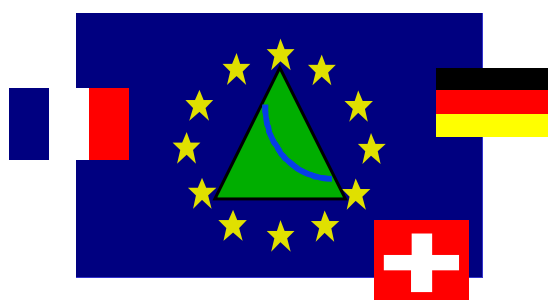


ITADA

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



ELABORATION D'OUTILS COMMUNS DE VULGARISATION POUR LES OPERATIONS DE CONSEIL AUX AGRICULTEURS

Partie 2 : "introduction d'une culture intermédiaire après maïs"

RAPPORT FINAL DU PROJET B 4 (1996-1999)

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

ITADA

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

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

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

Le projet B 4

ELABORATION D'OUTILS COMMUNS DE VULGARISATION POUR LES OPERATIONS DE CONSEIL AUX AGRICULTEURS

Partie 2 : "introduction d'une culture intermédiaire après maïs"

a été réalisé par :

R. KOLLER (ARAA) : chef de projet

F

R. VETTER (IfuL) : partenaire

D

Organismes associés : ITCF, AGPM, SUAD du Haut-Rhin et du Bas-Rhin
LEL, LAP, RPFR

Association pour la Relance Agronomique en Alsace, Schiltigheim (ARAA)

Institut für umweltgerechte Landwirtschaft, Müllheim (IfuL)

ITADA Projet B 4 - 1996-1999

PARTIE 2

INTRODUCTION D'UNE CULTURE INTERMEDIAIRE APRES MAIS ET AVANT CULTURE DE PRINTEMPS AFIN DE DIMINUER LE RISQUE DE LESSIVAGE DES NITRATES

SYNTHESE DE RESULTATS D'EXPERIMENTATIONS 1988-1999
réalisée dans le cadre du programme ITADA -
rédaction : Aurélie Gobillot, Hervé Clinkspoor et Rémi Koller (ARAA)
Août 1999

AVANT PROPOS

Cette synthèse a été réalisée par l'ARAA à partir des résultats recueillis depuis 1988 par de nombreuses expérimentations conduites en Alsace et en Pays de Bade.

Les organismes réalisateurs d'essais étaient

- pour la France, l'AGPM, les Chambres départementales du Bas-Rhin et du Haut-Rhin, l'ITCF, les Lycées agricoles d'Obernai et de Rouffach
- pour l'Allemagne : l'IfuL et le Regierungspräsidium Freiburg.

Nous tenons à les remercier de leur collaboration pour l'accès aux données, parfois déjà anciennes, et aux informations nécessaires à leur interprétation.

Les difficultés et les incertitudes que les auteurs expriment dans les discussions présentées dans ce rapport illustrent la sensibilité des techniques aux conditions de milieu dans lesquelles elles sont mises en œuvre et la variabilité des résultats agronomiques et environnementaux auxquelles elles conduisent.

Néanmoins, des conclusions de portée générale sur les performances et les limites des cultures intermédiaires après maïs, dans le contexte régional ont pu être dégagées, qui conduisent à présenter cette technique comme un des outils disponible pour la maîtrise des fuites de nitrates d'origine agricole, sans qu'on puisse prétendre qu'elle constitue une solution universelle et totalement sûre.

SOMMAIRE

1. Le problème posé : