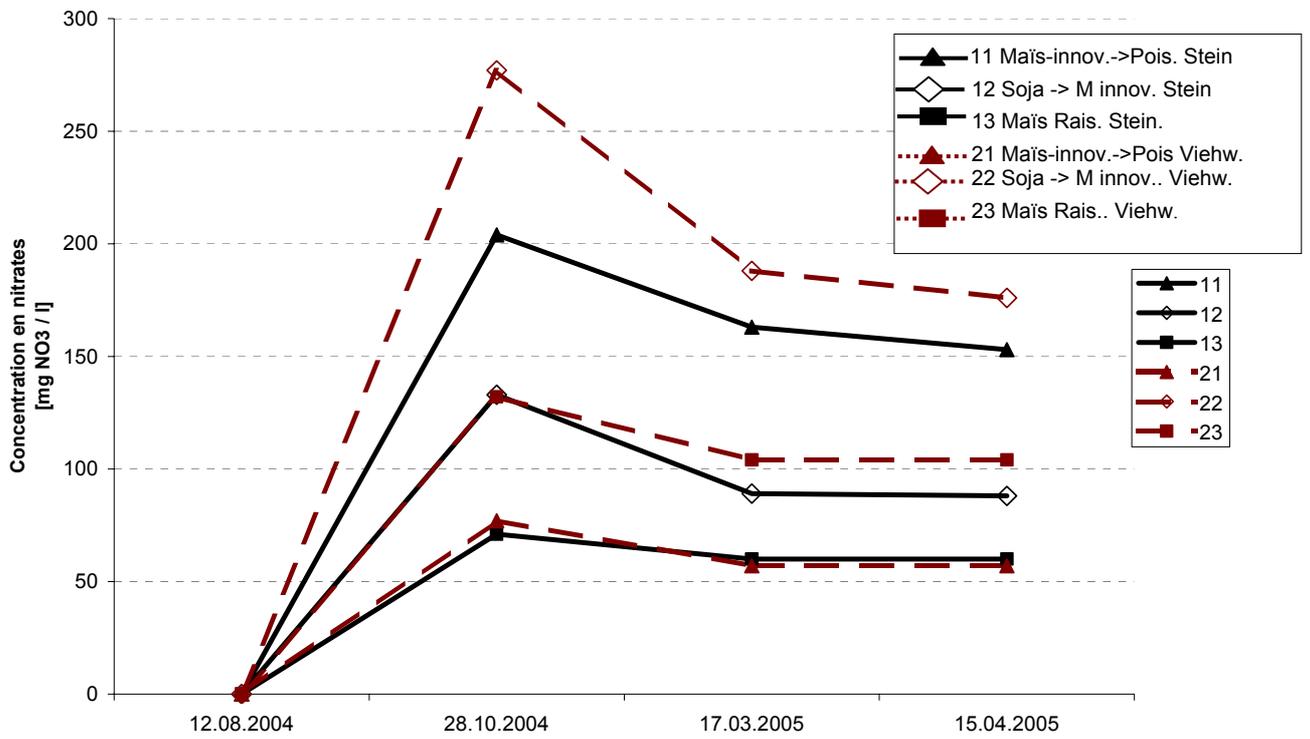


Figure 17 - Concentration en nitrates durant l'interculture 2004-2005 sur les sites allemands

5. Maintien des potentialités du sol

Cet objectif porte à la fois sur le maintien de la fertilité chimique du sol et sur la préservation d'une structure du sol. Le premier aspect ne peut s'observer sur un laps de temps court. Des analyses de sol ont été prélevées et l'évolution des teneurs en éléments sera estimée à la fin du projet par une seconde série d'analyses.

Des observations de structure du sol ont été faites en 2003 et 2005 sur les sites de Rouffach et de Niederentzen en première année de différenciation du travail du sol. Une fosse sur la largeur de semoir a été creusée dans chacun des traitements. L'observation de la structure du sol s'est faite selon la méthode d'observation du profil cultural développée par Manichon (Gautronneau et Manichon 1987, in (Foy, 2003)). Une nomenclature d'observation guide la démarche qui repose sur des observations visuelles et tactiles en grattant le profil à l'aide d'un couteau. Un point important est la délimitation des zones « delta » Δ représentant les zones fortement tassées. La précision de la méthode a été estimée à 5% pour l'estimation de ces zones tassées (Foy, 2003). Les Tableaux 26 et 27 reprennent les principaux points relevés lors de ces observations. La Figure 18 donne un exemple de description (les autres sont présentés en Annexe 11). Il en ressort que la situation en 2005 s'est légèrement détériorée sur tous les sites au vu d'une augmentation des zones Δ et Φ . Les conditions humide de l'automne 2004 pour la récolte et le travail du sol peuvent en être la cause.

En prenant en compte les % des différents états structuraux et les observations sur l'enracinement, on peut classer les situations dans l'ordre suivant :

Rouff. raisonné < Rouff. innovant < Nieder. innovant 2 < Nieder. Innovant 1 et raisonné

Les commentaires suivants sont à donner :

- Bien que quantitativement, le traitement innovant 2 en semis direct ne présente pas de différence par rapport aux autres traitements de Niederentzen, l'enracinement concentré dans les zones de fraissage est moins bien réparti.
- Les moins bons résultats de Rouffach s'expliquent pour le raisonné par un labour en conditions humides et pour les deux traitements par des conditions de récoltes les années précédentes (chantier de betterave et maïs) et des labours en conditions plus défavorables.

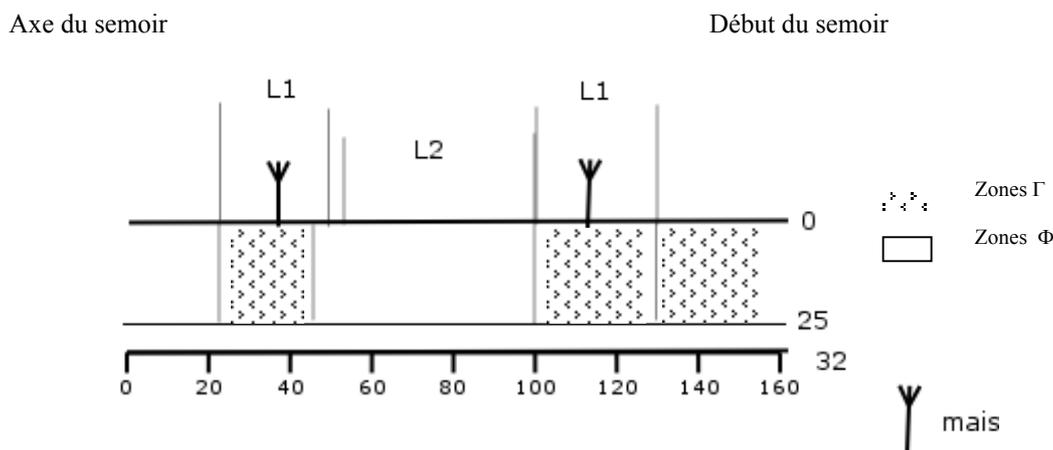


Figure 18 - Exemple de description de profil à Niederentzen en 2005 sur le système innovant 2.

Tableau 27 – Observation sur les profils culturaux effectués à Rouffach le 17.07.03 et le 02.08.05. Les zones Γ correspondent à un état structural satisfaisant sous forme d'agrégats, les zones Φ à un état structural moyennement tassé (zone tassée avec fissures sous l'action du gel notamment), les zones Δ à un état structural tassé.

Rouffach	Principales observations	zones
Raisonné Juillet 2003	Des zones fortement tassées (Δ) et un peu moins (Φ) en dessous de 10 cm L'horizon du dernier passage d'outil n'est pas net. Il semble que l'outil ait survolé les zones tassées précédemment.	22 % Γ 51 % Φ 27% Δ
Innovant Juillet 2003	Des zones Φ dans l'horizon non travaillé par les outils de reprise du labour Enracinement faible mais pas nul dans les zones Φ	33 % Γ 67 % Φ 0% Δ
Raisonné Août 2005	L'état structural s'est empiré : les zones tassées (Δ) sont majoritaires. Les mottes Φ sont soudées, difficilement discernables et se situent systématiquement sous le rang de maïs en place. Aucune zone Γ n'a pu être observée. Les résidus du maïs 2004 sont très peu dégradés et se trouvent verticalement en biais sur les traces des socs de charrue. Il y a très peu de racines dans les zones Δ et aucune galerie de vers de terre n'est distinguable. La terre fine constitue la zone travaillée par la bineuse et les compactors (5 cm).	7.9 % TF 0 % Γ 37.5 % Φ 54.6 % Δ
Innovant Août 2005	L'état structural semble également s'être détérioré en 2 ans, mais comparé à la parcelle raisonnée, les zones compactées Δ sont bien moins nombreuses et tendent vers du Φ massif. Les zones fragmentaires à agrégats discernables ne se situent pas uniquement sous les rangs de maïs. Les résidus de seigle et de soja ont été décomposés, il n'y a plus de traces. La structure et l'enracinement sont plus favorables dans les zones Φ soudées facilement discernables. De nombreuses ponctuations dues aux vers de terre permettent la fissuration des agrégats et l'installation des racines plus en profondeur et plus en horizontal que dans la parcelle raisonnée.	9.2 % TF 15.1 % Γ 57.7 % Φ 18.1 % Δ

Côté allemand, sur le système innovant avec implantation du maïs en bande fraisée, des observations visuelles en 2004 ont montré que l'enracinement a été mieux réparti et ne s'est pas limité à la colonisation du rang fraisé comme à Niederentzen en système innovant 2. Il est à noter que côté alsacien, la culture de maïs en système innovant 2 a souffert en 2003 et 2005 (cf. Tableau 10) de la concurrence du sous-semis, alors que la CIPAN a été détruite sur les sites allemands quelques semaines avant le semis. Or des travaux passés à l'INRA de Colmar ont montré que ce sont les premières racines qui colonisent l'interrang lors de la phase juvénile (Girardin, 1999). Leur développement a été probablement freiné par la présence des racines vivantes du sous-semis, un effet allélopathique n'étant pas à exclure.

Tableau 28 – Observation sur les profils culturaux effectués à Niederentzen le 17.07.03 et le 03.08.05. Les zones Γ correspondent à un état structural satisfaisant sous forme d'agrégats, les zones Φ à un état structural moyennement tassé (zone tassée avec fissures sous l'action du gel notamment), les zones Δ à un état structural tassé.

Niederentzen	Principales observations	zones
Raisonné Juillet 2003	Quelques zones Φ dans l'horizon non travaillé par les outils de reprise du labour. Bon enracinement. Pas de problème majeur.	63 % Γ 37 % Φ 0% Δ
Innovant1 Juillet 2003	Des zones Φ sous des traces du passage du semoir. Dans l'ancien horizon labouré non repris, des zones intermédiaires Φ - Γ (comptées à 50 % en Φ)	70 % Γ 30 % Φ 0% Δ
Innovant2 Juillet 2003	Des zones Φ dans l'ancien horizon labouré non repris. Des zones intermédiaires Φ - Γ (comptées à 50 % en Φ) entre les passages de l'outil strip-till. L'enracinement est très développé sous ces zones fraisées et moins denses entre.	64% Γ 36 % Φ 0% Δ
Raisonné Août 2005	Un peu moins de zones Γ qu'il y a deux ans, sans doute suite aux conditions humides lors du travail du sol. La limite du labour se voit essentiellement par les résidus de matière organique encore peu dégradés. Les zones Γ se situent en dessous des pieds de maïs. Le fond de reprise est quant à lui relativement net et constitue la séparation entre les zones Γ vers la surface et Φ en profondeur. Les racines sont très nombreuses jusqu'à 80 cm, l'enracinement est bon sur toute la largeur du profil.	50.8 % Γ 49.2 % Φ 0% Δ
Innovant 1 Août 2005	La structure du profil semble s'être dégradé au cours de ces deux ans. Les zones Γ sont désormais minoritaires mais ne sont pas uniquement sous les pieds de maïs. La roue de jumelage du semis n'a pas tassé la zone, par contre, celle du binage semble avoir causé un compactage et produit une zone Φ SD (agrégats soudés difficilement discernable) de largeur correspondant exactement à celle de la roue en question. L'enracinement est aussi dense qu'en raisonné bien qu'on note un chevelu plus fin. Les résidus de matière organique sont rares, la dégradation paraît être plus rapide qu'en raisonné. Les ponctuations biologiques sont bien réparties.	20.5 % Γ 79.5 % Φ 0% Δ
Innovant 2 Août 2005	Là aussi il y a diminution de l'étendue de la zone Γ par rapport à 2003. Sous les pieds de maïs (qui sont au même endroit depuis 3 ans), la structure est bonne (Γ , et terre fine). Les roues du tracteur de semis ont marqué leur passage en créant vraisemblablement la zone plus compactée : Φ . Les zones Γ s'arrêtent de manière nette à la limite du travail effectué par la fraise du semoir combiné. Les racines du maïs sont denses mais on observe toute fois une diminution dans les inter rangs, où les fines racines du ray gras se sont développées. La matière organique est peu dégradée, en surface, sur toute la largeur du profil. L'activité biologique est plus présente que dans les autres parcelles. Le profil paraît plus « simple » que pour les autres profils : il y a moins de changement de zone, ce qui devrait faciliter la colonisation du milieu par les racines. Mais ce n'est pas l'observation qui a été faite, il existe même quelques zones d'ombres sous un inter rang sur 7.	41.5 % Γ 58.5 % Φ 0% Δ

III. Mesures au champ : Evaluation analytique de certaines règles de décision

Certaines mesures acquises au cours de l'évaluation globale et observations permettent aussi de vérifier la pertinence de certaines règles de décisions (Tableaux 1 et 3). Cinq seront abordées :

- la pertinence du choix variétal quant à la résistance aux maladies
- le choix variétal et la date de récolte pour favoriser la réussite du sous-semis
- choix de l'espèce de sous-semis, du travail du sol sans labour et de la date d'enfouissement
- l'absence d'insecticide du sol et de molluscicide.
- l'utilisation du trichogramme

1. Choix variétal et résistance aux maladies

Les règles de décision pour les deux systèmes (cf. Tableaux 1 et 2) pour les deux maladies les plus sérieuses l'helminthosporiose (note $\leq 2,5$ (R/M)) et la fusariose (AR et plus) ont permis de maintenir la pression maladie à de faibles niveaux dans l'ensemble. En 2002, les symptômes d'helminthosporiose observés n'étaient pas d'un niveau très grave (Tableau 16). Les trois ou quatre cas d'attaque un peu plus sérieux n'ont pas concerné systématiquement le même système.

Côté allemand, aucune manifestation significative de l'helminthosporiose n'a été observée sur les variétés utilisées. Pour la fusariose de l'épi (pour laquelle, aucune notation n'existe dans les listes variétales), un niveau d'attaque légèrement plus élevé sur les épis récoltés a été constaté en 2004 après le dégât de grêle et en 2005 sur le site irrigué de Viehwegacker avec la variété Nexxos, de sorte que là aussi la pression maladie a été contenue par un choix variétal adapté.

2. Choix variétal et implantation d'un sous-semis

Le choix variétal des systèmes innovants a été établi pour favoriser la réussite du sous-semis avec deux critères :

- une variété à port plus dressé
- une plus grande précocité pour permettre une date de récolte plus précoce (cf. Tableau 2)

Ce choix a pu influencer les résultats de rendement sur un site à fort potentiel comme à Niederentzen et peut-être aussi à Rouffach depuis 2004. Par ailleurs la pénétration de la lumière peut aussi favoriser une levée des adventices dans un système où l'action racinaire des herbicides est très limitée.

Or il ressort des observations de terrain que le démarrage de la croissance active du sous-semis débute avant récolte et les niveaux de croissance atteints sont acceptables malgré des dates limites de récolte non respectées notamment à Niederentzen (cf. Tableau 9). En fait, la croissance du ray-grass commence dès que la dessiccation du maïs débute et que la lumière parvient au couvert. Ce problème de la date de récolte avait été évoqué dans certains travaux comme un facteur limitant essentiel (cf. synthèse de l'ITADA, (Gobillot, 1998)). Cette règle de décision pourrait donc être remise en question. Cela devrait naturellement être vérifié par un essai analytique ne faisant varier que le facteur date de récolte.

Du côté allemand, la croissance du sous-semis a été variable selon les années malgré l'utilisation d'une variété à port dressée et d'une précocité moyenne. La réussite du sous-semis a été déterminée à côté d'une maturité précoce du maïs en 2003 par le niveau des précipitations au semis et après le semis. Les niveaux de reliquat azoté dans le sol ont joué un rôle sur la formation de la biomasse du sous-semis avant hiver s'il y avait assez de temps (cf. résultats de Steinestadt de 2003 et 2005). Il ressort de ces observations que le port dressé d'une variété n'intervient que de façon secondaire dans la réussite d'un sous-semis dans le maïs.

3. Choix de l'espèce de sous-semis, du travail du sol sans labour et de la date d'enfouissement

Les problèmes de repousses de ray-grass observées avant semis durant la phase juvénile du maïs (sans rotation de culture) montrent un problème quant au choix de l'espèce de sous-semis. Ce problème est certainement favorisé par l'absence de labour qui permet d'enfouir le ray-grass plus efficacement. Nos suivis de parcelles durant le projet A4 du programme ITADA 2 confirment l'intérêt du labour (Bockstaller et al., 2000) de même que le site de Rosheim.

Il semble que l'on se heurte à une limite du système construit. Ce n'est pas tant une règle de décision seule mais son interaction avec d'autres qui pose ici problème. Une manière pour y remédier serait de faire le choix d'une autre espèce à moindre vigueur. Des travaux sur ce sujet conduits à l'INRA de Toulouse ont conduits des chercheurs à proposer le pâturin des bois (Deytieux 2004). Le trèfle pourrait être un autre candidat sous réserve de réussir son implantation, ce qui n'est pas évident. En effet, il présente une forte sensibilité à certains herbicides de post-levée de type Callisto. Par ailleurs, un risque de minéralisation précoce des résidus enfouis pourrait poser un problème de lessivage d'azote. Une synthèse sur ce sujet conduite par l'ARAA devrait être disponible en 2006.

Le choix d'enfouir le ray-grass au mois de mars à Niederentzen peut être une raison du problème de repousses et a en tout cas totalement montré ses limites en système innovant 2. Les techniques de contrôle par herbicide restent très aléatoires. Il y a là un manque total de connaissance. Des essais analytiques devraient être entrepris. Un avancement de la date d'enfouissement et un second passage d'un outil de reprise plus tardivement juste avant semis pourrait limiter le problème. Ce problème a aussi été observé à Rouffach avec une culture suivante encore plus sensible à l'envahissement des adventices. L'application d'un herbicide total de type glyphosate a limité le problème du côté allemand sur le couvert d'avoine ou de seigle avant le semis en bande fraisée du maïs. Dans la rotation, sur la culture de pois en 2005, une application Fusilade Max (Fluazifop-p-butyl) a été nécessaire avec un enfouissement tardif du ray-grass en février, mais non pour une destruction en décembre au chisel et un second passage d'un outil de reprise plus tardivement.

Il ressort de ces observations que l'établissement du ray-grass peut se faire de manière correcte mais que le problème demeure pour la culture suivante, maïs ou légumineuse, où il reste difficile à contrôler. La recherche d'une alternative à coût réduit reste toujours d'actualité comme au début de ce projet.

4. Absence d'insecticide du sol et de molluscicide

L'absence d'insecticide du sol à base de substance active toxique et pour certaines potentiellement mobile, si on applique l'indicateur I-Phy de la méthode INDIGO, n'a pas eu de conséquence négatives dans la majorité des cas en ce qui concerne les taux de levées et les niveaux d'attaques d'oscinies (cf. Tableau 15). En l'absence de culture ou couvert à risque (prairie temporaire ou jachère), cette impasse est faible. Ainsi un producteur de maïs sur deux n'en utilise plus (Juncker-Schwing, 2005 dans Lasserre et al. 2005) en Alsace. Cependant la seule ombre est que dans certains cas, les taux de levées se sont révélés plus faibles que prévu, sans qu'il ait été possible de l'expliquer, faute d'observation spécifique pour savoir si un ravageur était responsable.

L'absence de traitement contre les limaces n'a pas été inscrite dans les règles de décision mais a été pratiquée durant les trois années d'expérimentation. Durant les printemps secs de 2003 et 2004, le risque était très faible. En 2005, il a été plus élevé avec une période froide et humide fin avril et début mai (Tableau 11). En Allemagne, pour les mêmes raisons, ceci est devenu un problème dans le système innovant avec le travail du sol réduit sur le site de Steinstadt au sol argileux.

5. Utilisation des trichogrammes en systèmes innovants

Les notations du Tableau 15 montrent que l'utilisation des trichogrammes en système innovant a permis un bon contrôle de la pyrale, alors que la présence de résidus en surface peut être un problème. Il ne semble pas y avoir de différences avec les systèmes raisonnés traités chimiquement ou n'ayant pas connu de traitement. Mais les distances d'implantations des systèmes raisonnés étaient trop faibles pour avoir des comparaisons significatives. En effet, il est possible que les trichogrammes puissent coloniser les parcelles voisines (Weissenberger, SPRV, com. pers.). Sur les deux sites allemands, seuls les trichogrammes ont été utilisés (en deux applications, contre une en Alsace). Des niveaux de dégâts critiques n'ont jamais été atteints.

IV. Evaluation globale à l'aide de la méthode INDIGO

En complément des mesures au champ, les indicateurs de la méthode INDIGO® ont été calculés à l'aide de l'ensemble des données recueillies pour les itinéraires techniques (Annexe 1) et les sols (Annexe 2). L'indicateur assolement qui se calcule au niveau de l'exploitation agricole n'a pas été calculé. Dans la partie qui suit, nous nous focaliserons sur les résultats de 2003 et 2004, deux années contrastées.

La Figure 19 présente les résultats sous forme de radar, telle qu'elle a été conseillée par les auteurs de la méthode (Girardin et al., 1997) pour les sites alsaciens. Ce genre de présentation est surtout utile si on travaille sur une exploitation. Une synthèse des principaux résultats a été faite dans le Tableau 29 qui recense les principaux points forts (valeur d'un indicateur ≥ 7), et faibles (Valeur d'un indicateur < 7) :

Tableau 29 – Points forts et points faibles pour les indicateurs de la méthode INDIGO® des systèmes étudiés. Le signe > indique une meilleure note INDIGO et donc un moindre risque. **ISC** = ind. Succession culturale, **IMO** = ind. matière organique, **IP** = Ind. Phosphore **IN** = ind. Azote, **Iphy** = ind. Phytos, **Irrig** = Ind. Irrigation, **len** = Ind. énergie

	Points forts	Points faibles	Différence entre systèmes
Niederentzen	IMO IPhy Irrig (2003)	Isc IN : en 2003 à cause de INO3, en 2004 à cause de INH3 Irrig (2004) len	En 2003 IN : Rais. > Innov.1 > Innov 2 En 2004 INO3 : Innov.2 > Innov 1 > Rais.
Rouffach	ISC (Maïs Innov) IP IN (Fév 2003, Maïs Innov. 2004) IPhy Irrig len (Fév. 2003, Soja 2004)	ISC IMO IN (autres systèmes)	ISC : Innov.* > Rais. 2004 INO3 : Maïs Innov > Rais len : Innv.* > Rais.
Rosheim	IMO IN IPhy Irrig	ISC IP IN (Maïs rais. 2004) Iphy (Rais. en 2004) len	En 2004 IN : Innov. > Rais. Iphy Innov. > Rais.
Sites allemands	ISC (Maïs Innov. Soja) IP (soja) Iphy len	ISC (Maïs rais.) IP (Maïs) IMO IN (Maïs à cause de INO3)	ISC : Innov.* > Rais. IN : Innov.* > Rais. len : Innov.* > Rais.

* moyenne des deux cultures de la rotation

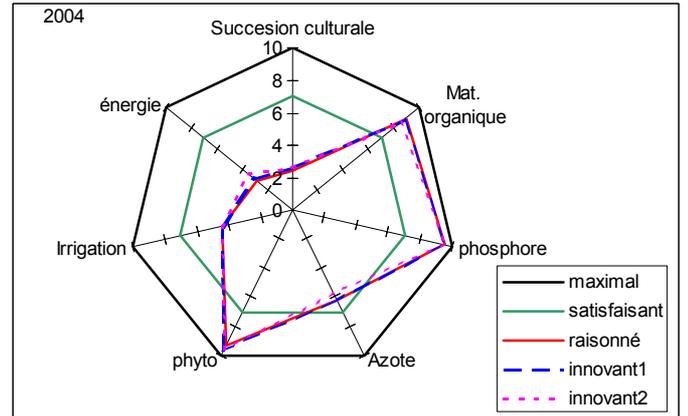
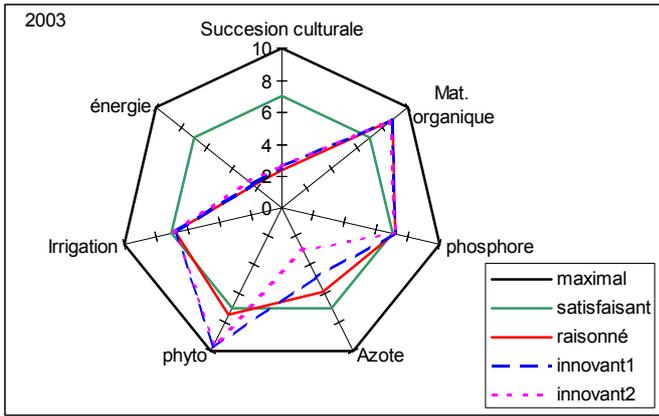
Un certain nombre de remarques peuvent être faites :

- d'une manière générale, l'indicateur I-Phy qui traite d'une thématique brûlante et qui n'a pas l'objet d'une évaluation expérimentale est bon et présente un faible risque. Ceci peut s'expliquer puisque le choix des substances a été pour partie guidé par les sorties de cet indicateur. L'augmentation du nombre de traitements herbicides en système innovants n'a pas entraîné une forte augmentation du risque. Le seul résultat négatif a été celui à Rosheim sur le traitement raisonné avec un traitement anti-pyrale présentant un risque pour l'air.
- Sur les sites en monoculture de maïs pour les deux systèmes, les indicateurs succession culturale, énergie (coût énergétique des engrais) ne sont pas bons. Sur les sites avec un système innovant en rotation, ces indicateurs sont bien améliorés sans atteindre la valeur recommandée de 7 pour l'indicateur succession culturale et l'énergie sur les sites alsaciens. Côté allemand, l'avantage du système innovant par rapport au système raisonné en monoculture (len = 8,6 contre len= 7,1) est à attribuer à la réduction du travail du sol, les niveaux de fertilisation étant proches et la quantité de substance active plus élevée en raison de l'application sortie hiver du glyphosate, par rapport au système raisonné en monoculture. Sur la rotation, le système innovant a surtout gagné en raison de l'absence de fertilisation azotée sur la légumineuse. Pour cette culture, des économies d'énergie peuvent être encore attendues pour le pois en 2005 par une réduction du nombre de passage d'outils qui n'a pas été possible en culture de soja en raison de la pression des adventices et des repousses de ray-grass.
- L'indicateur matière organique est bon sur les sites à fort potentiel de rendement qui permet un retour de plus grandes quantités de résidus dans le sol.
- Pour l'indicateur azote et notamment pour le module nitrate, les résultats sont variables. En 2003, les valeurs sont mauvaises en raison de la non atteinte de l'objectif de rendement⁶ et ceci explique le meilleur résultat du système raisonné que les systèmes innovants. En 2004, les résultats sont nettement meilleurs et en faveur du système innovant. Du côté allemand, les résultats ne sont pas si probants pour la culture du maïs où dans les deux systèmes des surfertilisations expliquent les mauvais résultats des deux systèmes. Par contre le maïs en système innovant est compensé pour partie par le bon résultat du soja en raison de l'absence d'apport d'azote et de l'implantation d'une CIPAN, ce qui n'a pas bien fonctionné à Rouffach.
- Dans l'ensemble à l'exception d'un cas (Niederentzen 2004), l'indicateur irrigation est bon.

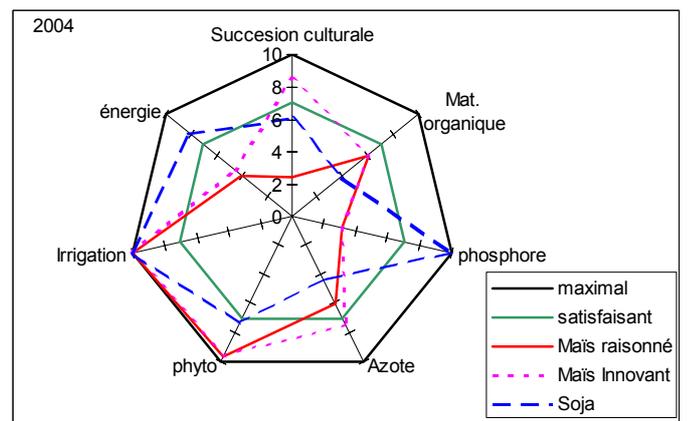
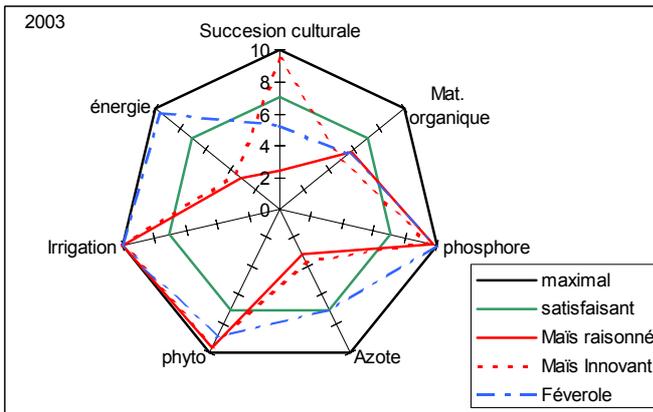
De ces remarques, on peut donc en déduire un effet positif pour les systèmes innovants. Pour ceux en monoculture, l'introduction du sous-semis permet de réduire les risques de lessivage et l'introduction de la culture du soja suivie d'une CIPAN permet de compenser les résultats moins bons sur maïs pour certains indicateurs et situations. Les bons résultats en général de l'indicateur de risque lié aux produits phytosanitaires, I-Phy sont à noter malgré l'augmentation des traitements dans un certain nombre de cas. Ceci s'explique par le choix des substances actives. En situation en pente avec un risque de ruissellement ou à côté d'une rivière, cette majoration des traitements pourrait s'avérer préjudiciable, si on s'en réfère à d'autres travaux avec I-Phy (Girardin et al., 1998).

⁶ Le module nitrate de l'indicateur azote comprend une estimation des reliquats récoltes fondée sur l'estimation de l'écart entre la dose d'azote de l'agriculteur et la dose recommandée basée sur un rendement moyen. Mais ce module peut aussi se calculer par un bilan à posteriori où la dose recommandée est remplacée par la dose réellement nécessaire en fonction du rendement de l'année. C'est ce qui a été fait dans ce projet.

a) Niederentzen



b) Rouffach



b) Rosheim

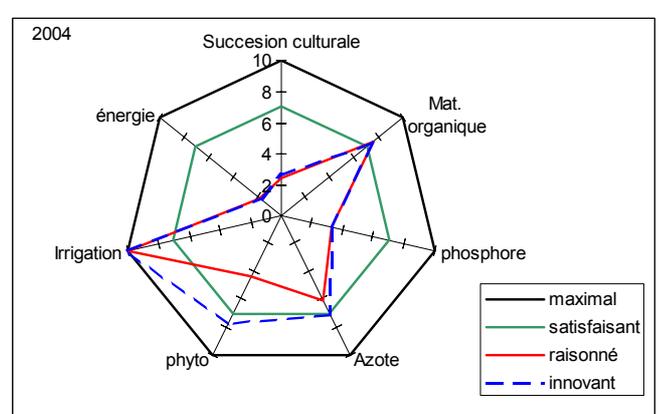
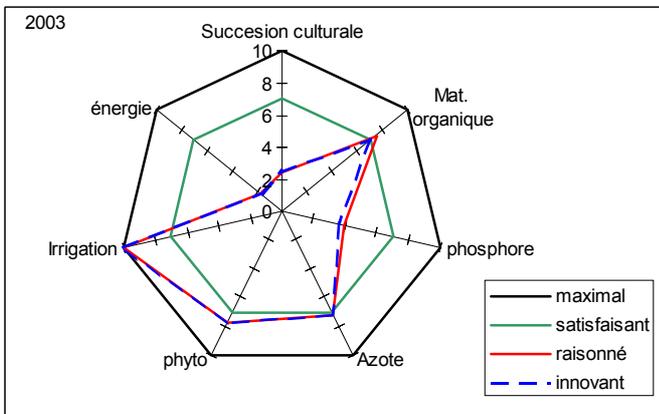


Figure 19 – Présentation des résultats de la méthode INDIGO : les indicateurs sont notés entre 10 (absence de risque) à 0 (risque inacceptable) avec un niveau satisfaisant fixé à 7 (risque maximal acceptable).

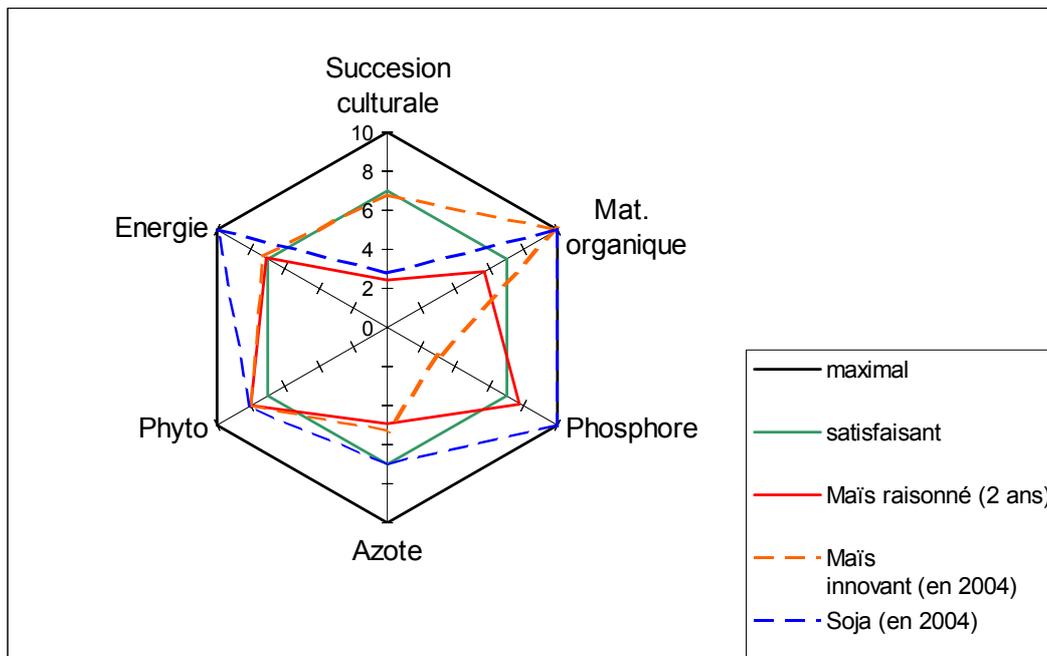


Figure 20– Présentation des résultats de la méthode INDIGO sur le site allemand de Steinengrund pour la succession 2003-2004 : Les indicateurs sont notés entre 10 (absence de risque) à 0 (risque inacceptable) avec un niveau satisfaisant fixé à 7 (risque maximal acceptable)

V. Qualité de la récolte

La qualité de la récolte est un problème d'ordre économique (qualité technologique) ou d'ordre social (qualité sanitaire), bien qu'elle soit avant tout sous l'influence déterminée par des facteurs agronomiques et environnementaux.

Si pour certains usages, en semoulerie par exemples, pour des utilisations en alimentation (corn flakes), la qualité technologique peut jouer un rôle, la qualité sanitaire prend de plus en plus d'ampleur avec la question des mycotoxines. Celle-ci fait l'objet d'un souci croissant de la part des collecteurs, et les futures normes européennes ne font qu'accroître cette attention sur ce sujet. En particulier les techniques de travail du sol sont soupçonnées par différents auteurs de favoriser le risque, de par le maintien des résidus de récolte en surface. Il était donc important d'inclure cet objectif dans l'évaluation (Lasserre et al. 2005).

Suite à des échanges avec des spécialistes d'Arvalis, il apparaissait qu'aucun protocole d'échantillonnage au champ n'était disponible et il a été proposé d'en rester à un regroupement des répétitions après un séchage à basse température. Le Tableau 30 présente les résultats des analyses de grains faites par un laboratoire spécialisé en 2002 qui constitue en quelque sorte un point zéro, les parcelles ayant été labourées, et de l'année 2004. Les mesures ont porté sur une mycotoxine la plus suivie actuellement chez le maïs, en l'occurrence la DON. Aucune mesure n'a été effectuée en 2003 en raison des conditions très sèches défavorables au développement des mycotoxines. Toutes les mesures se trouvent en dessous de la future norme européenne qui devrait être fixée à 1750 ppb en DON au 1 juillet 2007.

Tableau 30 – Teneur en mycotoxines (DON) des grains à la récolte

			Teneur en DON (ppb)	Remarque
2003	Nieder.	Rais.	<80	
	Nieder.	Innov. 1 ^a	<80	
	Nieder.	Innov. 2 ^a	<80	
2004	Nieder.	Rais.	1259	
	Nieder.	Innov. 1 ^a	1324	
	Nieder.	Innov. 2 ^a	884	
2003	Rouff.	Rais.	1031	
	Rouf	Innov. (Fév)	256	
-2004	Rouff.	Rais.	<80	
	Rouf	Innov. (Mg)	<80	

VI. Evaluation technico-économique : marge et temps de travaux

L'évaluation de la durabilité des systèmes de culture englobe naturellement la dimension économique qui passe par une estimation de la performance économique des systèmes et des coûts en main d'œuvre qui ne sont généralement pas inclus dans les critères utilisés à ce niveau que sont des calculs de marges. Ces derniers sont souvent estimés en termes de temps travaux et permettent d'approcher une dimension sociale en terme de qualité de vie lié au travail.

1. Méthode de calcul de marges

Si au niveau des exploitations, le critère de base dans l'analyse économique est la marge brute (produit – charges opérationnelles), celle-ci reste insuffisante dans l'analyse de systèmes de culture qui ne font pas appels aux mêmes outils de travail du sol notamment.

Côté français, plusieurs auteurs ont proposé le calcul d'une marge dite marge directe. Celle-ci a été proposée comme critère par un groupe de travail du projet ADAR « systèmes de culture innovants », de même que le temps de travail (Reau CETIOM, com. pers.) et a été utilisée dans l'essai système de l'INRA de Toulouse (Nolot, 2002) :

Marge directe = produit (récolte+primes) – charges opérationnelles – coûts machinisme

Le produit résulte de la vente des récoltes, des primes⁷ (PAC, aide au CIPAN de l'Agence de l'Eau). Les prix ont été fournis par Y. Jauss (Service économique de la Chambre d'Agriculture 68) et par l'agriculteur de Rouffach pour les légumineuses.

Les charges opérationnelles portent sur les semences, les engrais et les produits phytosanitaires. Côté français, des prix moyens ont pu être obtenus pour 2004 par enquête auprès des coopératives bien qu'il soit assez difficile d'obtenir des prix réels auprès des firmes privées en raison de problèmes de concurrence. Les charges de mécanisation côté français sont estimées à l'aide du référentiel du coût indicatif des façons culturales édité chaque année par le BCMA (Bureau de Coordination du Machinisme Agricole). Ces charges ne comprennent pas les frais de main d'œuvre mais intègrent les frais d'utilisation, d'entretien et d'amortissement. Ainsi à chaque passage d'un outil peut être attribué un coût en euros par hectare. Le principal inconvénient par rapport à l'utilisation de ce référentiel est que les agriculteurs s'attendent généralement de ce type d'évaluation à voir apparaître des montants importants de charges de nouveaux outils (notamment du travail du sol) dus à l'investissement, alors que le système raisonné ne présenterait presque aucune charge, puisque le matériel pourrait être amorti. Cependant, rien ne laisse penser que la charrue ne nécessite pas un remplacement prochain, ni que le financement d'un outil de semis direct ne soit pris en charge d'une part par des subventions, d'autre part par un groupe d'agriculteurs en commun... La diversité des situations invite à utiliser un référentiel plus général, de manière à homogénéiser les calculs.

Côté badois, l'évaluation économique des systèmes de culture a été menée pour les années 2003 et 2004. Comme base au calcul, il a été fait appel à la feuille de calcul « données de calcul pour les grandes cultures 2003/2004 » de l'établissement régional pour le développement agricole et l'aménagement du territoire (LEL) et pour le travail d'entreprise sur les données du cercle du machinisme du Bade-Wurtemberg.

Les calculs correspondant à ceux effectués côté français sont⁸ :

- a) la marge brute A (Produits sans subventions- charges variables⁹)
- b) la marge brute B (Produits avec ensemble des subventions (dont MEKA)- charges variables)
- c) le temps de travail de la main d'oeuvre permanente

Par soucis de simplification, le temps de travail sera comptabilisé pour les travaux qui diffèrent d'un traitement à l'autre, de manière à mettre en évidence une augmentation ou une diminution du temps de travail selon les traitements. Ce temps de travail est calculé en

⁸ Le détail des calculs économiques effectués est présenté dans Müller-Sämann et Hölscher (2005).

⁹ Semences, engrais, charges variables machinismes, travaux d'entreprise, séchage, assurance

multipliant la vitesse d'avancement du tracteur par la largeur de l'outil. Côté français ne sont donc pas pris en compte le temps des demi-tours (plus ou moins nombreux selon la dimension du champs), le temps d'ajustement et de réglage de la machine, de son entretien, du parcours de l'exploitation au champs. Le rassemblement de ces données nécessiterait une enquête approfondie chez chacun des agriculteurs. Côté badois, ces données sont prises en considération dans les calculs pour une parcelle standard de 2 ha de dimension. Une présentation des résultats de manière relative (comparaison des temps de travaux des systèmes innovants par rapport aux systèmes raisonnés) permettra de limiter l'effet des approximations supposées de même ordre dans les différents systèmes. Ces calculs seront présentés pour l'année 2004 pour laquelle nous avons obtenus les coûts des intrants. Par ailleurs, tous les systèmes sont en place au minimum en 2^{ème} année. Du point de vue climatique, elle ne présente pas le caractère extrême de 2003. L'objectif ne sera pas ici de se livrer à une étude détaillée sur chaque site mais de comparer les systèmes raisonnés et innovants.

2. Résultats économiques

La Figure 21 montre clairement une tendance défavorable aux systèmes innovants sur tous les sites. Ces écarts sont très faibles à Viehwegacker et inférieurs à 40 €/ha sur l'autre site allemand ainsi qu'à Rosheim. Sur les sites de Niederentzen et surtout de Rouffach, ces écarts sont bien plus importants.

Ces écarts s'expliquent à Niederentzen par une faible diminution du produit et une augmentation des charges opérationnelles, à Rosheim par des charges opérationnelles plus élevées, tandis qu'à Rouffach, on assiste à une augmentation des charges opérationnelles et une forte diminution du produit (Figure 22). Du côté des charges de mécanisation, les variations sont très faibles. Ces résultats méritent une analyse plus fine par site :

- Sur les sites de Niederentzen en monoculture, les écarts de rendements sont partiellement « compensés » par la prime de l'Agence de l'Eau (45 €/ha). Mais ceci n'est que mathématique, et la prime est là pour couvrir les frais supplémentaires des coûts de semences du sous-semis (60 €/ha). La forte augmentation des charges opérationnelles comprend en plus de ce poste sous-semis, une augmentation des charges de désherbage (30 €/ha) et de la lutte biologique avec les trichogrammes (28 €/ha).
- Sur le site de Rouffach, l'écart de la marge est en fait amplifié par la culture de soja comme le montre le Tableau 31. Pour la culture de maïs les valeurs sont réduites. Les charges plus fortes en système innovant en raison des semences de ray-grass (60 €/ha), compensées au ¾ par la prime de l'Agence de l'Eau, du surcoût du désherbage (15 €/ha), et le rendement inférieur (-33 €/ha) sont à l'origine de l'écart. La culture de soja souffre d'un produit plus faible, dû à la fois à la récolte et à la prime PAC (- 172 €/ha) ainsi que de charges plus élevées, sachant que le coût des semences de CIPAN a été surestimé (prix de semence de seigle haut de gamme spécial CIPAN).
- A Rosheim, les systèmes sont très proches. L'écart est expliqué par le sous-semis (60 €/ha) compensé au ¾ par la prime de l'Agence de l'Eau et le trichogramme (19 €/ha).
- Sur les sites allemands, un écart réduit a été observé pour des systèmes innovants en rotation, maïs-soja. Encore une fois, la culture du soja souffre d'une marge réduite par rapport au maïs (-120 €/ha par rapport aux systèmes innovants). Mais sur ces sites, le maïs en système innovant présente un avantage sur le système raisonné en raison d'un rendement supérieur et de primes agri-environnementales (MEKA) qui s'élevaient en 2004 à 234 €/ha dans le système innovant pour le maïs et de 116 €/ha pour le soja ce qui a permis de limiter l'écart par rapport à la culture de maïs. A ceci s'ajoute une différence de rendement moindre entre les deux cultures. Sans primes agri-environnementales (MEKA) le système raisonné en monoculture de maïs est dans tous les cas le plus favorable à cause des résultats économiques inférieurs pour la culture de légumineuses. Il faut cependant rester prudent sur la comparaison des chiffres entre pays en raison des différences dans les modes de calcul et dans les prix des intrants.

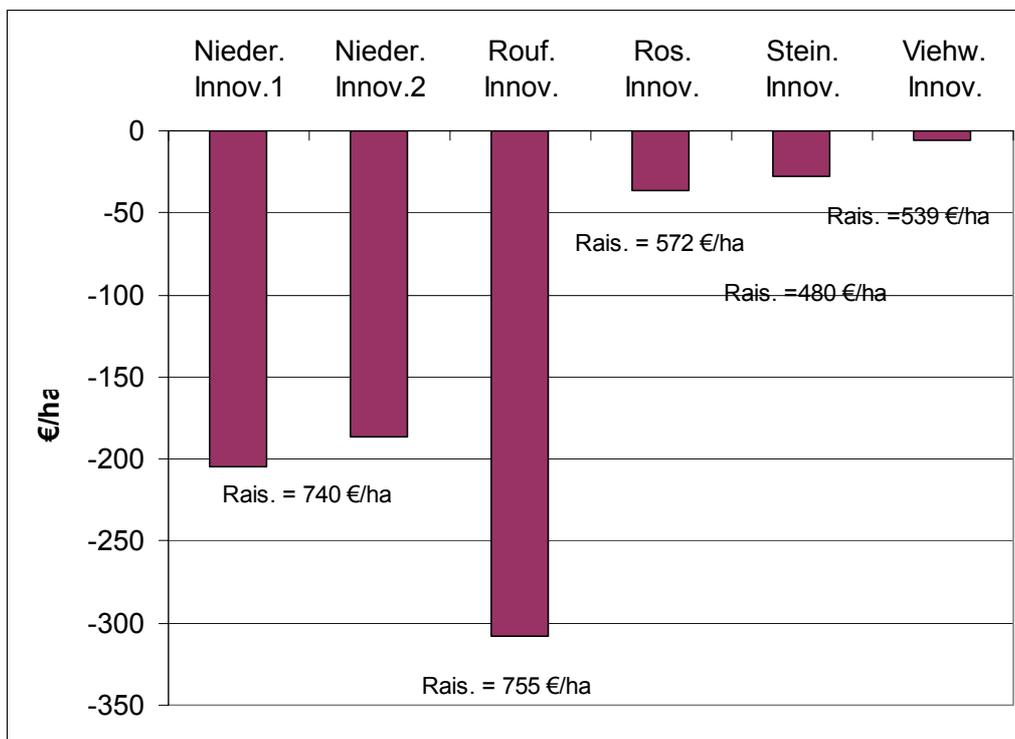


Figure 21 – Différence de marge directe (produits-charges opérat. – mécanisation) en 2004 par rapport au système raisonné. Pour les systèmes en rotation, la valeur est la moyenne sur la rotation. Pour les sites badois, les charges de mécanisation comprennent seulement les coûts variables de mécanisation).

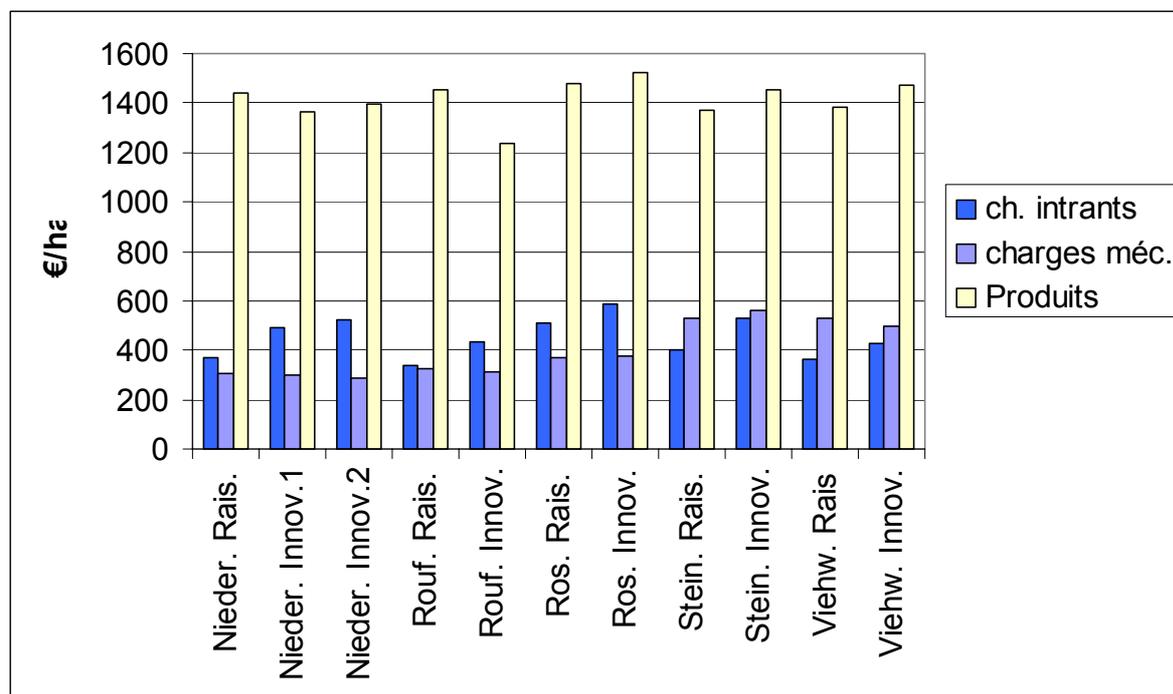


Figure 22 – Produits (primes comprises) et charges pour les différents sites (pour les systèmes en rotation, moyenne de la rotation) en 2004. Les frais de mécanisation comprennent les charges de mécanisation variables et fixes sur tous les sites, mais le mode de calcul est différent entre la France et l'Allemagne.

Tableau 31 – Détail des postes pour les différentes cultures à Rouffach en 2004

Charges opérationnelles		Montant	Produits	Prix unitaire	Montant	Ma bru
		(€/ha)			(€/ha)	
Maïs Rais.	Semence Maïs	133	Récolte	83 €/t	930	
Maïs Rais.	fertilisation	130	Prime PAC	525 €/ha	525	
Maïs Rais.	désherbage	37				
Maïs Rais.	trichogramme	37				
Maïs Rais.	Total charges	337	Total produit		1455	
Soja Innov.	Semence Soja	132	Récolte	210 €/t	630	
Soja Innov.	Semence CIPAN	112	Prime PAC	343 €/ha	343	
Soja Innov.	désherbage	159	Prime CIPAN	30 €/ha	30	
Soja Innov.	fertilisation	123				
Soja Innov.	Total charges	526	Total produit		1003	
Maïs Innov.	Semence Maïs	139	Récolte	83 €/t	896	
Maïs Innov.	Semence Sous-semis	63	Prime PAC	525 €/ha	525	
Maïs Innov.	fertilisation	118	Prime Sous-semis	45 €/ha	45	
Maïs Innov.	désherbage	54				
Maïs Innov.	trichogramme	37				
	Total charges	411	Total produit		1466	

* Nous n'avons pas inclus les charges de mécanisation qui sont très proches par souci de lisibilité du tableau

3. Temps de travaux

Dans une majorité de situation, les systèmes innovants ont permis un gain de temps significatif notamment du côté allemand. Sur ces sites de Steinenstadt et Viehwegacker, l'introduction de l'outil de travail du sol en bandes fraisées a permis l'implantation du maïs en un passage. Ces économies en temps de travail (positives pour l'exploitant qui a d'autres activités sur l'exploitation ou à l'extérieur) n'ont pas été accompagnées d'économies sur les charges. En effet, l'utilisation d'une machine relativement coûteuse (d'un entrepreneur), le recours à un herbicide total et l'implantation d'un sous-semis sont venues majorer les charges. A Rosheim, le surplus de temps dû au passage pour pause des trichogrammes et l'implantation du sous-semis ne peut pas être compensé par des gains permis par une réduction du temps de travail au niveau du travail du sol, les deux systèmes étant identiques à ce niveau là. La seule exception est donc le système innovant 1 à Niederentzen, où le passage de la herse rotative est coûteux en temps (1,3 h/ha) contre (0,6/ha) pour les deux passages de reprises classiques effectués avec des outils plus larges à plus grande vitesse. Le gain du chisel n'est que de 0,2 h/ha, 1 h/ha contre 1,2 h/ha pour le labour. A ceci s'ajoute un temps supplémentaire de 0,25 h/ha pour le trichogramme par rapport à un traitement chimique. Il est à remarquer que le passage de la bineuse (0,3 h/ha) n'est pas un facteur expliquant les différences, puisqu'il a été appliqué dans tous les systèmes du côté alsacien.

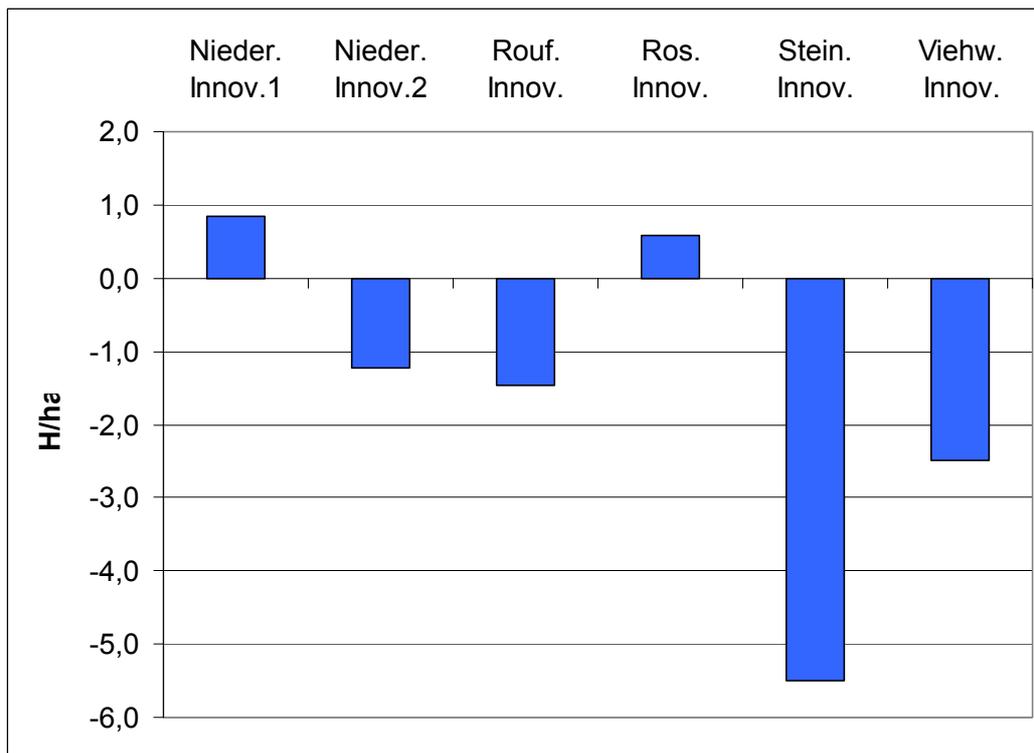


Figure 23 – Différence de temps de travaux en 2004 par rapport au système raisonné.

Pour les systèmes en rotation, la valeur est la moyenne sur la rotation.

VII. Synthèse des résultats

Le nombre de résultats présentés dans ce rapport oblige à en faire une synthèse. Le Tableau 32 fait ressortir les points forts et faibles de chaque système. Les critères sont réorganisés ici selon les trois piliers de la durabilité : environnementale (dans son sens large, incluant des aspects plus agronomiques), économique et sociale (Vidal et Marquer, 2002). Dans cette dernière dimension ont été inclus les temps de travaux et la qualité sanitaire (mycotoxines) de la récolte qui détermine l'acceptabilité du système, comme cela a été proposé par un groupe de travail du projet ADAR « système de culture innovants ».

Tableau 32 – Synthèse des résultats issus de l'évaluation globale.

Evaluation	Maïs raisonné	Système innovant en rotation maïs-soja (Rouffach, Steinstadt, Viehwegacker)	Système innovant en monoculture (Niederentzen)	Système innovant avec labour en monoculture (Rosheim)
Agronomique et environnementale				
Maîtrise du désherbage	Satisfaisante	Moyen à satisfaisant en maïs Problème des repousses de ray-grass en soja Pression des adventices en soja dans la rotation avec maïs côté allemand	Moyen à satisfaisant en maïs (excepté repousses ray-grass et sous-semis en innovant 2)	-
Rendement ^a	Satisfaisant (sauf 2003)	Satisfaisant à (sauf à Rouffach en 2005)	Insatisfaisant	Satisfaisant
Implantation sous-semis	-	Satisfaisant (sauf 2003)	Satisfaisant (sauf 2003)	Insatisfaisant
Limitation du lessivage NO ₃ ^b	Insatisfaisant (sauf à Rouffach en 2004)	Satisfaisant (sauf 2003, et 2005 à Steinstadt)	Satisfaisant (sauf 2003)	Satisfaisant (sauf 2003)
Risque produits phytosanitaires ^c	Satisfaisant (risque faible)	Satisfaisant (risque faible) sauf soja à Rouffach	Satisfaisant (risque faible)	Satisfaisant (sauf anti-pyrale pour l'air en 2004)
Structure du sol	Satisfaisante à Niederentzen Insatisfaisante à Rouffach	Moyen à satisfaisant à Niederentzen Moyen à Rouffach		
Fertilité des sols (statut mat.organique)	Moyen	Moyenne	Satisfaisante	Satisfaisante
Gestion de l'irrigation (limitation des excès) ^c	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante
Consommation énergétique	Insatisfaisante (engrais)	Moyenne (Rouffach) Satisfaisante Steinstadt, Viehwegacker)	Insatisfaisante (engrais)	Insatisfaisante (engrais)
Economique				
Marges directes (avec aides)	- ^d	Insatisfaisantes à Rouffach Moyennes à Steinstadt et Viehwegacker	Insatisfaisant	Insatisfaisant
Sociale				
Temps de travail	- ^d	Satisfaisant	Satisfaisant (sauf en Innovant 1)	-
Qualité de la récolte (mycotoxines)	Satisfaisante	Satisfaisante (Rouffach)	Satisfaisante	

^a satisfaisant : atteinte de l'objectif de rendement pour le raisonné. Pour le système innovant, un rendement supérieur au raisonné mais en dessous de l'objectif reste satisfaisant

^b évaluation à l'aide des mesures de lessivage, des suivis d'azote dans le sol et du suivi du sous-semis, du calcul du module INO₃ de l'indicateur azote d' INDIGO[®]

^c évaluation à l'aide du calcul des indicateur INDIGO[®]

VIII. Discussion générale

1. La démarche suivie

Ce travail s'est appuyé sur la démarche des essais systèmes développée par Meynard et al. (1996) et qui a fait l'objet d'un certain nombre de travaux aujourd'hui. Une des suites est le projet ADAR « systèmes de cultures innovants » conduit actuellement par le CETIOM avec de nombreux partenaires (INRA, Chambres d'agriculture, etc.) et dont le recensement des essais systèmes en a listé plus d'une vingtaine (Marie-Sophie Petit, com. pers.). Cependant peu de travaux ont porté sur des systèmes à forte proportion de maïs, le blé et le colza revenant le plus souvent dans les essais recensés. Une culture de cette importance au niveau économique¹⁰, notamment en plaine du Rhin, et à l'origine d'un fort débat environnemental, méritait de rentrer dans ces travaux et donne donc un caractère original au projet.

La démarche adoptée est systémique et pluriannuelle. L'approche système de culture nous a conduit à sortir du schéma, un facteur-un effet et nous a conduit dans l'étude des interactions entre éléments du système mais aussi à la prise en compte des différents effets que produit un facteur. L'exemple du sous-semis est significatif. L'essai n'a pas juste conduit à étudier son effet sur la réduction du lessivage des nitrates et une des surprises a été le problème des repousses en raison de la suppression du labour. Ceci n'avait pas été étudié dans un travail précédent (Fritsch, 2001). Des résultats comparables ont été obtenus dans des essais en Suisse (Bohren et al. 2002). Par ailleurs la construction du système innovant a été basée sur la recherche de conditions favorables à sa réussite. Ceci a conduit à d'autres problèmes, choix variétal à performance limitée, effet sur des relevées d'adventices, etc.. L'aspect pluriannuel est un autre intérêt de ce travail notamment côté alsacien. Cela a ainsi permis d'observer les effets du sous-semis sur la culture suivante et même deux années après. Ainsi, il a été possible d'avoir 3 années de résultats en techniques sans labour, 4 années pour le désherbage en post levée. Néanmoins, cette durée est certainement insuffisante, notamment pour les systèmes en rotation ou les parcelles ne voient la culture principale (le maïs) que tous les deux ans.

L'approche règle de décision plus générique qu'un système figé permet de faire évoluer le système avec certains progrès techniques (ex : évolution variétale). Ceci a permis d'introduire le travail du sol en bandes fraisées dans les systèmes innovants par les collègues allemands et une innovation supplémentaire (sur la base de résultats prometteurs d'autres travaux) pour la gestion de l'azote (procédé CULTAN). Cette flexibilité va cependant poser des problèmes d'interprétation détaillée mais elle permet en cas de succès des résultats plus génériques, qui peuvent se transposer dans différentes situations et laissent un certain choix à l'agriculteur et même des marges de progrès. La question de la communication de tels résultats sous forme d'un système décrit par des règles de décision et non par un système clé en main n'a pas été abordée de manière approfondie jusqu'ici (P. Viaux, com. pers.).

C'est une des difficultés majeures de ce genre d'essais avec l'absence d'un dispositif exploitable statistiquement. La multiplicité des sites (mais aux systèmes en partie différents), le nombre d'années peut la combler partiellement, ainsi que des observations sur l'homogénéité des parcelles. Une autre réponse est que l'on cherche à évaluer chaque système par rapport à des objectifs propres, mais la tentation est toujours là d'en revenir à une comparaison. C'est ce qui a été fait notamment pour les résultats technico-économique, où les valeurs absolues du système raisonné n'ont pas été analysées faute de temps. Mais ceci ne doit pas enlever l'intérêt de ce genre de dispositif qui est un formidable « champ d'essai d'un prototype agronomique » qui permet de valider un ensemble de techniques mais aussi de susciter et de préciser des questions. L'aller-retour avec des essais analytiques a été envisagé dès le départ par les auteurs et se confirme. Pour reprendre le même exemple

¹⁰ Cette culture pourrait aussi jouer un rôle parmi les cultures énergétiques. Des surfaces consacrées à la production d'énergie (biogaz) existent déjà en Allemagne

du sous-semis, le choix du ray-grass a été conduit par la maîtrise technique (à l'exception du problème des repousses peu évoqué). La question du choix de l'espèce mériterait d'être traitée. Deytieux (2004) a ainsi étudié à l'INRA de Toulouse le Pâturin des bois après consultations de spécialistes des graminées. Les partenaires allemands du projet ont testé une espèce totalement différente et pérenne, la vesce velue (*Coronilla variée* ; *Coronilla varia L.*).

Ceci nous amène au point suivant de la discussion de la démarche qui est la conception des systèmes innovants. Celle-ci a été faite par les réalisateurs du projet avec des partenaires techniques (SUAD 67 et 68), donc par un groupe technique d'experts locaux. D'autres partenaires auraient pu être associés, tels des membres des coopératives et négoce, ou encore des partenaires externes à l'agriculture (Ex : chasseurs) pour des objectifs relatifs à la biodiversité.

Par ailleurs, la construction a été faite à dire d'experts sur la base des connaissances techniques, ce qui peut limiter le caractère innovant du système. Des approches exploratoires basées sur l'outil informatique permettent la génération de nombreux itinéraires techniques évalués à l'aide de modèle de culture et sélectionnés par des techniques d'optimisation (Rossing et al., 1997) ou multicritères (Loyce, 1998). Dans l'approche, à dire d'expert, et par approche exploratoire, l'innovation vient en grande partie par la combinaison de techniques qui pour certaines ne sont pas totalement nouvelles (Ex : techniques sans labour dans notre cas) mais avec l'avantage d'avoir déjà été testées en essais dans un dispositif classique à un ou deux facteurs. L'intérêt des techniques exploratoires permet d'évaluer a priori des combinaisons totalement originales (potentiellement novatrices mais à risques élevées) que personne n'oserait tester expérimentalement, mais elles restent du domaine de la recherche.

Au niveau expérimentation, le recours au matériel de l'agriculteur permet d'enrichir les résultats par des observations sur le matériel utilisé et de percevoir certaines contraintes avec l'agriculteur. Les inconvénients en sont que l'expérimentateur est soumis aux contraintes de l'agriculteur. Ainsi certaines interventions n'ont pas été réalisées à des dates optimales (date de récolte, passage du chisel qui n'a pas été toujours effectué sur sol gelé, état du sol défavorable lors du passage d'un outil de reprise ou du semis). Il faut compter dans ce genre de travail un investissement en temps consacré à l'établissement de bons contacts, d'échanges avec l'agriculteur pour établir et maintenir de bonnes relations de travail dans la confiance.

Enfin un dernier point est la quantité de résultats accumulés qui peut « noyer » les utilisateurs potentiels. Nous en avons naturellement fait une synthèse. Mais les questions finales demeurent : les objectifs ont-ils été atteints ? dans quelles mesures ? quels systèmes donnent satisfaction ? Une approche multicritères serait nécessaire (cf. précédent projet ITADA, Bockstaller et al., 2002). Une méthode d'évaluation multicritère à la suite de la première tentative du précédent projet ITADA est en cours de finalisation dans le cadre d'un stage d'étudiant mais n'a pas pu être terminée. Elle s'appuie sur le travail de Bockstaller et Girardin (2002a).

2. Les résultats obtenus

Les systèmes innovants étudiés reposent sur une combinaison des techniques sans labour et des cultures pièges à nitrates, ce qui est déjà pratiqué par certains agriculteurs de pointes (cf. travaux projet ITADA A1.2). Il n'en reste pas moins qu'il existe des risques accrus pour la conduite de la culture suivante (Labreuche et Maillet-Mezerey, 2005).

Comme déjà évoqué, la quantité de résultats obtenus est importante, non seulement par rapport aux objectifs fixés mais en aussi en termes de validation ou non des règle de décision.

Sur le plan du désherbage, sur 4 ans, nous n'avons pas observé une dérive de la flore, ni une « explosion » des populations suite à une non maîtrise d'un problème (toutefois une certaine tendance à l'augmentation sur les sites allemands). En raison de la non récolte de

la féverole en 2003 à Rouffach, une pression forte des graminées et de chénopodes à Steinenstadt [2003/2004]) un fort salissement des parcelles a été observé en 2004. Les fortes densités de graminées qui ont suivi ont pu être contrôlées au prix d'un passage supplémentaire. Par rapport aux règles de décision initiales, il a fallu revoir les doses à la hausse en 2005. En revanche le désherbage du soja n'a pas été des plus simples. Du côté allemand, le choix des substances actives reste limité (-> augmentation des doses) et du côté français, il a fallu ajouter un anti-graminées à profil environnemental défavorable.

Côté allemand, le glyphosate a été davantage utilisé qu'en Alsace. Le profil environnemental restait favorable d'après I-Phy. En fait, le glyphosate fait partie des substances de plus en plus détectées dans les eaux de surface et plus rarement dans les eaux de profondeur (IFEN, 2003). Mais les travaux de Mamy (2004) ont montré que les traitements systématiques sur couvert présentaient un certain risque de contamination des eaux de profondeur sur plusieurs années, ce dont l'indicateur I-Phy ne tient pas compte. Ce point devra être travaillé dans les prochaines années.

Le choix variétal d'une variété de maïs plus précoce à port dressé pour favoriser le semis sous couvert a été probablement une des causes de certaines pertes de rendement observées sur les sites alsaciens (et badois en 2005). Mais l'homogénéisation du choix variétal à Niederentzen n'est cependant pas venue modifier la tendance. La concurrence du couvert de ray-grass n'a pas pu être observée que sur le système en semis en bandes à Niederentzen où nous avons atteint des limites de l'innovation dans l'état actuel des connaissances. Les observations sur la structure du sol semblent aussi montrer des conditions moins favorables par ailleurs sur ce site pour les conditions innovantes. Il se pose la question de savoir si la période de suppression du labour est assez longue pour permettre au sol d'avoir atteint un nouvel équilibre notamment en termes d'activité biologique qui permettrait de compenser les effets négatifs du non travail. Cette question de la durée de l'expérimentation s'applique aussi à l'effet de la rotation, au travers de l'effet du précédent légumineuse sur la culture de maïs et du sous-semis.

Dans l'ensemble, les ray-grass ont pu être bien implantés, ce qui n'a pas toujours été le cas dans le passé. Même en 2003, ceci a été le cas car le dépérissement a eu lieu en août. Les règles de décision (variété à port dressé) ne semblent pas être le facteur primordial. En fait, à côté des aspects agronomiques, il ne faut pas oublier le matériel d'implantation utilisé. Sur les sites alsaciens et badois, des bineuses spécialement adaptées ont été utilisées. Sur la machine de Rosheim, des peignes permettent d'enfouir légèrement les semences, ce qui favorise encore la levée.

L'étude des effets du sous-semis a permis dans un cas sur quatre de montrer un effet sur la réduction du lessivage par des mesures de lessivage par bougies poreuses. Cette technique lourde à mettre en œuvre qui a été travaillée depuis les années 90 (Lord et Shepherd, 1993) a permis d'aller jusqu'au bout des choses, ce que le suivi des reliquats et l'utilisation d'un modèle n'a pas permis de faire côté alsacien. Ce résultat a priori décevant s'explique par l'année 2003 où les objectifs de rendements n'ont pas été atteints et où les couverts n'ont pas survécu à la canicule. Après la récolte 2004, il se pourrait qu'il y ait eu un arrière effet de la culture de la féverole non récoltée à Rouffach. Mais le point faible des systèmes mis en place avec sous-semis reste la gestion des repousses dans la culture suivante, plus délicate en l'absence de l'utilisation de glyphosate et du labour notamment.

Toutes les observations et résultats nous conduisent à remettre en cause un certain nombre de règle de décisions :

- sur le choix des cultures, les partenaires allemands ont proposé d'alterner les légumineuses, principalement pour limiter le problème des adventices dans le soja dans les rotations avec maïs. La faisabilité de ce choix reste à vérifier en plaine du Rhin en raison des problèmes climatiques (chaleur du mois de juin). Les premiers résultats avec pois protéagineux de printemps en 2005 sont encourageants, non seulement pour ce qui concerne le contrôle des adventices mais aussi en référence à l'efficacité de la culture piège à nitrates après la légumineuse.

- Le choix d'une variété de maïs plus précoce à port dressé pour favoriser les sous-semis peut être remis en question au vu des observations. Certes, une variété à port très retombant doit certainement être évitée, mais une solution intermédiaire peut être trouvée. Par ailleurs, la date de récolte en octobre ne semble pas être un facteur limitant majeur à l'efficacité du sous-semis dans les situations étudiées, car le couvert se développe bien avant récolte quand les feuilles retombent. Cependant en situation de fort reliquat azoté, une récolte précoce permettrait d'augmenter la capacité d'absorption du couvert. Ce rôle de la date de récolte mériterait d'être étudié de plus près dans des essais plus analytiques.
- La date d'enfouissement du ray-grass en mars à Niederentzen et le travail tardif qu'il entraîne présente l'avantage d'obtenir un couvert plus développé et permettant d'absorber une éventuelle minéralisation hivernale (période douce de plus en plus fréquentes semble-t-il), et un rapport carbone azote (C/N) supérieur et proche des seuils où la minéralisation n'intervient plus. Mais elle entraîne un retard du travail du sol qui pourrait se répercuter sur la structure du sol et le contrôle du ray-gras. Le sol ne bénéficie pas de l'effet positif du gel. D'autres problèmes (ravageurs, etc.) peuvent encore se poser (Labreuche et Maillet-Mezerey, 2005). Un enfouissement plus précoce (sur sol en début de gel en décembre) comme à Rouffach pourrait permettre de limiter cet inconvénient. Cela pourrait permettre de supprimer le passage de la herse rotative au profit d'outils classiques moins coûteux en temps de travail.

Pour terminer, les résultats économiques s'avèrent décevants. Le contexte des primes PAC jusqu'à maintenant favorisait fortement la culture du maïs par rapport à une culture comme le soja. Les nouvelles dispositions de la PAC entrant en vigueur en 2006 (2055 en Allemagne) avec le découplage partiel (ou complet en Allemagne) pourraient limiter ce problème. Des simulations seraient à effectuer mais nécessiteraient de prendre en compte la taille de l'exploitation puisque une partie de la prime n'est plus liée à la production.

Ceci nous conduit à la remarque suivante, les travaux sur les systèmes doivent être poursuivis par des travaux complémentaires à l'échelle de l'exploitation agricole, notamment pour l'organisation du travail et des chantiers, et avec le nouveau contexte de la PAC pour l'étude économique, et pour les impacts environnementaux à l'échelle du territoire ou d'un bassin versant. En effet un système intéressant du point de vue environnemental comme le sont, du moins en partie, les systèmes innovants ici étudiés (dans leur état actuel qui peut être encore amélioré) mais moins performants économiquement, n'est pas à mettre sur l'ensemble du territoire mais dans les zones les plus sensibles (captage, zone sensible au lessivage, etc). Dans ces zones, les prestations environnementales peuvent aussi être le plus facilement subventionnées. Cependant des travaux seraient nécessaires pour déterminer des conditions socio-économiques qui permettraient d'introduire les systèmes innovants respectueux de l'environnement dans la pratique sans subventions supplémentaires.

Enfin, dans la perspective de la durabilité environnementale, nous avons traité des problèmes de qualité de l'eau, du sol (structure). Pour les problèmes d'érosion, les systèmes mis en place auraient un effet favorable. En revanche, l'activité biologique du sol qui peut être favorisée par l'absence de labour (Holland, 2004 ; Tebrügge, 1999) n'a pas été étudiée ni les aspects biologiques dans l'ensemble. Par ailleurs, la consommation énergétique des systèmes reste dans l'ensemble à un niveau élevé même si l'introduction d'une légumineuse permet une réduction de moitié par rapport à une monoculture de maïs. Dans le contexte actuel du prix du pétrole ceci devrait conduire à de nouvelles réflexions mais dans une approche systémique multicritères.

TRANSPOSITION PRATIQUE

Ce travail ne permet pas de livrer à la sortie des systèmes de culture durable « clé en main » aux agriculteurs, ceci pour plusieurs raisons :

- la durée des observations devrait probablement être prolongée (doublée ?).
- les systèmes innovants mis en place ont montré des limites notamment au niveau économique, en particulier du côté alsacien mais aussi côté allemand, pour ce qui des aspects technique (désherbage du soja en particulier).

Il n'en demeure que ce travail a permis d'engranger une multitude d'observations qui peuvent servir aux techniciens réfléchissant à l'élaboration de systèmes de culture innovants plus respectueux de l'environnement.

Du point de vue de la démarche, il montre l'intérêt d'une démarche systémique pluriannuelle qui prend en compte les interactions entre les éléments du système (travail du sol et désherbage, sous-semis et culture suivante etc.). Ceci est une démarche intéressante mais qui peut conduire à des difficultés qui obligent la recherche du compromis. Le traitement des données en est une limite car il ne peut que difficilement s'appuyer sur les approches traditionnelles de la statistique (essais en blocs aléatoires) à moins de disposer de moyens très importants. Dans tous les cas, le nombre d'observations qu'impose ce genre d'essai pour entrer dans la logique systémique nécessite un investissement financier mais aussi en temps de travail expérimental. La mise en place d'essai chez les agriculteurs avec leur matériel oblige aussi à consacrer du temps pour établir et maintenir une bonne relation avec ces derniers. Mais il permet aussi des observations intéressantes sur le matériel qui est aussi un facteur de réussite de la mise en place des systèmes de culture. Un autre avantage est que cette approche permet d'identifier précocement des possibles blocages de la part d'un agriculteur, ce qui permet de rechercher avec lui et d'autres collègues des solutions.

Il n'exclut pas de retourner à des essais analytiques et de s'appuyer sur des essais factoriels plus conformes aux contraintes qu'imposent les statistiques. Le retour à de tels essais s'impose quand de nouvelles questions apparaissent. Cela peut être aussi du ressort de la recherche qui dispose de plus de moyens pour des travaux exploratoires. L'évaluation de nouvelles espèces pour le sous-semis en est un exemple.

L'ensemble des résultats fait ressortir des points intéressants. On peut citer dans l'ensemble de nombreuses observations agronomiques mais aussi sur le matériel :

- le recours à des techniques de désherbage en post-levée avec les substances à bon profil environnemental et à faible dose est faisable même s'il est encore un peu plus coûteux par rapport à des stratégies plus classiques de désherbage de prélevée avec ou sans rattrapage. Le recours au binage permet de compléter le désherbage chimique en plus des autres effets (enfouissement engrais, effet sur la structure du sol en surface, éviter la formation de résistance aux produits phytosanitaires). En association avec les techniques sans labour et un sous-semis, elle peut être plus délicate. Ainsi, en situation exceptionnelle de forte densité d'adventices, ou de décalage de stade, la réduction de dose doit être modulée et les règles de décision présenter une certaine souplesse pour éviter des effets très négatifs qui remettraient en cause la maîtrise du désherbage.
- Pour la réussite d'un sous-semis, le choix variétal d'une variété à port dressé et dans une moindre mesure la précocité ne semblent pas être une nécessité. Par contre, les travaux actuels confirment les problèmes de repousses notamment liés à des enfouissements tardifs. Un effet positif de ,cette date tardive n'a pu être mesuré que dans un cas en raison de certains aléas de l'essai.
- Le coût économique reste le frein majeur de l'innovation dans ces systèmes dans le contexte « maïs » de la Plaine du Rhin. Mais le contexte peut changer comme le montre la réforme de la PAC qui nécessite une évaluation économique plus poussée du maïs dans le contexte de l'exploitation.

Enfin de tels sites peuvent servir pour des actions de démonstration ou pour engager une discussion technique approfondie avec les agriculteurs.

PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS

Si a priori, on pourrait être quelque peu déçu de ces résultats, qui n'ont pas permis d'aboutir à un système durable clé en main, ce travail est riche en enseignements. En fait, on peut comparer les essais systèmes à un champ d'essai de prototype agronomique duquel l'expérimentateur peut tirer une multitude d'enseignements et d'observations, pour améliorer certains éléments du système ou règle de décision, ou en invalider d'autres. A ceci, il faut ajouter des observations sur le matériel utilisé, puisque les essais se font avec le matériel de l'agriculteur. L'approche pluriannuelle et systémique en est la force, bien qu'au niveau du traitement statistique des difficultés peuvent surgir. Dans tous les cas, la mise en place de tels essais nécessite un investissement lourd en raison du nombre d'observations à effectuer, des contraintes qu'imposent l'expérimentation avec le recours aux outils de l'agriculteur.

A l'issue de ce programme, il paraît évident que ces dispositifs devraient être poursuivis pour obtenir des données supplémentaires sur les effets cumulatifs (sur l'évolution de la flore, suivi des nitrates qui n'a que commencé avec le dispositif de bougies poreuses de l'ARAA sur 2 sites, etc.). Néanmoins, on peut envisager une évolution des systèmes innovants. Certains changements ont déjà été entrepris comme le choix variétal. La date d'enfouissement tardif du ray-grass sur le site de Niederentzen est certainement à revoir.

D'autres questions non traitées se posent :

- le choix de l'espèce pour le sous-semis (ray-grass, autre graminée, voire une légumineuse ?)
- la choix de la légumineuse à grosses graines dans la rotation (pois, pois d'hiver sans application des herbicides ?)
- les effets à moyen terme de l'enfouissement de ces couverts sur le devenir de l'azote
- l'impact répété de l'utilisation du glyphosate.
- l'impact sur l'activité biologique du sol, la biodiversité, les effets sur la constitution physique du sol
- la réduction du recours aux engrais minéraux dans le contexte actuel du renchérissement du prix du pétrole.
- l'introduction d'une culture hivernale dans l'assolement ?

Sur le plan méthodologique, le traitement de la masse de résultats, ne permet pas d'aboutir de manière évidente à un jugement global. Une approche multicritère est nécessaire. Se pose en effet la question de la pondération des critères mesurés, tous n'ayant pas le même poids et de l'agrégation, comment arriver à jugement global qui permette d'obtenir un « degré d'atteinte des objectifs fixés » et d'éventuelles comparaisons interannuelles et entre systèmes. Un travail a été entrepris à l'INRA de Colmar à partir de l'approche développée sur l'évaluation agri-environnementale des exploitations (Bockstaller et Girardin, 2002; Bockstaller et al., 2002) afin de l'adapter à cette problématique des essais systèmes de culture.

Enfin sur le plan transfrontalier, ce projet a fait l'objet de nombreux échanges entre les partenaires du projet, la liste dressée en Annexe 12 n'en étant que la face visible (il y a eu de nombreux échanges par courriers électroniques et téléphones). Bien plus, le contenu en a été très riche et a créé une certaine dynamique dans la conception des systèmes innovants comme en témoignent les apports des partenaires allemands au prototype initial conçu côté français. Par ailleurs, les sites ont fait l'objet de visites des agriculteurs en 2005 des deux côtés du Rhin (Annexe 12), ce qui a permis de répondre à l'autre objectif de ce travail. Ces constats posent encore une fois la question de la continuation de ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(TEXTE PRINCIPAL ET ANNEXES)

- AGPM, 1994. Le maïs et la réglementation environnement. AGPM-Info Technique n°182.
- AGPM-Technique, 2001. Charte de production du Maïs : Manuel de référence technique maïs grain, maïs fourrage, AGPM-Technique, Pau, Paris,
- AGPM-Technique, 2003. La génétique source de progrès. AGPM-Info Technique n°305.
- Auzet, A. V., 1988. L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques, Ministère Environnement, Ministère Agriculture, CEREG-UA95 CNRS, Paris,
- Barbut, L., Poux, X., 2000a. Impact environnemental de la culture du maïs dans l'Union Européenne. Etude de cas Bretagne, ASC A - Commission Européenne DG XI, pp. 82.
- Barbut, L., Poux, X., 2000b. Impact environnemental de la culture du maïs dans l'Union Européenne. Etude de cas sur le bassin de l'Adour, ASC A - Commission Européenne DG XI, pp. 82.
- Bigler, F., Wadlbürger, M., Frei, G., 1995. Insekten und Spinnen als Nützlinge. *Agrarforschung* 2, 383-386.
- Bockstaller, C., 2004 Elaboration et utilisation des indicateurs. Exemple de I-Phy, In: Barriuso, E., (Ed.), Estimation des risques environnementaux des pesticides, un point sur, INRA Editions, Paris, pp. 75-86.
- Bockstaller, C., Girardin, P., 2002a. A global indicator of environmental Sustainability (IGLO), Villalobos, F. J. , Testi, L., (Eds.), 7th ESA Congress, Cordoba, European Society for Agronomy (ESA), pp. 553-554.
- Bockstaller, C., Girardin, P., 2002b. Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO., Document INRA-ARAA, pp. 113.
- Bockstaller, C., Girardin, P., 2002c. Evaluer les systèmes de culture à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux : la méthode INDIGO®, Les Rencontres Annuelles du CETIOM, Paris, CETIOM, pp. 54-58.
- Bockstaller, C., Hanson, G., Girardin, P., 2000. Faisabilité de la Production Intégrée en grande culture, ITADA, Colmar, pp. 82.
- Bockstaller, C., Reinsch, M., Girardin, P., 2002. Mise en oeuvre des indicateurs agro-écologiques : comparaison avec la méthode KUL, élargissement d'autres systèmes de production, application en zones sensibles, informatisation du calcul., ITADA, Colmar, pp. 112.
- Bohren, C., Ammon, H.-U., Dubios, D. & Streit, B. (2002): Erträge von Silomais nach verschiedenen Anbauverfahren. *AGRAR Forschung* 9(9): S. 386-391.
- Boizard, H., Richard, G., Roger-Estrade, J., Dürr, C., Boiffin, J., 2002. Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. *Soil and Tillage Research* 64, 149-164.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy* 18, 309-332.
- Burtin, M.-L., Rapp, O., 2005. Programme Agronomique Régional: Observatoire des fuites de nitrates sous parcelles agricoles, ARAA, Schiltigheim, pp. 32.
- Chapot, J.-Y., Nitrogen uptake kinetics of six nonleguminous cover crops after wheat to recover 100 kg/ha of residual nitrogen, Scaife, A., (Ed.), Second Congress of the European Society for Agronomy, Warwick University, European Society of Agronomy, Colmar, 1992, pp. 344-345.
- Chapot, J.-Y., Nitrogen effect of ryegrass cover crops with a C/N ratio close to 25 on a maize crop, Zima, M. , Bartosova, M. L., (Eds.), Five Congress of the European Society of Agronomy, Nitra, the Slovak Republic, European Society of Agronomy, Colmar, 1998, pp. 248-249.
- Christen, O., 1999. Nachhaltige Landwirtschaft - Von der Ideengeschichte zur praktischen Umsetzung, Vol. 1/1999, ILU, Bonn,
- Dahrmakeerthi R.S., Kay B.D. & Beauchamp E.G. (2004) : Effect of soil disturbance on N availability across a variable landscape in southern Ontario. *Soil and Tillage Research* Vol. 79(1): 101-112.
- Delphin, J. E., Chapot, J. Y., 2001. Leaching of atrazine and deethylatrazine under a vegetative filter strip. *Agronomy* 21, 461-470.
- de Mol, F., Gerowitt, B., Bockstaller, C., 2003 Bewertung von Ackerbausystemen mit den agrar-ökologischen Kenngrößen des Programms INDIGO, In: Isermeyer, F., Böttcher, J., Hoffmann, V., Kalm, E. , Otte, A., (Eds.), Umweltindikatoren - Schlüssel für eine umweltverträgliche Land- und Forstwirtschaft, Agrarspectrum Schriftenreihe, vol. 36, VerlagsUnionAgrar, Frankfurt am Main (Germany), pp. 236-237.
- Deytieux, V. 2004. Impact d'un couvert herbacé permanent sur le fonctionnement du système sol/plante d'une culture de maïs irriguée. ENSA Rennes.
- El Titi, A. 1992. Integrated Farming : an ecological farming approach in European agriculture. *Outlook on Agriculture*, 21(1), 33-39.
- El Titi, A., Boller, E. F., Gendrier, J. P. 1993. Integrated production. Principles and technical guidelines. *IOBC/WPRS Bulletin*, 16(1), 13-38.
- Ferguson, R. B., Hergert, G. W., Schepers, J. S., Gotway, C. A., Cahoon, J. E. et Peterson, T. A. 2002. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: Yield and soil residual nitrate effects. *Soil Science Society of America Journal*, 66(2), 544-553.

- Forcella, F. 1992. Prediction of weed seedling densities from buried seed reserves. *Weed Research*, 32(1), 29-38.
- Foy, N. 2003. Effet des systèmes de culture sur l'évolution de la structure d'un sol limoneux. ENITA Bordeaux.
- Fritsch, R. 2001. L'interculture sous couvert d'un maïs grain : Une alternative permettant de concilier monoculture et environnement. Source ?
- Gassman, B. et Fischesser, J.-F. 2003. Désherbage du maïs sans atrazine. Quel programme pour demain ? In Les rendez-vous technique 9 septembre 2003, S.U.A. Développement Chambre d'Agriculture du Haut-Rhin. Sainte en Croix en Plaine, pp. 11-12.
- Girardin, P. 1999. Ecophysiologie du maïs. Association Générale des Producteurs de Maïs, Pau, France.
- Girardin, P., Hanson, M. et Bockstaller, C. 1997. Mise au point et validation d'indices agro-écologiques pour le diagnostic des exploitations de grande culture s'orientant vers la Production Intégrée. ITADA. Rapport de Synthèse du Projet 14 (1994-95).
- Girardin, P., Bockstaller, C. et Merouzeau, L. 1998. Estimation de l'impact sur l'environnement de traitements phytosanitaires pour des colza transgéniques résistants au glyphosate et au glufosinate. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°33, 89-90.
- Gobillot, A., 1998. Les cultures intermédiaires semées sous-couvert de maïs, IUT Colmar, ITADA, .
- Guo Y., Chen F., Zhang F. & Mi G.: Auxin transport from shoot to root is involved in the response of lateral root growth to localized supply of nitrate in maize. *Plant Science* Vol. 169(5): 894-900.
- Häni, F. 1993. Weiterentwicklung umweltschonender Bewirtschaftungssysteme - Projekt "dritter Weg". *Recherche agronomique en Suisse*, 32(3), 341-364.
- Helmers, G. A., Yamoah, C. F., Varvel, G. E., 2001. Separating the impact of crop diversification and rotation on risk. *Agronomy Journal* 93, 1337-1340.
- Holland, J. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 103(1), 1-25.
- Holland, J. M., Frampton, G. K., Çilgi, T. & Wratten, S. D. 1994. Arable acronyms analysed - a review of integrated arable farming systems research in Western Europe. *Annals of Applied Biology*, 125, 399-438.
- IFEN, 2003. Les pesticides dans les eaux. Cinquième bilan annuel. Données 2001, Vol. 37, Institut Français de l'Environnement, Paris,
- Imgraben, H.-J., Juncker-Schwing, F., 1997. Stratégies de désherbage en maïs- réduction de l'usage de matières actives et désherbage mécanique -, ITADA, Colmar, pp. 5.
- Ilsemann, J., Goeb, S., Bachmann, J., 2001. How many soil samples are necessary to obtain a reliable estimate of mean nitrate concentrations in an agricultural field? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 164, 585-590.
- Keichinger, O., 2001. Evaluation de l'impact des pratiques agricoles d'exploitations de grandes cultures sur la valeur cynégétique à l'aide d'indicateurs agro-écologiques, Docteur de l'I.N.P.L. Sciences Agronomiques, INPL-ENSAIA, pp. 163.
- Koller, R., Burtin, M.-L., Juncker-Schwing, F., Nussbaumer, H. 2000. Optimisation des cultures intermédiaires. ITADA. Rapport de synthèse du projet A1.2Kolpin, D. W., Barbash, J. E., Gilliom, R. J., 2000. Pesticides in ground water of the United States, 1992- 1996. *Ground Water* 38, 858-863.
- Labreuche, J., Maillet-Mezeray, J. 2005. Cultures intermédiaires : de nombreuses espèces à semer. *Perspectives Agricoles*, n°314, 24-29.
- Lasserre, D., Muller, J.-M., Imhoff, M., Fischesser, J.-F., 2004. Choisir maïs : Résultats 2004. Préconisations 2005, Arvalis - Institut du végétal, Ste-Croix en Plaine, Colmar,
- Lasserre, D., Muller, J.-M., Imhoff, M., Fischesser, J.-F., Juncker-Schwing, F., Jedvaj, P., 2003. Le maïs en Alsace : Résultats 2002 et préconisations, ITCF, AGPM-Technique, Ste-Croix en Plaine, Colmar,
- Lasserre, D., Remuaux, M., Juncker-Schwing, F., Ballon, G., Atoui, A., 1996. Bien gérer la culture du maïs grain. Résultats d'essai 1995, ITCF, AGPM, Colmar,
- LfU-APRONA-DIREN/SEMA, 2000. Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur : résultats de la campagne de prélèvements et d'analyses, Région Alsace, Strasbourg, pp. 218.
- Loyce, C., 1998. Mise au point d'itinéraires techniques pour un cahier de charges multicritères : Le cas de la production de blé éthanol en champagne crayeuse, Thèse de l'Institut National Agronomique Paris Grignon, pp. 242.
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science (Washington)*, 296(5573).
- Maier J. (2006) : Vergleich verschiedener N-Düngungssysteme zu Körnermais, Auggen 2005. in: Vorstellung der Versuchergebnisse Mais 2005 und Anbaufragen 2006. Maistagung beim Amt für Landwirtschaft Emmendingen-Hochburg. 8.Februar 2006. S. 115-123.
- Mamy, L., 2004. Comparaison des impacts environnementaux des herbicides à large spectre et des herbicides sélectifs : Caractérisation de leur devenir dans le sol et modélisation., Institut National Agronomique Paris-Grignon, pp. 333.
- Mary, B., Beaudoin, N., Justes, E., Machet, J. M., 1999. Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soil using a simple dynamic model. *European Journal of Soil Science* 50, 1-18.

- Meynard, J. M., Reau, R., Robert, D., P., S., Evaluation expérimentale des itinéraires techniques, Expérimenter sur les conduites de cultures : Un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, 10 janvier 1996, Paris, DERF, ACTA, Paris, 1996, pp. 63-72.
- Müller-Sämman, K., Hölscher, T., 2005. Nachhaltige Maisproduktion: Konzeption und vertiefte Auswertung von Anbausystemen, ANNA/ IfuL, Müllheim, vorläufiger interner Abschlussbericht, pp. 152.
- Nolot, J.-M., 2002. Systèmes de grande culture intégrés : Principes et outils de conception, conduite et évaluation. Courrier de l'environnement de l'INRA n°47, 15-26.
- Normand, B., Recous, S., Vachaud, G., Kengni, L., Garino, B., 1997. Nitrogen-15 tracers combined with tensio-neutronic method to estimate the nitrogen balance of irrigated maize. *Soil Science Society of America Journal* 61, 1508-1518.
- Paoletti, M. G., Pimentel, D., Stinner, B. R., Stinner, D., 1992. Agroecosystem biodiversity : matching production and conservation biology. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 40, 3-23.
- Pellerin, F., Pellerin, S., Vilette, C., Boiffin, J., 2000. Evolution du raisonnement de la fertilisation phosphatée des grandes cultures. Etude par simulation de l'évolution des sols et des successions de culture du Nord du Bassin Parisien. *Etude et Gestion des Sols* 7, 53-71.
- Pervanchon, F., 1999. Mise au point d'un indicateur agro-écologique d'évaluation de la consommation énergétique en grandes cultures, Ecole Nationale Supérieure Agronomique Toulouse, Toulouse, Mémoire de fin d'études DAA, pp. 138+annexes.
- Pervanchon, F., Blouet, A., 2002. De la durabilité de l'agriculture raisonnée. *Natures Sciences Sociétés* 10, 36-39.
- Pimentel, D., Hurd, L. E., Belloti, A. C., Forster, M. J., Oka, I. N., Sholes, O. D., Whitman, R. J., 1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182, 443-449.
- Porter, P. M., Lauer, J. G., Lueschen, W. E., Ford, J. H., Hoverstad, T. R., Oplinger, E. S., Crookston, R. K., 1997. Environment affects the corn and soybean rotation effect. *Agronomy Journal* 89, 442-448.
- Reau, R., Meynard, J. M., Robert, D., Gitton, C., Des essais factoriels aux essais "conduite de culture", Expérimenter sur les conduites de cultures : Un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, 10 janvier 1996, Paris, DERF, ACTA, Paris, 1996, pp. 52-62.
- Rossing, W. A. H., Meynard, J. M., van Ittersum, M. K., 1997. Model-based explorations to support development of sustainable systems: case studies from France and the Netherlands. *European Journal of Agronomy* 7, 271-283.
- Six, J., Feller, C., Deneff, K., Ogle, S.M., Moraes, S.J.C. & Albrecht, A. (2002): Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no tillage. *Agronomie* 22:755-775.
- Sommer K. (2001) : "Cultan" im Ackerbau ohne Pflug. *Landwirtschaft ohne Pflug* 6/2001, S. 11-16. *Mais* 30(1).
- Sommer K. (2002): Perspektiven des "CULTAN"-Verfahrens. *VLN-Info-Blatt4 / 2002*, S. 12-16.
- Schmidhalter, U., Alfoeldi, T., Oertli, J. J., 1992. Représentativité des analyses de l'azote minéral résiduel du sol. *Revue suisse d'Agriculture* 24, 51-56.
- Sharpley, A., Foy, B., Withers, P., 2000. Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water : an overview. *Journal of Environmental Quality* 29, 1-9.
- Steffan, I., 2001. Mise au point d'un indicateur ruissellement RUIS, Université Louis Pasteur Strasbourg, Strasbourg, Mémoire de Maîtrise Sciences et Techniques, pp. 33.
- Steinmann, H.-H. 2005. Gute fachliche Praxis und integrierter Ackerbau im langjährigen betriebswirtschaftlichen Vergleich - Eine Betrachtung vor dem Hintergrund von Reduktionszielen im Pflanzenschutz. *Berichte über Landwirtschaft*, 83(3), 352-375.
- Steinmann, H.-H., Gerowitt, B. (ed.). 2000. Ackerbau in der Kulturlandschaft - Funktionen und Leistungen: Ergebnisse des Göttinger INTEX Projektes. Mecke, Duderstadt (D).
- Swanton, C. J., Murphy, S. D., Hume, D. J., Clements, D. R., 1996. Recent improvements in the energy efficiency of agriculture: Case studies from Ontario, Canada. *Agricultural Systems* 52, 399-418.
- Tan, C. S., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Groenevelt, P. H., Dadfar, H., 2002. Water and nitrate loss through tiles under a clay loam soil in Ontario after 42 years of consistent fertilization and crop rotation. *Agriculture Ecosystems et Environment* 93, 121-130.
- Tebrügge, F. & Düring, R. A. (1999). Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research*, 53(1), 15-28.
- van der Werf, H. M. G., Zimmer, C., 1999. Un indicateur d'impact environnemental de pesticides basé sur un système expert à logique floue. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°34, 47-66.
- Viaux, P., 1999. Une 3ème voie en grande culture. Environnement, qualité et rentabilité, Agridécisions, Paris, France.
- Vetter, R. (2003): Tastversuche zum Cultan-Verfahren (Ammonium-Depotdüngung) in Körnermais. in: Vorstellung der Versuchsergebnisse Mais 2002. Maistagung beim Amt für Landwirtschaft Emmendingen- Hochburg. 5. Februar 2003, S. 96-100.
- Viaux, P. (1997). Les systèmes de production intégrés. *Oléagineux Corps gras Lipides*, 4(6), 430-441.
- Vilain, L., 2003. La méthode IDEA. EducAgri, Dijon.

Weiske A., Benckiser G., Herbert T. & Ottow J.C.G. (o.J.): Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamid (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biol Fertil Soils* (cited in Zerulla et al. 2001)

Yunlong, C., Smit, B., 1994. Sustainability in agriculture : a general review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 49, 299-307.

Zerulla W., Barth T., Dressel J., Erhardt K., Horchler v.L. K., Pasda A., Rädle M. & Wissemeier A.H. (2001) : 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. An introduction. *Biol Fertil Soils*, 34:798-84.

ANNEXES

	P
Annexe 1 Détail des systèmes de culture mis en place en 2002-2003 2005	88
Annexe 2 Descriptif des sols	98
Annexe 3 Analyses de sol	102
Annexe 4 Dispositif expérimentaux	103
Annexe 5 Machine de travail du sol en bande fraisée utilisée sur les sites allemands et en système innovant 2 à Niederentzen	105
Annexe 6 Le procédé CULTAN	106
Annexe 7 Corrélation rendement machine-placettes	109
Annexe 8 Détail des suivis tensiométriques	110
Annexe 9 Détail du programme d'irrigation sur les sites allemands	113
Annexe 10 Exemple de résultats obtenus avec les bougies poreuses mises en place par l'ARAA sur le site de Rouffach	114
Annexe 11 Description détaillées des profils culturaux	115
Annexe 12 : Principaux événements transfrontaliers du projet	117

Annexe 1

Détail des systèmes de culture mis en place en 2002-2003 2005

Niederentzen 2002			
Éléments du système	Maïs raisonné	Maïs innovant1	Maïs innovant2
Travail du sol	25/11/01 : labour 04/04/02 : herse 11/4/02 : vibroculteur	25/11/01 : labour 04/04/02 : herse 11/4/02 : vibroculteur	25/11/01 : labour 04/04/02 : herse 11/4/02 : vibroculteur
Semis	12/04/02 : (var. DK312) 95 000 graines/ha + insecticide au sol Oncol S 6kg/ha	12/04/02 : (var. Nexxos) 102 000 graines/ha	12/04/02 : (var. Nexxos) 102 000 graines/ha
Fertilisation kg/ha	10/03/02 : 150 KCl 01/05/02 : 200 18-46 (36 N) 26/05/02 : 83 N urée 12/06/02 : 142 N urée total N : 261 N	10/03/02 : 150 KCl 01/05/02 : 200 18-46 (36N) 26/05/02 : 83 N urée 12/06/02 : 142 N urée total N : 261 N	10/03/02 : 150 KCl 01/05/02 : 200 18-46 (36N) 26/05/02 : 83 N urée 12/06/02 : 142 N urée total N : 261 N
Désherbage	21/05/02: 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha millagro 14/06/02: binage	21/05/02: 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha millagro 14/06/02: binage	21/05/02: 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha millagro 14/06/02: binage
Traitement pyrale	24/06/02 : 60 g/ha cyperméthrine	19/06/02 : trichogramme	19/06/02 : trichogramme
Irrigation	5 tours d'eau	5 tours d'eau	5 tours d'eau
Sous semis		14/06/02 : ray-grass (var. RGH Taldor) 13 kg/ha + trèfle violet 2 kg/ha	14/06/02 : ray-grass (var. RGH Taldor) 13 kg/ha + trèfle violet 2 kg/ha
Récolte	11/10/02	11/10/02	11/10/02
Broyage	18/10/02	18/10/02	18/10/02

Niederentzen 2003			
Eléments du système	Maïs raisonné	Maïs innovant1	Maïs innovant2
Travail du sol	08/12/02 : labour 29/03/03 : herse 12/04/03 : vibro	28/03/03 : chisel 28/03/03 : herse rotative	17/04/03 : strip till (disques et coutre 12 cm)
Semis	15/04/03 : (var. DK312) 95 000 graines/ha + Oncol s 6 kg/ha	15/04/03 : (var. Nexxos) 108000 graines/ha	23/04/03 : (var. Nexxos) 108000 graines/ha
Fertilisation kg/ha	20/02/03 : 150 KCl 06/05/03 : 150 18-46 (27 N) 23/05/03 : 83 N urée 06/06/03 : 112 N urée total N : 222 N	20/02/03 : 150 KCl 06/05/03 : 150 18-46 (27 N) 23/05/03 : 83 N urée 06/06/03 : 112 N urée total N : 222 N	20/02/03 : 150 KCl 06/05/03 : 150 18-46 (27 N) 23/05/03 : 83 N urée 06/06/03 : 112 N urée total N : 222 N
Désherbage	08/05/03 : 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha Milagro 06/06/03 : binage	08/05/03 : 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha Milagro 30/05/03 : 2,6 L/ha Equip 06/06/03 : binage	08/05/03 : 0,5 Callisto + 0,5 Milagro 30/05/03 : 2,6 L/ha Equip 06/06/03 : binage
Traitement pyrale	25/06/03 : 60 g/ha cyperméthrine	trichogramme	trichogramme
Irrigation	6 tours d'eau	6 tours d'eau	6 tours d'eau
Sous semis		06/06/03 : trèfle souterrain 15 kg/ha	06/06/03 : trèfle souterrain 15 kg/ha
Récolte	19/09/03	19/09/03	19/09/03
Broyage	26/09/03	26/09/03	26/09/03

Niederentzen 2005			
Eléments du système	Maïs raisonné	Maïs innovant1	Maïs innovant2
Travail du sol	20/11/04 : labour 29/03/05 : herse	13/04/05 : chisel 13/04/05: herse rotative	0
Semis	29/04/05 : (var. Masaba) 92000 graines/ha	29/04/05 : (var. Masaba) 92000 graines/ha	29/04/05 : (var. Masaba) semis direct fraise + semoir monosem 4 rgs pneumatique 92800 graines/ha
Fertilisation kg/ha	25/02/05 : 100 KCl 13/05/05 : 250 18-46 (45 N) 13/06/05 : urée 184 N total N : 229 N	25/02/05 : 100 KCl 13/05/05 : 250 18-46 (45 N) 13/06/05 : urée 184 N total N : 229 N	25/02/05 : 100 KCl 13/05/05 : 250 18-46 (45 N) 13/06/05 : urée 184 N total N : 229 N
Désherbage	26/05/05 : 0,75 L/ha Callisto + 0,75 L/ha Milagro 13/06/05 : binage	06/04/05 : 5 L/ha basta F1 26/05/05 : 1,5 L/ha Milagro 13/06/05 : binage	06/04/05 : 1,25 L/ha basta 13/04/05 : 5 L/ha basta 26/05/05 : 1,5 L/ha Milagro
Traitement pyrale	07/07/05 : 60 g/ha cyperméthrine	21/06/05 : trichogramme	21/06/05 : trichogramme
Irrigation	6 tours d'eau	6 tours d'eau	6 tours d'eau
Sous semis		13/06/05 : ray- grass (var. fidgi) 15 kg/ha	Ray-grass 2004 resté en place en hiver
Récolte	26/10/05	26/10/05	26/10/05
Broyage			

Rouffach 2002			
Éléments du système	Maïs raisonné	Innovant sud féverole	Innovant nord maïs
Travail du sol	15/11/01 : labour 05/04/02 : compactor 24/04/02 : compactor	15/11/01 : labour 10/03/02 : compactor 01/09/02 : chisel	15/11/01 : labour 05/04/02 : compactor 24/04/02 : compactor
Semis	25/04/02 : (var. DK 312) 95000 graines/ha	10/03/02 : 275 kg/ha	25/04/02 : (var. Nexxos) 100100 graines/ha
Fertilisation kg/ha	26/05/02 : 69 N urée 12/06/02 : 92 N urée total N : 161 N	0	26/05/02 : 69 N urée 12/06/02 : 92 N urée total N : 161 N
Désherbage	20/05/02 : 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha Milagro 14/06/02 : binage	21/05/02 : 4 L/ha challenge 600 14/06/02 : binage	20/05/02 : 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha Milagro 14/06/02 : binage
Traitement pyrale	19/06/02 : trichogramme		19/06/02 : trichogramme
Irrigation	1 tour d'eau		1 tour d'eau
CIPAN / Sous semis		10/09/02 : moutarde 15 kg/ha	14/06/02 : ray-grass (var. rgh tadlor) 13 kg/ha + trèfle violet 2 kg/ha
Récolte	15/10/02	10/08/02	15/10/02
Broyage	22/10/02		22/10/02

Rouffach 2003			
Éléments du système	Maïs raisonné	Innovant sud maïs	Innovant nord féverole
Travail du sol	10/12/03 : labour 27/03/03 : compactor 17/04/03 : compactor	20/12/02 : chisel 05/04/03 : compactor 22/04/03 : compactor	20/12/02 : chisel 05/03/03 : compactor 01/09/03 : chisel
Semis	22/04/03 : (var. DK312) 95000 graines/ha	22/04/03 : (var. Nexxos) 102500 graines/ha	12/03/03 : (var. Divine) 275 kg/ha
Fertilisation kg/ha	10/04/03 : 360 0-25-25 22/05/03 : 69 N urée 06/06/03 : 101 N urée total N : 170 N	10/04/03 : 360 0-25-25 22/05/03 : 69 N urée 06/06/03 : 101 N urée total N : 170 N	0
Désherbage	12/05/03 : 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha Milagro 06/06/03 : binage	12/05/03 : 0,5 L/ha Callisto + 0,5 L/ha Milagro 28/05/03 : 1 L/ha Milagro 06/06/03 : binage	13/03/03 : 4 L/ha challenge 600
Traitement pyrale	13/06/03 : trichogramme	13/06/03 : trichogramme	
Irrigation	5 tours d'eau	5 tours d'eau	5 tours d'eau
CIPAN / Sous semis		06/06/03 : trèfle souterrain 15 kg/ha	16/09/03 : moutarde
Récolte	16/09/03	16/09/03	0
Broyage	23/09/03	23/09/03	

Rouffach 2005			
Eléments du système	Maïs raisonné	Innovant sud maïs	Innovant nord soja
Travail du sol	12/11/04 : labour 06/04/05 : compactor 02/05/05 : compactor	14/10/05 : chisel 06/04/05 : compactor 02/05/05 : compactor	14/10/05 : chisel 06/04/05 : compactor 02/05/05 : compactor 26/09/05 : chisel
Semis	02/05/05 : (var. DK3660) 95000 graines/ha	02/05/05 : (var. Nexxos) 102000 graines/ha	02/05/05 : soja (var. Amphor 00) 650000gr/ha
Fertilisation kg/ha	17/04/05 : 250 0-20-30 06/06/05 : urée 69 N 13/06/05 : urée 101 N total N : 170 N	17/04/05 : 250 0-20-30 06/06/05 : urée 69 N 13/06/05 : urée 101 N total N : 170 N	17/04/05 : 250 0-20-30
Désherbage	27/05/05 : 0,75 L/ha Callisto + 0,75 L/ha Milagro 13/06/05 : binage	27/05/05 : 0,75 L/ha Callisto + 0,75 L/ha Milagro 13/06/05 : binage 15/06/05 : binage manuel des repousses de seigle	4,3 L/ha Adar 1,95 L/ha Ronstar 15/06/05 : binage manuel des repousses de ray-grass
Traitement pyrale	21/06/05 : trichogramme	21/06/05 : trichogramme	
Irrigation	3 tours d'eau	3 tours d'eau	3 tours d'eau
CIPAN / Sous semis		13/06/05 : ray-grass (var. fidgi) 15 kg/ha	30/09/05 : avoine de printemps 70 kg
Récolte	12/10/05	12/10/05	22/09/05
Broyage			

Rosheim 2003		
Éléments du système	Maïs raisonné	Maïs innovant
Travail du sol	15/12/02 : labour 15/3/03 : herse 5/4/03 : vibro	15/12/02 : labour 15/3/03 : herse 5/4/03 : vibro
Semis	18/4/03 : (var. Benicia) 95200 graines/ha	18/4/03 : (var. Benicia) 95200 graines/ha
Fertilisation kg/ha	18/01/03 : 650 0-15-30 18/04/03 : 180 18-46 (32 N) 5/4/03 : NH3 injection 130 N 25/5/03 : ammonitrate 33,5 N total N : 195,5 N	18/01/03 : 650 0-15-30 18/04/03 : 180 18-46 (32 N) 5/4/03 : NH3 injection 130 N 25/5/03 : ammonitrate 33,5 N total N : 195,5 N
Désherbage	18/4/03 : 4 L/ha alachlore + 0,4 L/ha atrazine (sur la moitié de la surface, en localisé) 9/5/03 : 1kg/ha Lentagran PM 16/5/03 : 0,6L/ha Banvel	18/4/03 : 4 L/ha alachlore + 0,4 L/ha atrazine (sur la moitié de la surface, en localisé) 9/5/03 : 1kg/ha Lentagran PM 16/5/03 : 0,6L/ha Banvel 25/05/03 : binage
Traitement pyrale	30/6/03 : 25 kg/ha décis granulé	13/6/03 : trichogramme
Irrigation	8 tours d'eau	8 tours d'eau
Sous semis		25/05/03 : ray-grass 17kg/ha
Récolte et broyage	15/9/03	15/9/03

Rosheim 2005		
Éléments du système	Maïs raisonné	Maïs innovant
Travail du sol	12/12/04 : labour 11/04/05 : herse 14/04/05 : vibroculteur	12/12/04 : labour 11/04/05 : herse 14/04/05 : vibroculteur
Semis	29/04/05 : (var. Brissac) 106700 graines/ha + insecticide du sol Espadon 10 kg/ha	29/04/05 : (var. Brissac) 106700 graines/ha + insecticide du sol Espadon 10 kg/ha
Fertilisation kg/ha	15/11/04 : 750 0-15-30 29/04/05 : 150 18-46 (27N) 5/06/05 : 100 ammonitrate (33,5N) 12/4/05 : 140N NH3 injection total N : 200,5 N	15/11/04 : 750 0-15-30 29/04/05 : 150 18-46 (27N) 5/06/05 : 100 ammonitrate (33,5N) 12/4/05 : 140N NH3 injection total N : 200,5 N
Dés herbage	29/04/05 : sur 50% 4 L/ha trophée + 0,5 L/ha Milagro 18/05/05 : 0,6 L/ha Banvel + 0,2 L/ha isotac 25/05/05 : 1 L/ha Cubix (=Equip) + 0,2 L/ha Banvel + 1,5 L/ha Basamaïs + 0,3 L/ha isotac 20/06/05 : 0,6 L/ha Banvel	29/04/05 : sur 50% 4 L/ha trophée + 0,5 L/ha Milagro 18/05/05 : 0,6 L/ha Banvel + 0,2 L/ha isotac 25/05/05 : 1 L/ha Cubix (=Equip) + 0,2 L/ha Banvel + 1,5 L/ha Basamaïs + 0,3 L/ha isotac 20/06/05 : 0,6 L/ha Banvel 05/06/05 : bineuse
Traitement pyrale	12/07/05 : 25 kg/ha Sherpa granulé	21/06/05 : trichogramme
Irrigation	4 tours d'eau	4 tours d'eau
Sous semis		05/06/05 : mélange ray-grass (33% RGA + 33%RGI + 34% RGH) 15 kg/ha
Récolte	10/10/05	10/10/05

Steinenstadt 2005			
Eléments du système	Mais raisonné	Mais innovant	Pois Innovant p
Travail du sol	19/11/04: labour 25/03/05 : vibroculteur ? 02/05/05 : semoir	02/05/05 : travail du sol et semis combiné fraise 18 cm	09/02/05 : chisel 16/03/05 : herse rotative+ semoir 18/03/05 :Rouleau 28/07/05 chisel (moutarde)
Semis	02/05/05 : var, Dracila 84.000 graines/ha	02/05/05 : var, Nexxos 90.000 graines/ha	16/03/05 var, Santana 730.000 graines/ha
Fertilisation (kg /ha)	29/04/05: 20-11-18-3 + superphosphate+kalimag 60 N + 132 P ₂ O ₅ +114 K ₂ O 13/06/04 : ammonitrate 27 84 N Total N : 144 N	29/04/05: 20-11-18-3 + superphosphate+kalimag : 40 N + 166 P ₂ O ₅ +105 K ₂ O 12/05/04 : solution liquide (procédé CULTAN) 77 N Total N : 117 N +13/06/04 : ammonitrate 27 84 N (erreur)	
Désherbage	10/05/05 1,25 Spectrum plus 2,5 L Stomp 30/05/05 + 0,4 L Banvel*	05/04/05: 2, L Roundup Turbo 24/05/04 0,6 L Callisto + 0,6 L Motivell 30/05/05 + 0,4 L Banvel* 14/06/05 binage	21/03/05 4 L Bandur 15/04/05 1,5 L Fusilade max
Traitement pyrale	23/06/05/ 07/07/05 trichogramme	23/06/05/ 07/07/05 trichogramme	-
Irrigation	-	-	-
Sous semis/CIPAN		17/06/05 ray gras 20 kg/ha	28/07/05 Moutarde résistante au nématode 20 kg /ha avec chisel 28/07/05
Récolte	21/10/05	21/10/05	07/07/05
Broyage			

* sur 50 % de la surface

Viehwegacker 2005			
Eléments du système	Maïs raisonné	Maïs innovant	Pois Innovant p
Travail du sol	22/11/04: labour 25/03/05 : vibroculteur ? 02/05/05 : semoir	02/05/05 : travail du sol et semis combiné fraise 18 cm	17/12/05 : chisel 10/01/05 2 x vibroculteur 16/03/05 : herse rotative+ semoir 18/03/05 : Rouleau 28/07/05 chisel (moutarde
Semis	02/05/05 : var, Dracila 84 000 graines/ha	02/05/05 : var, Nexxos 90.000 graines/ha	16/03/05 var, Santana 730.000 graines/ha
Fertilisation (kg /ha)	02/05/05 : 18-8-13-2 + Maïs Entec * 126 N + 56 P ₂ O ₅ +91 K ₂ O Total N : 126 N	29/04/05: 40 P ₂ O ₅ 03/05/05 et 12/05/05 : solution liquide (procédé CULTAN) 40 N + 82 Total N : 122 N)	
Désherbage	10/05/05 1,25 Spectrum plus 2,5 L Stomp 30/05/05 + 0,4 L Banvel**	05/04/05: 2, L Roundup Turbo 24/05/04 0,6 L Callisto + 0,6 L Motivell 30/05/05 + 0,4 L Banvel** 14/06/05 binage	21/03/05 4 L Bandur 15/04/05 0,075 L Karaté Zéon
Traitement pyrale	23/06/05/ 07/07/05 trichogramme	23/06/05/ 07/07/05 trichogramme	-
Irrigation	-	-	-
Sous semis/CIPAN		17/06/05 ray gras 20 kg/ha	28/07/05 Moutarde résistante au nématode 20 kg /ha
Récolte	21/10/05	21/10/05	07/07/05
Broyage	25/10/05	25/10/05	

* Engrais avec retardateur de nitrification (DMPP, DMPP = 3,4-Dimethyl-Pyrazolphosphat)

** sur 50 % de la surface

ANNEXE 2 : DESCRIPTION DES SOLS

SITE DE ROUFFACH - PROFIL N° 1 (CARBONATE)

Dénomination sommaire

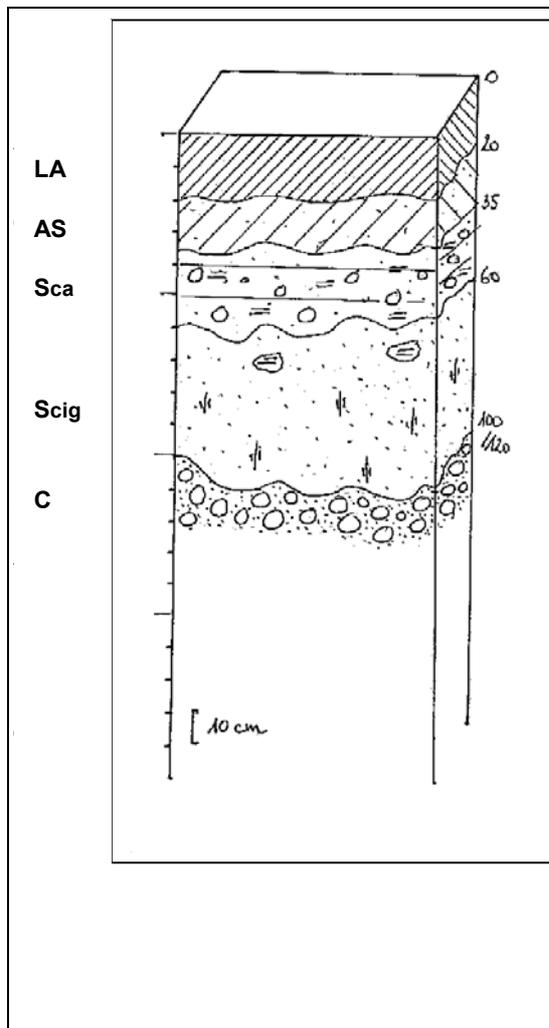
Sol limono-argilo-sableux calcique à calcaire profond faiblement hydromorphe sur alluvions récentes de la vieille Thur.

LOCALISATION DU PROFIL

Rouffach : X = 972,625 - Y = 2340,025

Septembre 2002 - Parcelle en maïs

Auteur : JP.PARTY



DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

Horizon LA (0-20 cm) - Limon argilo-sableux, brun (10 structure polyédrique à grumeleuse (10-20 mm), peu Nombreuses racines.

Horizon AS (20-35 cm) - Limon argilo-sableux, beige structure polyédrique (20-50 mm), compact. Peu de

Horizon Sca (35-60 cm) - Limon sablo-argileux, orangé YR 56), structure polyédrique (20 à 30 mm), compact. peu de racines. Nombreuses taches d'oxydoréduction. Quelques galets.

Horizon Scig (60-100 cm) - Limon sableux, jaune 54), structure continue à particulaire, peu compact. Très de racines. Nombreuses taches rouille.

Horizon C (105-160 cm) - Sable caillouteux, gris jaunâtre (2,5 Y 53).

PROFIL GRANULOMETRIQUE

Profondeur	Hor.	% Cailloux	GRANULOMÉTRIE (%)					MO
------------	------	------------	-------------------	--	--	--	--	----

en cm			S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.	%
0-20	LA	1,7	16,4	15,3	19,8	20,7	25,8	1,7
20-35	AS	1,9	15,2	15,1	19,7	20,8	27,7	1,2
35-60	Sca	6,5	26,6	15,4	20,7	18,5	18,1	0,5
60-100	Scig	0	11,7	24,5	34,3	16,7	12,2	0,2
100-140	C							

P2O5 Olsen de l'horizon LA : 150 ppm - P2O5 Joret-Hébert

PROFIL CHIMIQUE

C/N	CaCO3 %	P2O5	pH	pH	Bases échangeables (meq/100g)
-----	---------	------	----	----	-------------------------------

	total	actif	ppm	eau	KCl	Ca	Mg	K	Na	CEC	
	9,0	0	0	220	7,9	6,9	18,3	1,64	0,36	0,11	14,0
	8,0	0	0	150	7,9	6,7	19,5	1,93	0,36	0,11	14,5
	8,1	13,3	4,6	13	8,5	7,7	45,7	1,54	0,14	0,08	9,0
	8,8	1,5	0	10	8,5	7,6	26,9	0,94	0,11	0,07	6,3

SITE DE ROUFFACH - PROFIL N° 2 (NON CALCAIRE)

Description sommaire

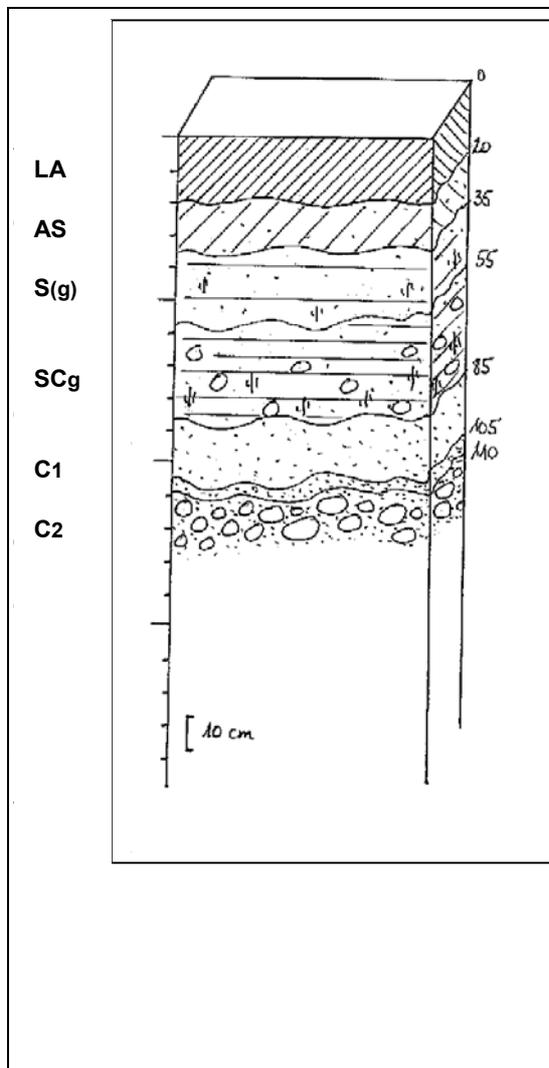
Sol limono-argilo-sableux calcique à calcaire profond faiblement hydromorphe sur alluvions récentes de la vieille Thur.

LOCALISATION DU PROFIL

Rouffach : X = 972,650 - Y = 2340,000

Septembre 2002 - Parcelle en maïs

Auteur : JP.PARTY



DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

Horizon LA (0-20 cm) - Limon sablo-argileux, brun (10 structure polyédrique subanguleuse (10-20 mm), peu Peu de racines.

Horizon AS (20-35 cm) - Limon argilo-sableux, beige structure polyédrique à prismatique (10-50 mm), Racines assez nombreuses.

Horizon S(g) (35-55 cm) - Argile limono-sableuse, 54), structure continue à prismatique (20 à 30 mm), Très peu de racines. Quelques taches d'oxydant-réduction.

Horizon SCg (55-85 cm) - Argile sableuse, brun orangé 56), structure prismatique (20-30 mm), très compact. de racines. Nombreux galets. Quelques taches rouille.

Horizon C1 (85-105 cm) - Sable grossier, gris jaunâtre 2,5 YR 53), structure particulière, peu compact. Très peu de racines.

Horizon C2 (105-140 cm) - Sable caillouteux, gris jaunâtre (2,5 Y 53).

PROFIL GRANULOMETRIQUE

PROFIL CHIMIQUE

Profondeur	Hor.	% Cailloux	GRANULOMETRIE (%)					MO
------------	------	------------	-------------------	--	--	--	--	----

C/N	CaCO3 %	P2O5	pH	pH	Bases échangeables (meq/100g)	S/T
-----	---------	------	----	----	-------------------------------	-----

en cm			S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.	%
0-20	LA	1,1	20,0	15,6	19,3	20,9	22,4	1,6
20-35	AS	4,2	18,3	17,0	18,9	22,4	23,1	1,6
35-55	S(g)	3,1	20,9	15,8	14,4	14,2	33,7	0,8
55-85	SCg	52	36,0	16,8	9,2	10,1	26,9	0,7
85-105	C1	11	62,3	23,7	3,8	2,5	7,1	0,2
105-140	C2	1,1						

	total	actif	ppm	eau	KCl	Ca	Mg	K	Na	CEC	%
	8,6	0	-	210	7,3	6,3	13,7	1,54	0,45	0,10	11,7 Sat.
	8,7	0	-	230	7,6	6,7	14,2	1,69	0,45	0,11	12,2 Sat.
	7,1	0	-	10	7,6	6,0	18,7	2,68	0,28	0,19	14,0 Sat.
	7,1	0	-	10	7,6	6,1	16,5	2,43	0,23	0,18	12,4 Sat.
	6,9	0	-	13	7,7	6,3	5,6	0,79	0,08	0,07	4,7 Sat.

P2O5 Olsen de l'horizon LA : 130 ppm - P2O5 Joret-Hébert

SITE DE NIEDERENTZEN

Description sommaire

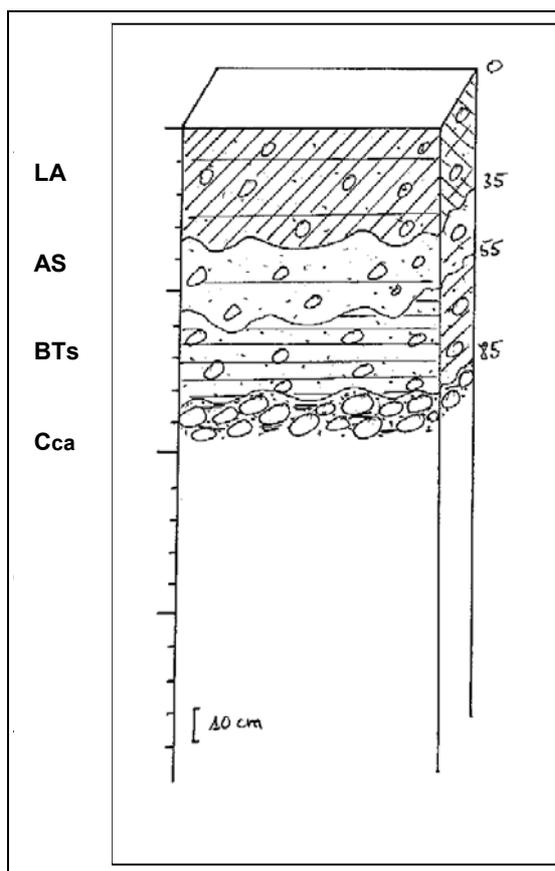
Sol rouge lessivé limono-sablo-argileux à limono-argilo-sableux peu à moyennement profond caillouteux de Hardt rouge.

LOCALISATION DU PROFIL

Niederentzen : X = 980,150 - Y = 2339,325

Novembre 2002 - Parcelle en maïs

Auteur : JP. PARTY



DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

Horizon LA (0-35 cm) - Limon sablo-argileux, beige (10 44), structure polyédrique (5-15 mm), meuble.

racines. Nombreux galets.

Horizon AS (35-55 cm) - Limon sablo-argileux, beige (7,5 YR 56), structure polyédrique (5 mm), peu compact. Nombreuses racines. Nombreux galets.

Horizon BTs (55-85 cm) - Argile limono-sableuse, YR 46), structure polyédrique (5 à 20 mm), peu de racines. Très nombreux galets.

Horizon Cca (> 85 cm) - Galets indurés dans un ciment calcaire gris blanc, ondulé, très compact, affleurant à profondeur par endroit. Pas de racines.

PROFIL GRANULOMETRIQUE

PROFIL CHIMIQUE

Profondeur	Hor.	% Cailloux	GRANULOMETRIE (%)					MO
------------	------	------------	-------------------	--	--	--	--	----

C/N	CaCO3 %	P2O5	pH	pH	Bases échangeables (meq/100g)	
-----	---------	------	----	----	-------------------------------	--

en cm			S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.	%
0-35	LA	42	25,9	25,3	12,7	15,7	18,8	1,6
35-55	E	66	23,5	23,8	12,0	15,8	23,9	0,9
55-80	BT	65	25,7	20,3	7,0	9,9	36,0	1,0
> 80	Cca							

	total	actif	ppm	eau	KCl	Ca	Mg	K	Na	CEC	
	7,6	0	-	360	7,9	-	9,9	0,93	1,85	0,22	9,2
	7,3	0	-	28	7,5	-	9,9	0,86	0,77	0,06	10,1
	7,1	0	-	6	7,6	-	19,6	2,16	0,38	0,19	17,3

P2O5 Olsen de l'horizon LA : 186 ppm - P2O5 Joret-Hébert

ANNEXE 3 : ANALYSES DE SOLS

SITE DE STEINENSTADT

Sol limono-argilo-sableux profond sans irrigation, succession 2000-2002 maïs/blé/maïs avec des apports de fumier de bovin dans le passé (2 km SE d'Auggen).

	Raisonné	Innovant (maïs en 2003)	Innovant (soja en 2003)
Type de sol			
Indice sol (Ackerzahl)	59	59	59
Classe de sol	sL	sL	sL
Texture	limono-argilo-sableux :		
% argile	26,5		
% limon ^a	51,1		
% sable ^a	22,4		
pH (KCl)	6,2	6,1	6,2
Taux mat. organique	2,5	1,8	2,7
P2O5 (mg/100g) ^b	21 C ^c	19 C	19 C
K2O (mg/100g) ^b	28 D	27 D	28 D
MgO (mg/100g) ^b	15 D	14 D	13 D

^a En Allemagne, le % de limon est supérieur à celui en France car portant sur la fraction en mm [0,002-0,063] au lieu de [0,002-0,05]

^b méthode CAL, les valeurs ne peuvent être comparées aux valeurs des analyses françaises

^c classification allemande : A : pauvre, B : moyennement pauvre C : satisfaisant, D : riche, E : très riche

SITE DE VIEHWEGACKER

	Raisonné	Innovant (maïs en 2003)	Innovant (soja en 2003)
Type de sol	Parabraunerde peu profond		
Indice sol (Ackerzahl)	45	45	45
Classe de sol	sL	sL	sL
Texture			
% argile	22,2		
% limon ^a	44,2		
% sable ^a	33,6		
pH (KCl)	5,8	5,8	5,9
Taux mat. organique	1,1	1,2	2,2
P2O5 (mg/100g) ^b	22 C ^b	22 C	24 C
K2O (mg/100g) ^b	32 D	28 D	33 D
MgO (mg/100g) ^b	9 C	8 C	8 C

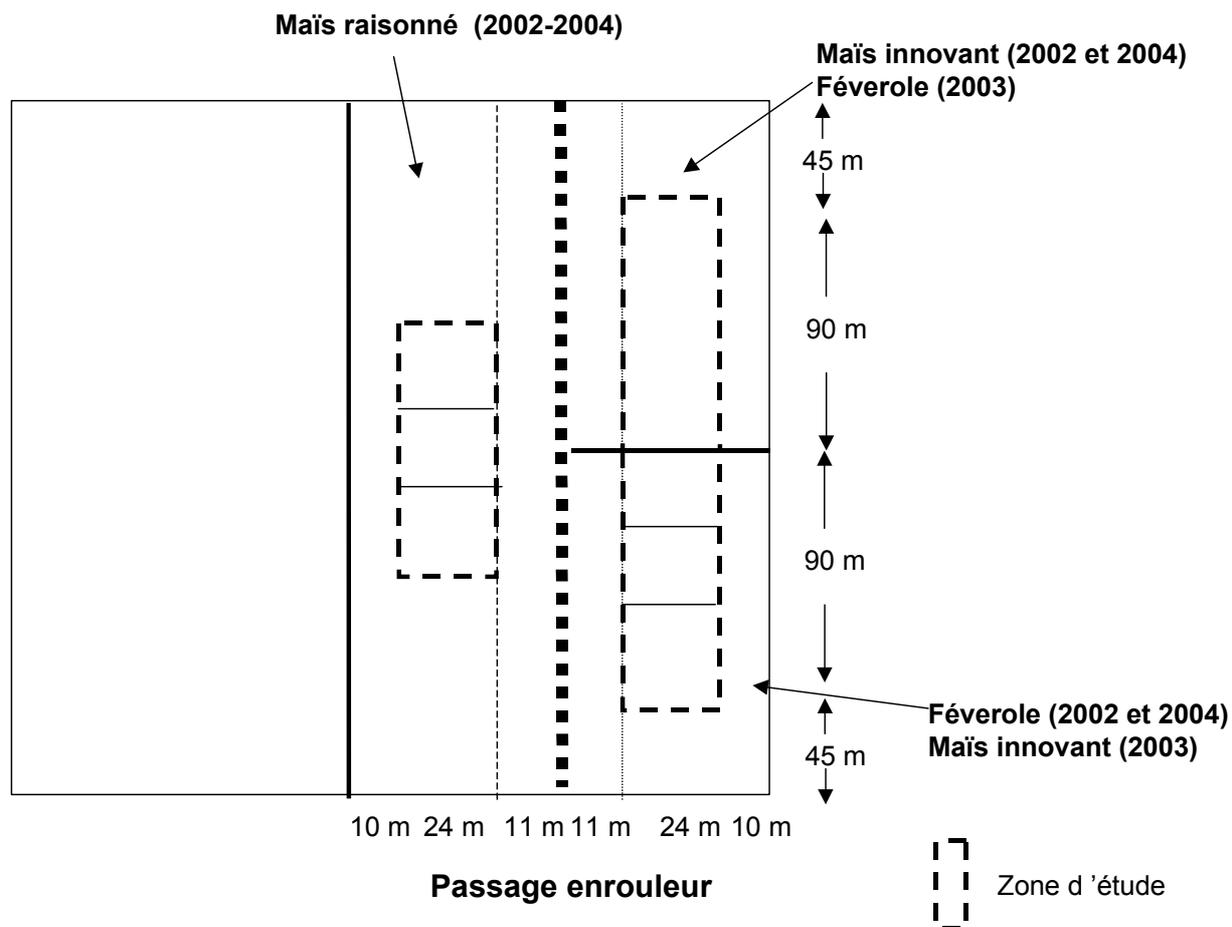
^a En Allemagne, le % de limon est supérieur à celui en France car portant sur la fraction en mm [0,002-0,063] au lieu de [0,002-0,05]

^b méthode CAL, les valeurs ne peuvent être comparées aux valeurs des analyses françaises

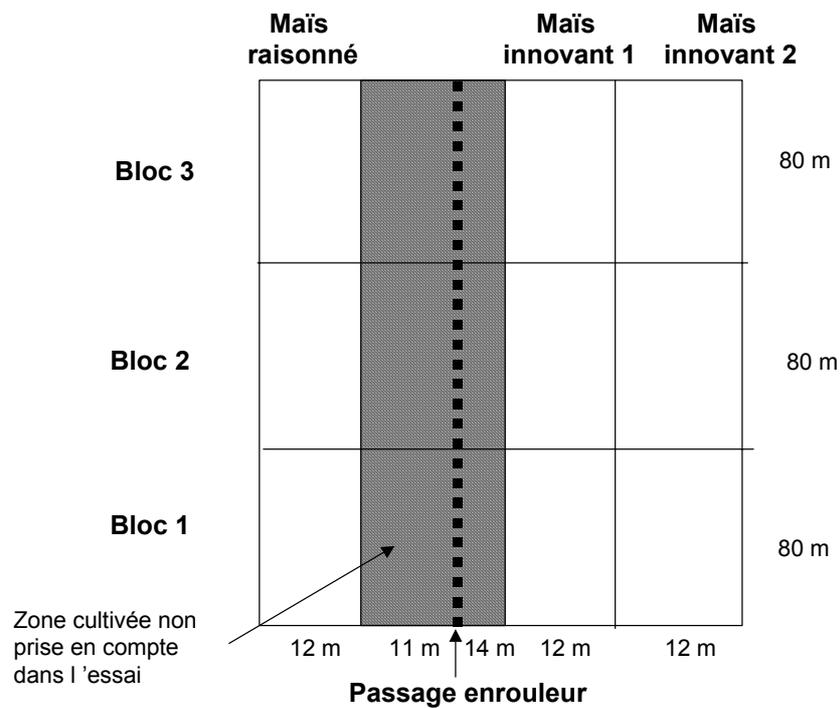
^c classification allemande : A : pauvre, B : moyennement pauvre C : satisfaisant, D : riche, E : très riche

ANNEXE 4 : dispositifs expérimentaux

ROUFFACH

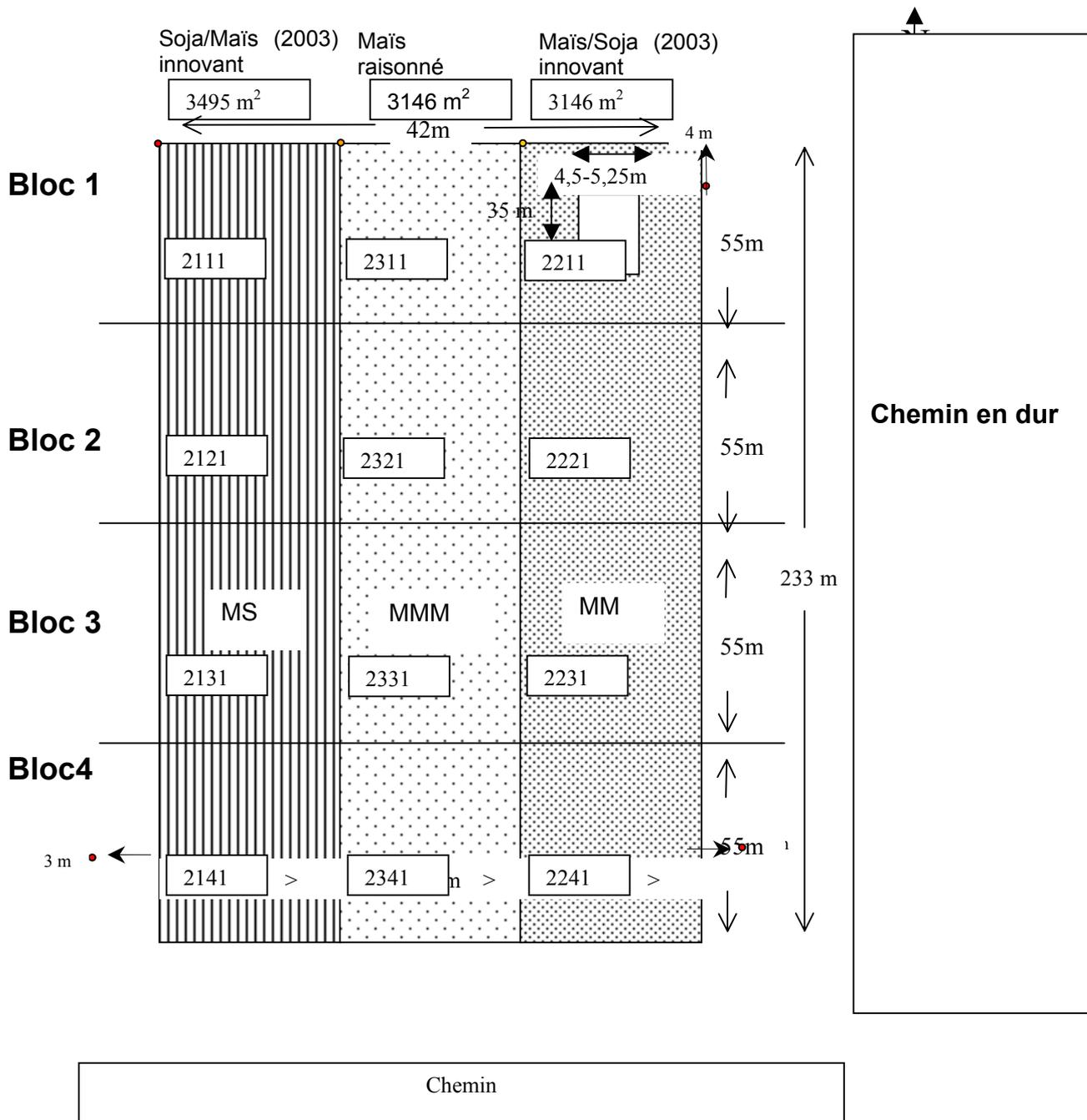


NIEDERENTZEN

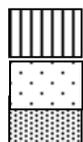


Dispositif expérimental de Viehwegacker (commune de Müllheim)

Année 2003



Légende des traitements (2003) :



MS (Müllheim, Soja) 17 cm écartement entre les rangs
 MMM: (Müllheim, Maïs) 75 cm écartement entre les rangs
 MM: (Müllheim, Maïs innovant) 75 cm écartement entre les rangs

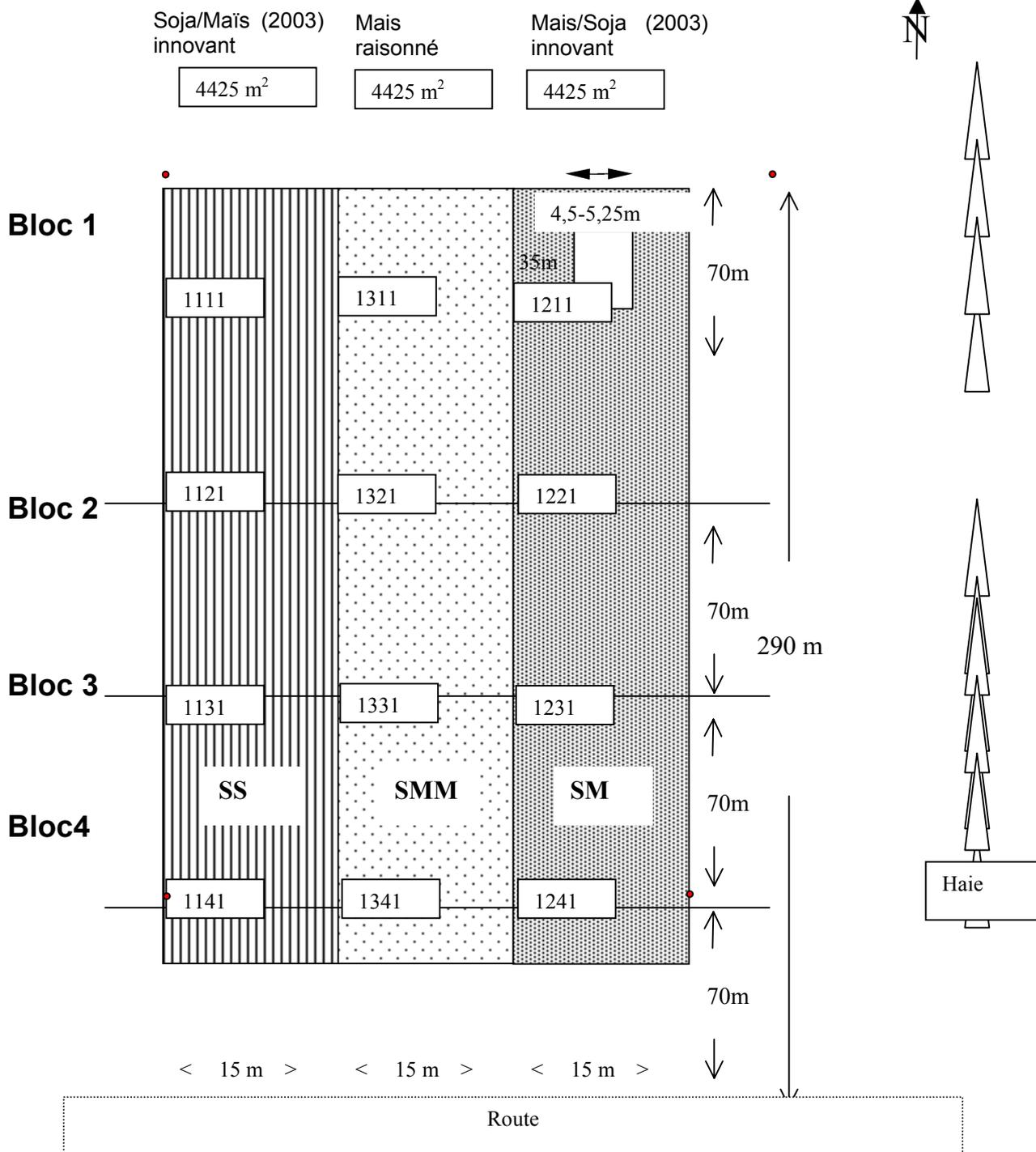
Dispositif expérimental de „SteinStadt“

année culturale 2003 , avec description des parcelles (CODE)

essai comparaison monoculture de maïs et rotation maïs/protéagineux

Dispositif expérimental (descriptif sommaire)

• Point de mesures



Légende des traitements (2003) :



SS (SteinStadt, Soja), 17 cm écartement entre les rangs



SMM: (SteinStadt, Maïs); 75 cm écartement entre les rangs



SM: (SteinStadt, Maïs innovant) 75 cm écartement entre les rangs

Annexe 5

Outil de travail du sol combiné au semoir utilisé pour un semis en bandes fraisées sur les sites allemands et en système innovant 2 à Niederentzen



Annexe 6

Procédé CULTAN

Les optimisations potentielles pour une minimisation des pertes de nitrates peuvent aussi être atteintes par la localisation des fertilisants en quantité adaptée aux besoins de la culture. Dans le cas d'une culture installée à grands écartements telle que le maïs, les engrais N épandus sur toute la largeur ne sont pas bien adaptés pour bien alimenter l'espace racinaire des jeunes plantes qui ne sont au départ que faiblement enracinées. De plus, les adventices présentes ou qui lèveront ensuite sont inutilement fertilisées par les apports en pleine surface et les risques de lessivage en année humide lors la phase juvénile de la culture sont renforcés. Enfin, avec une fertilisation avec de l'urée, les pertes sous forme gazeuse dues à la dénitrification (oxyde nitreux et émissions ammoniacales) sont renforcées.

La fertilisation localisée dans les rangs du semis avec un semis fraisé sur le rang est une solution adaptée pour l'alimentation du maïs dans la phase juvénile. Le semis fraisé sur le rang permet également de combiner un travail du sol réduit avec une bonne alimentation en azote dès le stade juvénile de la culture, car le travail réduit du sol qui possède de nombreux avantages est aussi souvent lié à un réchauffement retardé au printemps indésirable et un développement plus lent du maïs et une minéralisation en azote du sol plus faible.

Dahrmakeerthi et al. (2004) ont pu constater pour différentes techniques de travail du sol (conventionnel et sans labour) en Ontario, que le maïs grain disposait en non labour lors des deux premiers mois de 2,1 à 6,5 kg N de moins dans l'horizon de surface (0-30 cm) qu'après labour. Grâce à des essais d'incubation, ils ont pu montrer de plus que cet effet n'était pas occasionné par une protection physique de l'humus du sol mais s'avérait principalement l'effet d'un réchauffement du sol plus lent.

Différents objectifs innovants ont été visés avec la mise en œuvre de la méthode CULTAN (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) pour la fertilisation azotée du maïs, après qu'en Allemagne, dès 2001, environ 40.000 ha de grandes cultures aient été fertilisés (Sommer et al. 2002).

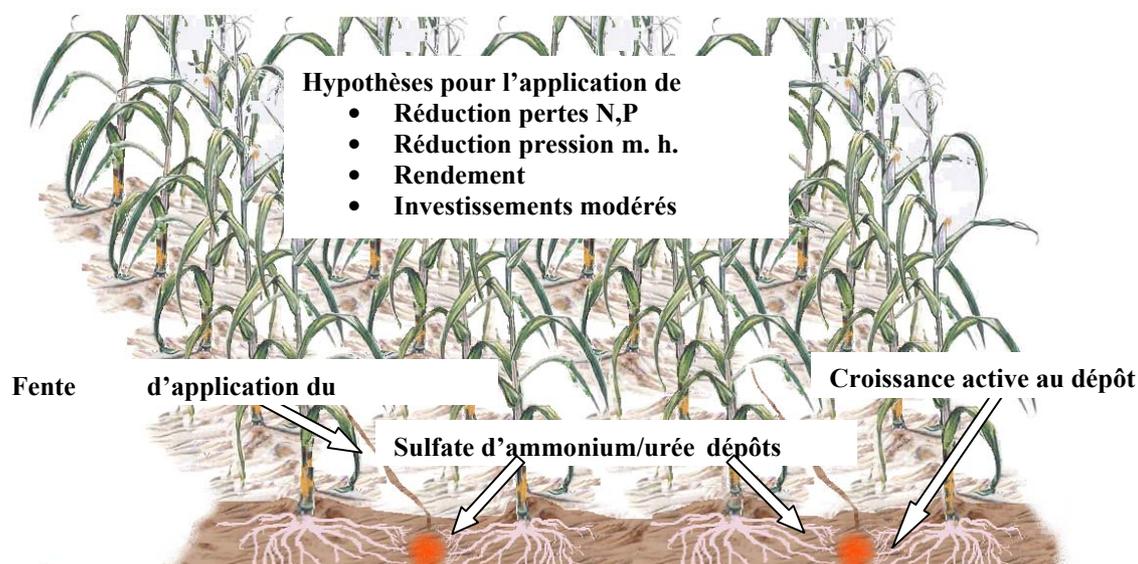
Avec cette méthode qui a été étudiée et développée principalement par l'Institut de l'alimentation des plantes de l'Université de Bonn, l'application dans la culture de maïs a été faite avec fertilisation par dépôt localisé de sulfate d'ammonium. Souvent dans la pratique, on utilise une solution d'urée/sulfate d'ammonium car elle est plus facile à manipuler. Elle est appliquée concentrée au milieu d'un interrang sur deux à une profondeur d'environ 15 cm si possible. Selon les résultats dont on dispose jusqu'à présent, cette technique où l'azote est absorbé par les racines sous sa forme ammonium pour l'élaboration des protéines, permettrait d'atteindre de rendements grains voire supérieurs. Pour ce qui concerne l'efficacité de l'azote, ce procédé permettrait de réduire les pertes d'azote dues à la volatilisation de l'ammoniac et au lessivage de nitrates vers la nappe et/ou la dénitrification. La tenue du maïs (ou résistance à la verse) pourrait être améliorée. On suppose, sans en avoir encore la preuve, que les émissions d'oxydes nitreux, qui sont importantes avec absence de travail du sol et apport en pleine surface, pourraient être réduites (Six et al., 2002). Selon Sommer et al., le degré d'efficacité de l'azote ou du phosphate reste au minimum constant aussi pour des fertilisations renforcées, au contraire des pratiques conventionnelles de fertilisation. Des essais préalables réalisés par l'IfuL (Vetter 2003, Maier, 2006) n'ont pas pu confirmer clairement toutes ces tendances, mais pour ce qui concerne la productivité, la méthode CULTAN s'est montrée toujours aussi performante que la fertilisation traditionnelle. La méthode a donc été introduite comme un élément dans le système innovant. Ceci aussi parce cette technologie, en combinaison avec le semis fraisé sur le rang, offre potentiellement la possibilité de réaliser le travail du sol, le semis et la fertilisation en un seul passage. Grâce à une offre en fertilisant azoté localisée, les mauvaises herbes concurrentes et à levée tardive dans les entre-rangs et à l'enracinement de surface du sol ont été moins « fertilisées » si bien que leur pression diminue. Une faible population de mauvaises herbes (écologiquement souhaitée) serait alors plus facilement tolérable (moindre production de semences) et le concept de réduction des quantités

d'herbicides pourrait être appliqué avec moins de risques. Des adventices mésotrophes écologiquement souhaitées (biodiversité floristique) pourraient s'installer plus facilement. Le renoncement aux applications de fertilisants sur toute la surface pourrait permettre de diminuer les concentrations en sel et en éléments nutritifs de l'horizon de surface ce qui vraisemblablement conduirait à une réduction des pertes en éléments nutritifs par érosion et ruissellement.

Bien que la méthode CULTAN constitue une remise en cause significative des habitudes de la fertilisation des cultures, elle offre au total des perspectives et des potentiels considérables aussi bien sur le plan économique qu'environnemental. La figure suivante illustre la technique avec les hypothèses liées à sa mise en oeuvre.

Figure 7 : technique de fertilisation localisée par dépôt d' N en culture de maïs grain selon la méthode CULTAN (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition)

selon Sommer (2001) ; Sommer et al. (2002).



Selon les expérimentations de GUO et al. (2005), il est très probable que le comportement des plantes de maïs qui cherchent à atteindre les dépôts de fertilisants par une croissance racinaire latérale, varie en fonction des variétés. Ils ont pu constater de grandes différences variétales pour les nitrates en fonction de différentes concentrations d'auxine. Des essais sur l'efficacité variétale de l'utilisation des dépôts de fertilisants azotés seraient donc préconisés pour une large application de la fertilisation localisée du maïs avec la méthode CULTAN.

Une application alternative à CULTAN par exemple de solutions d'urées et d'ammonium, fertilisants ENTEC a été également appliquée par quelques agriculteurs de plus en plus fréquemment, avant tout en production de maïs semences dans la plaine du Rhin afin

a) d'économiser des coûts et du temps de travail par l'abandon d'un passage

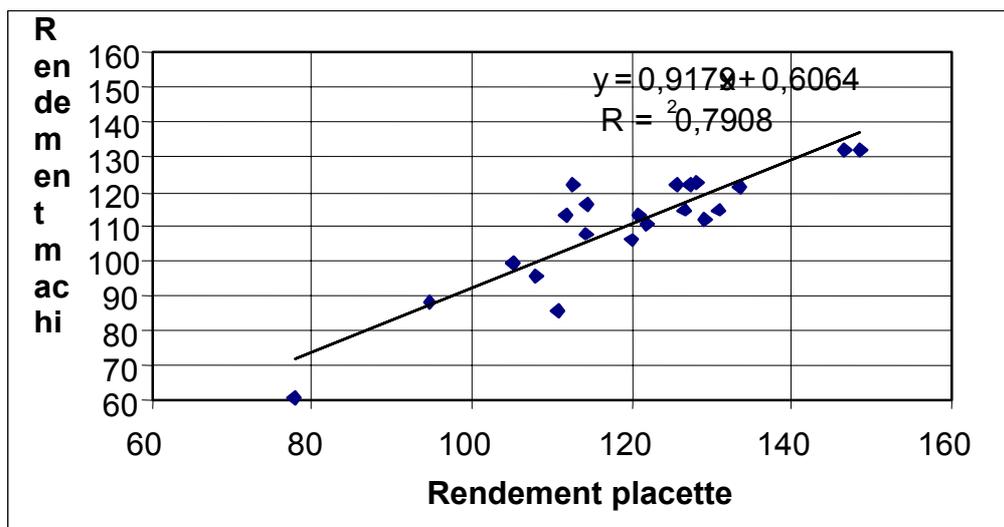
b) et de réduire les risques de lessivage de nitrates pour des quantités d'azote constantes et des rendements maintenus. Avec les fertilisants ENTEC comme par ex. Mais ENTEC (18-8-13-[2+5]) il s'agit de solutions liquides d'engrais minéraux avec de l'azote sous forme de nitrates et d' Ammonium stabilisé, chez qui le 3,4-Diméthylpyrazolphosphat (DMPP) qui n'est pas sensible au lessivage, est ajouté en faible concentration (environ. 0,3 % ou 0.5-1,5 kg/ha) comme inhibiteur de nitrification. Ceci conduit à une nitrification retardé de 4 à 10 semaines de l'azote ammonium de l'engrais. Selon Weiske et al. (2001), en plus de la

réduction du risque de lessivage de nitrates, des réductions significatives d'émissions de gaz à effet de serre sont aussi liées à l'application d'inhibiteur de nitrification. On pourrait même parler d'une efficacité de l'azote renforcée selon Zerulla et al (2001). Ces applications représentent une option économiquement praticable pour la réduction des pertes de nitrates issues des productions végétales, auxquelles doivent se mesurer les pratiques alternatives. C'est pourquoi, sur le site de Viehwegacker, l'agriculteur a été autorisé en 2006 à appliquer cette nouveauté dans ses pratiques culturales également dans la variante « monoculture de maïs conventionnelle ».

Sources bibliographiques :

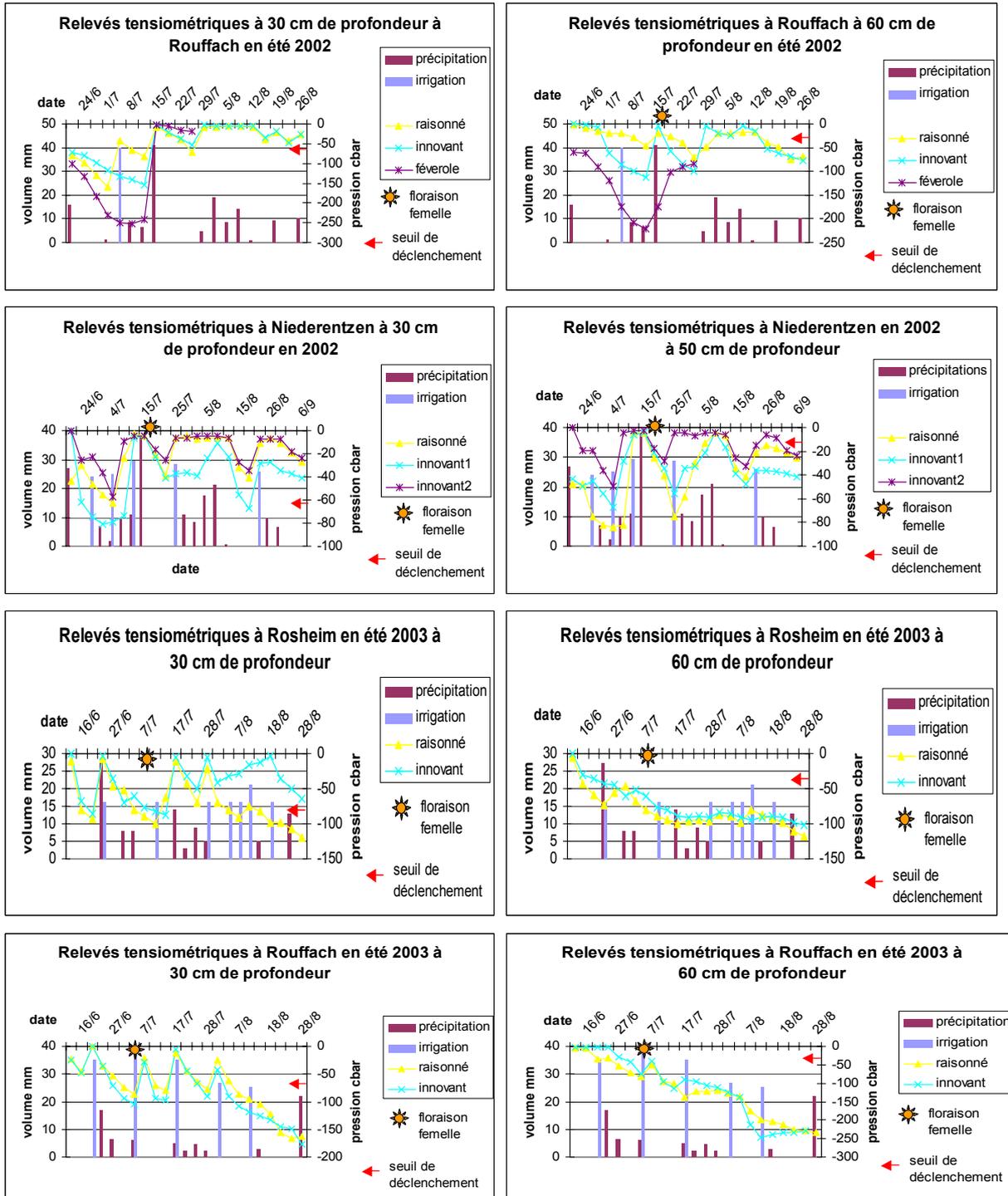
Annexe 7

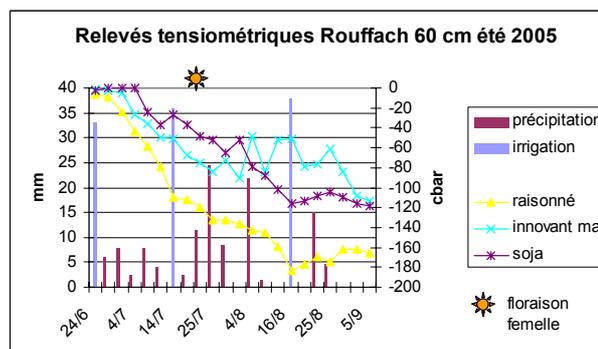
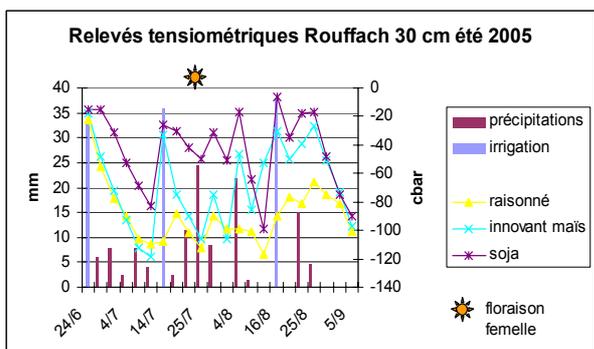
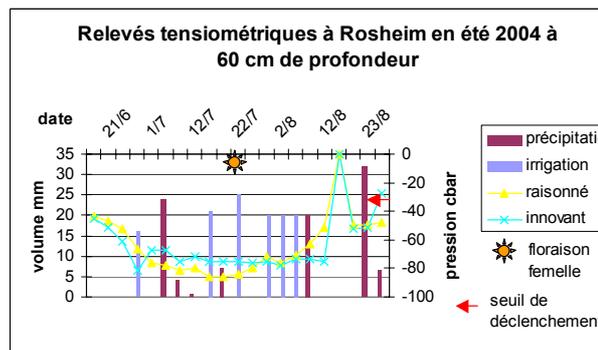
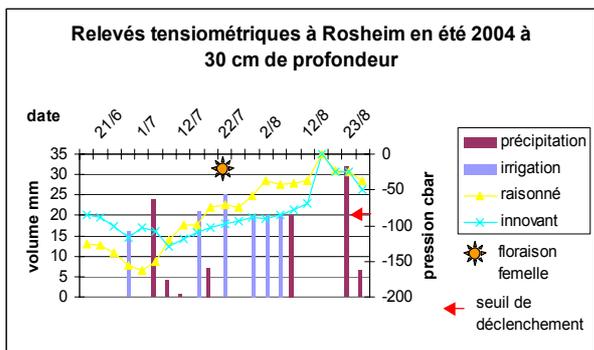
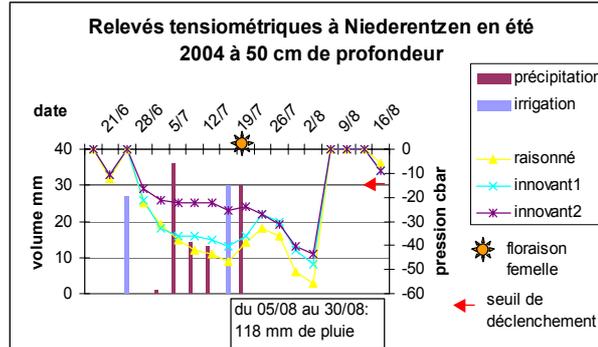
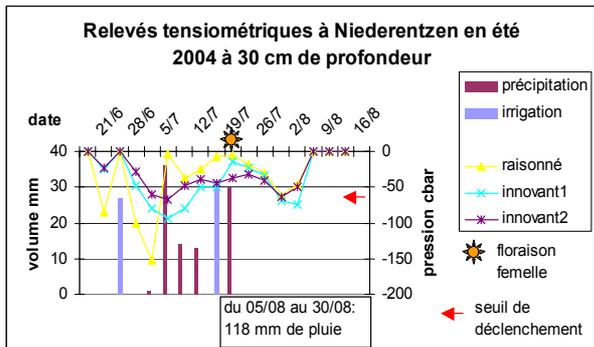
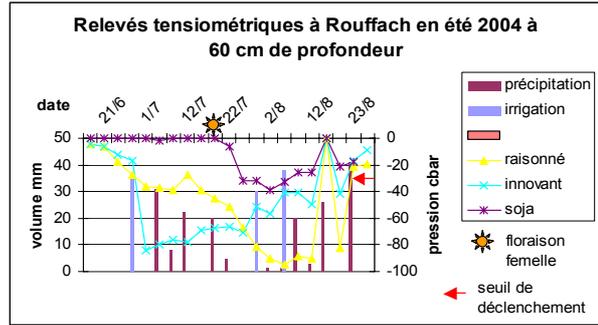
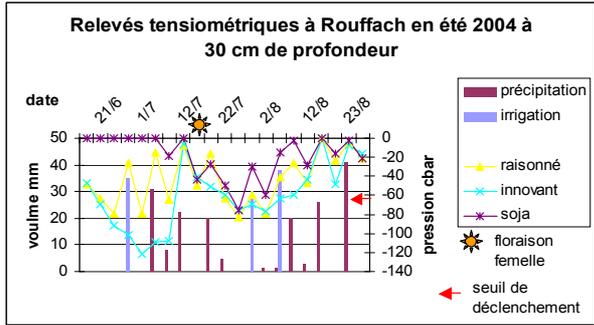
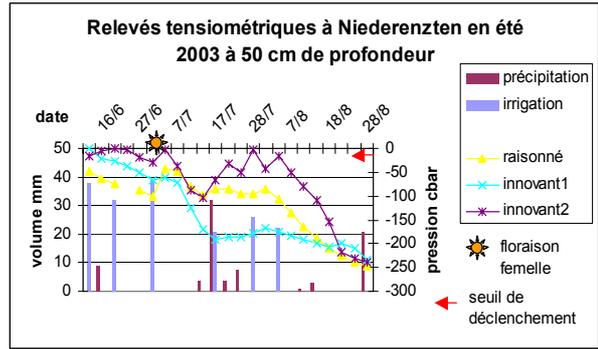
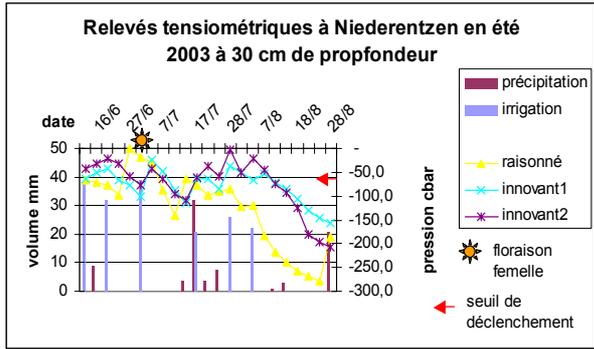
Corrélation rendement machine-placettes sur les sites alsaciens

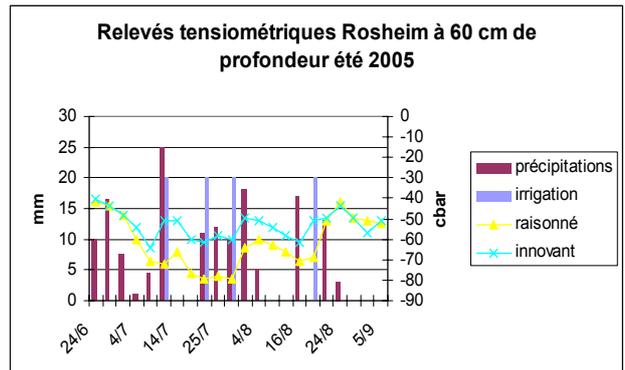
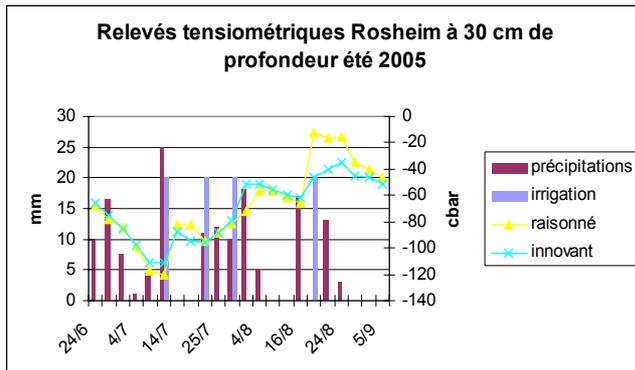
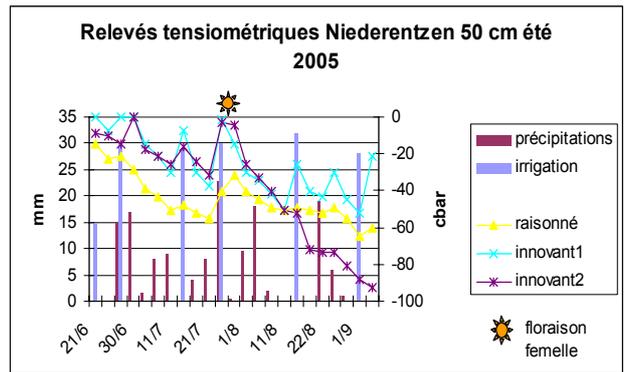
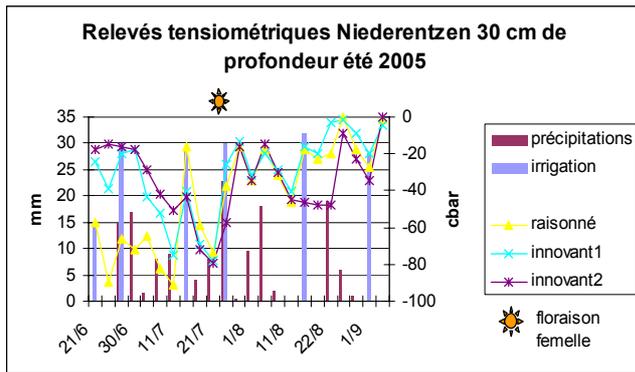


Annexe 8

Détail des suivis tensiométriques sur les sites alsaciens







Annexe 9

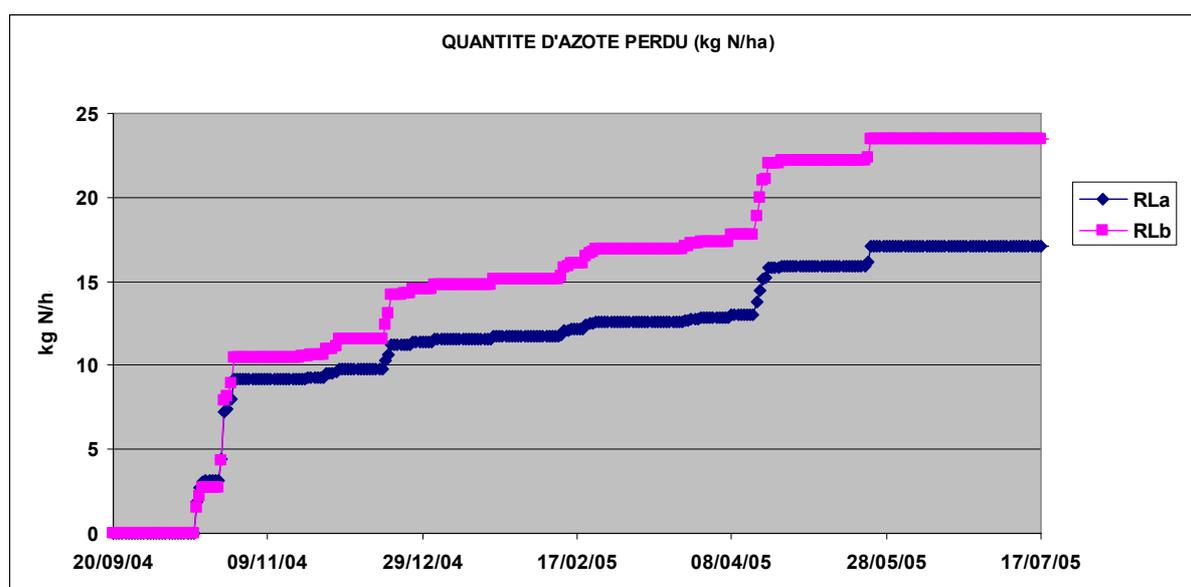
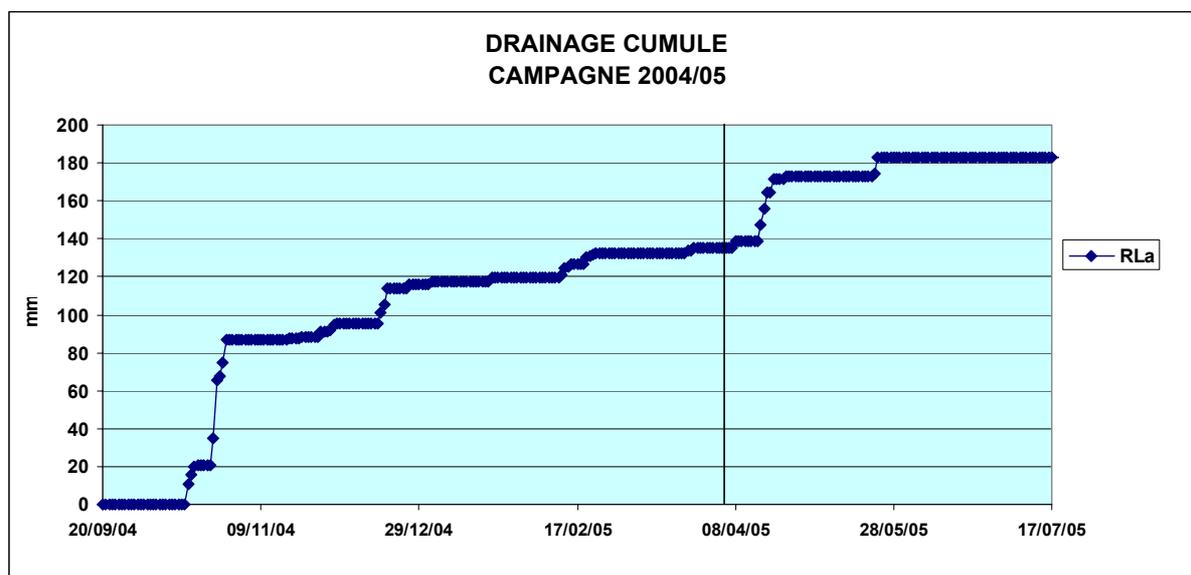
Détail du programme d'irrigation sur le site allemand de Viehwegacker

Maïs			Soja(2003)		
Apports 2003	Dates	Irrigation (mm)	Apports 2003	Dates	Irrigation (mm)
1.	17/18/06.	26,7	1.	17/18/06.	26,7
2.	27/28/06.	26,5	2.	27/28/06.	26,5
3.	9./11/.07	40,7	3.	9./11/.07	40,7
4.	18/ 07.	22,6	4.	18/ 07.	/
5.	4./5/.08.	23,2	5.	4./5/.08.	23,2
Total 2003		139,7			117,1
Apports 2005			Apports 2005 ^a		
1.	22/06.	22		/	
2.	27/ 07.	7		/	
3.	29/07.	21		/	
Total 2005		50			

^a En 2005, la culture de pois n'a pas été irriguée

Annexe 10

Exemple de résultats obtenus avec les bougies poreuses mises en place par l'ARAA sur le site de Rouffach (Burtin et Rapp, 2005)

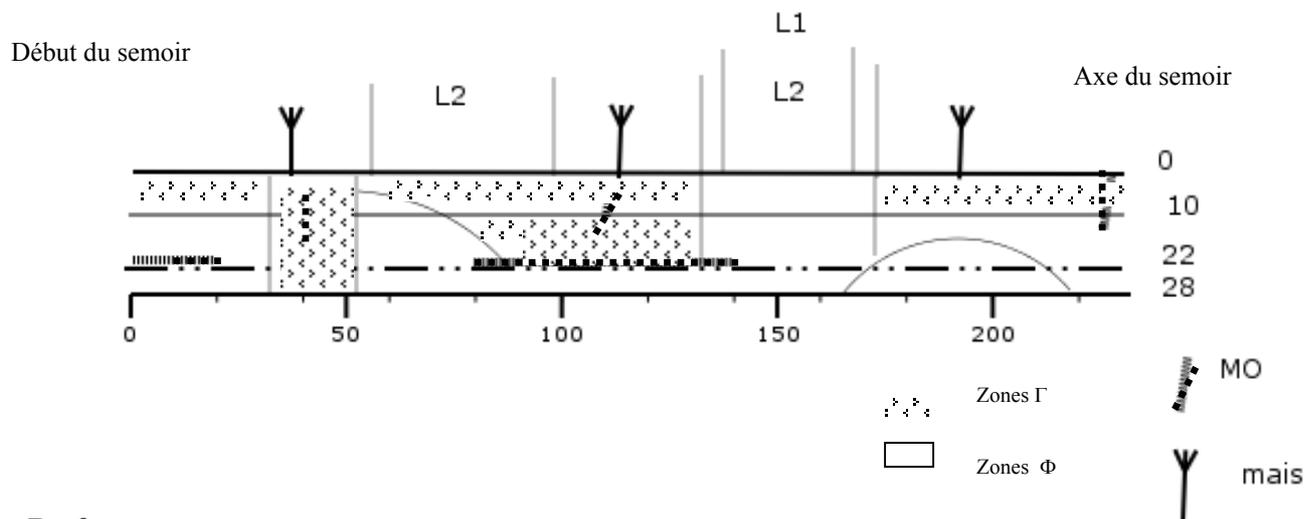


Annexe 11

Description détaillée des profils culturaux en 2005

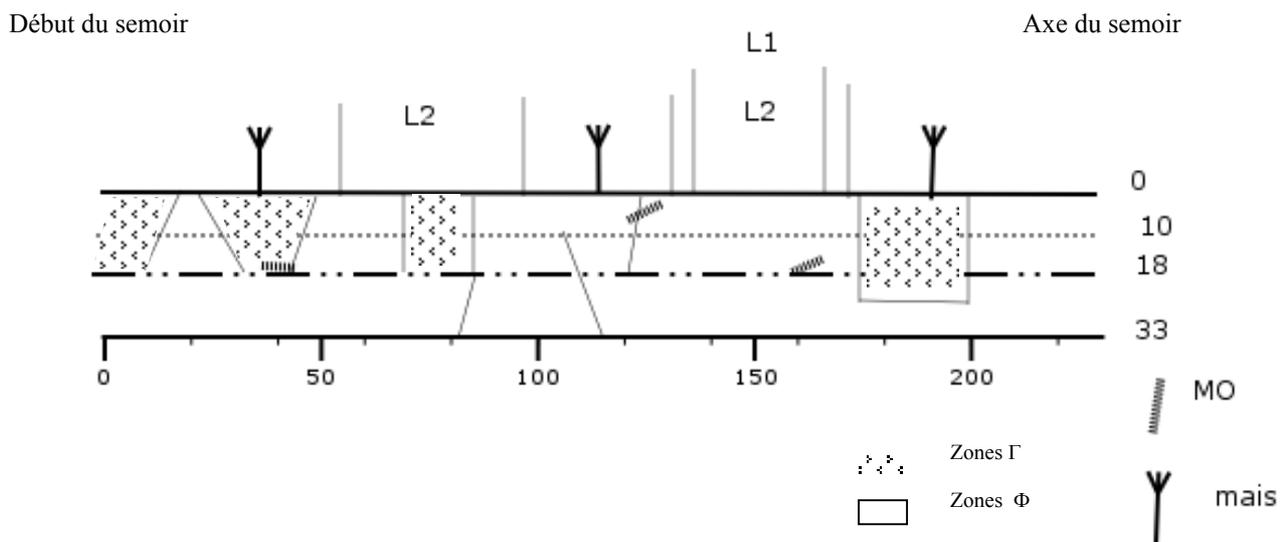
Profil cultural Niederentzen Raisoné, 3 août 2005 : L1 : roue du binage L2 : roue du semis, roue jumelée du semis

(les limites grises symbolisent des changements de structure de mottes : de massifs à soudés difficilement discernables, soudés facilement discernables à fragmentaires)



Profil cultural Niederentzen innovant 1, 3 août 2005 :

L1 : pneu du binage L2 : pneu du tracteur au semis



Profil cultural Niederentzen innovant 2, 3 août 2005 :

L1 : zone travaillée au semis L2 : pneu du tracteur au semis

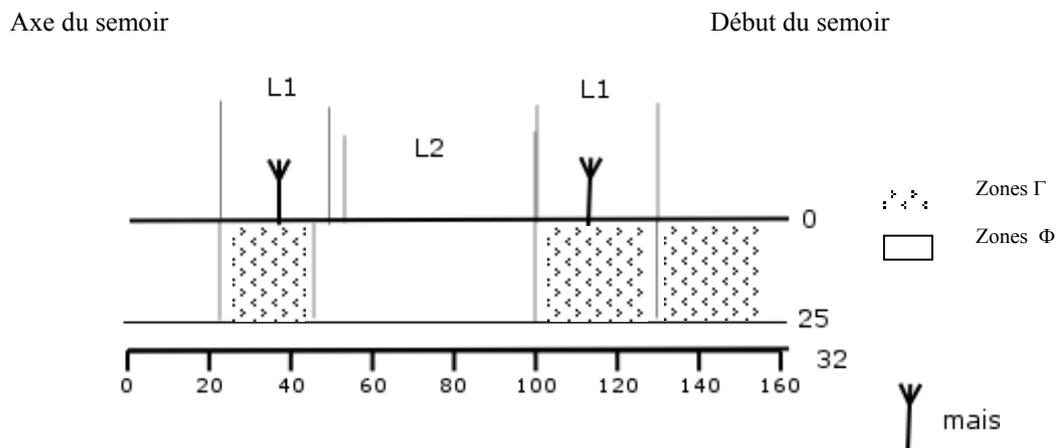


Schéma du profil cultural sous maïs raisonné à Rouffach en 2005

L1 : roue du binage, hors profil ; L2 : roue du semoir ; En surface (>0) : terre fine
 (les limites grises symbolisent des changement de structure de mottes : de massif à soudés difficilement discernables, soudés facilement discernables à fragmentaires)

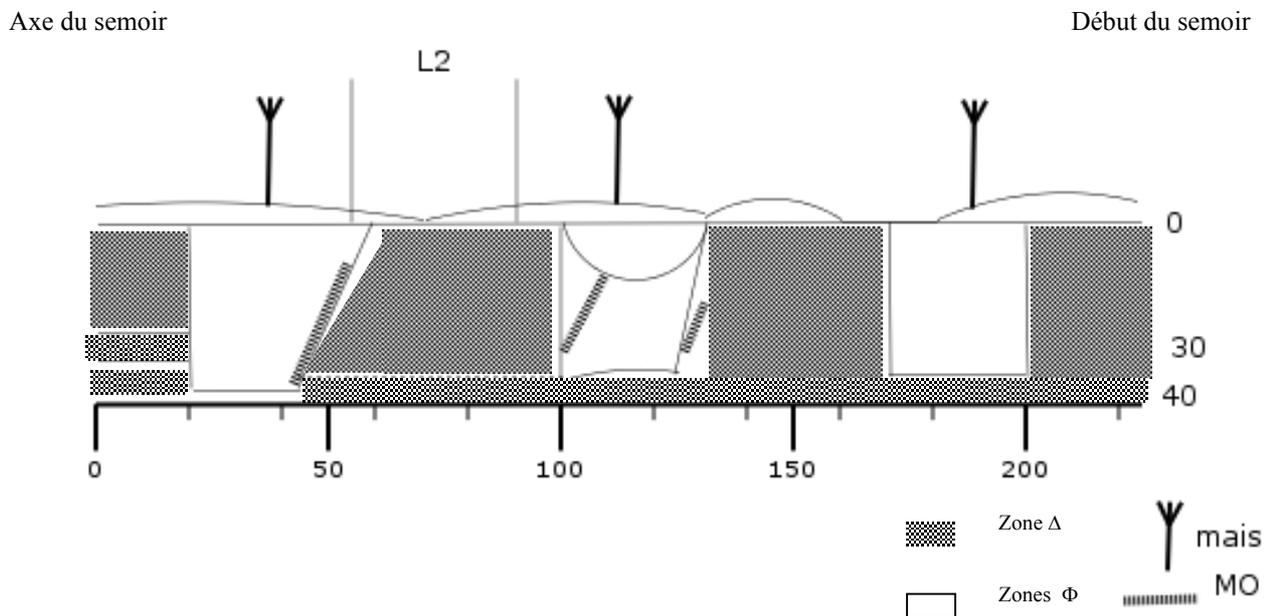
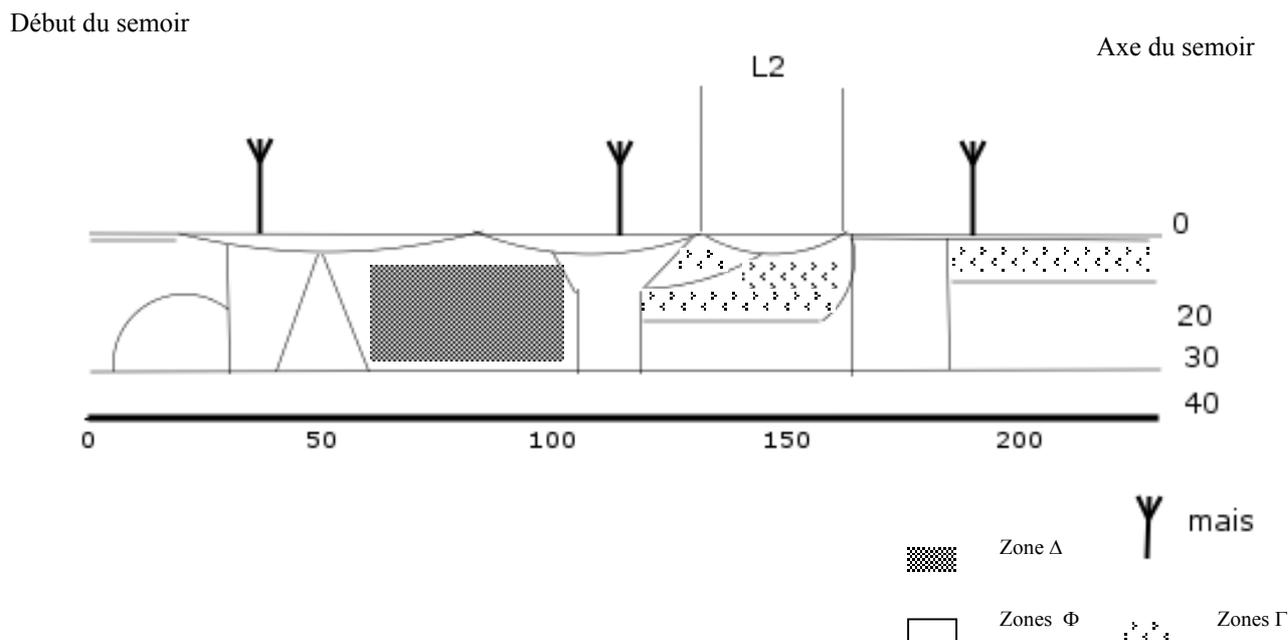


Schéma du profil cultural sous maïs innovant à Rouffach en 2005

L1 : roue du binage, pas de trace ; L2 : roue du semoir ; En surface : terre fine



Annexe 12

Principaux événements transfrontaliers du projet

DATES	TYPE	SUJET	LIEU
28.02.2003	Projekttreffen	Erstes Treffen ITADA 03	Colmar
11.03.2003	Besprechung	Anlage von Versuchsflächen	Viehwegacker und Steinstadt
18.03.2003	Projekttreffen	Zweites Treffen ITADA 03	Müllheim
22.05.2003	Besprechung	Feldbegehung und Besichtigung Versuche mit Projektleitung	Rouffach (F), Niederenzen(F), SteinStadt (D), und Müllheim(D)
25.11.2003	Projekttreffen	Besichtigung der Feldversuche ITADA 03 in D und F	SteinStadt, Viehwegacker, Niederentzen, Rouffach, Rosheim
18.03.2004	Projekttreffen	Projektbesprechung ITADA 03 französischer und deutscher Projektpartner	Agentur ANNA , Müllheim
31.03.2004	Tagung	Techniques Culturelles sans Labour, impacts économiques et environnementaux	Paris, Ministère de l'écologie et du développement durable
06.04.2004	Projektvorstellung	Projektvorstellung (D) und Diskussion (Ergebnisse 2003 und Planungen 2004)	Chambre d'Agriculture, St Croix /Elsass
15.04.2004	Besprechung	Besichtigung Reihenfräsaatmaschine mit Herrn Aimé Blatz / UMR INPL - INRA	Stegen Breitehof 1
25.05.2004	Feldbesichtigung	Öffentliche Rundfahrt Feldversuchsbesichtigung ITADA 03	Standorte im Elsass und in Baden
09.06.2004	Feldbesichtigung	Grenzüberschreitende Rundfahrt zu Versuchen des ITADA	Rouffach, Niederenzen, SteinStadt (D), Geisspitzten
16.09.2004	Tagung	ITADA Workshop Betriebliches Umweltmanagement in der Landwirtschaft.	Weil am Rhein
29.09.2004	Besprechung	Berechnungen mit dem LIXIM Modell, Indigo Anwendung, Vorbereitung Technisches Komitee	Colmar INRA
05.10.2004	Vortrag	Sitzung des Technischen Komitees InterReg III/ ITADA	IfuL, Müllheim
23.03.2005		Feldbesichtigung	Feldbesichtigung und Besprechung Versuchsführung ITADA 03
08.06.2005	Feldbesichtigung	Öffentliche Rundfahrt Feldversuchsbesichtigung ITADA 03	Standorte im Elsass und in Baden
14.07.2005		Feldbesichtigung	Führung der Fachschule für Landwirtschaft Emmendingen im Versuch Viehwegacker
08.09.2005		Feldbesichtigung	Feldtag zu Körnermais der Chambre d' Agriculture Haut- Rhin
12.09.2005		Feldbesichtigung	Maisinformationsfahrt des RP- Freiburg
18.10.2005	Vortrag	Sitzung des Technischen Komitees InterReg III/ ITADA	IfuL, Müllheim



Ce projet est cofinancé par l'Union Européenne
Dieses Projekt wird von der Europäischen Union kofinanziert
(Programme INTERREG - Fonds européen de développement régional)
(INTERREG-Programm - Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)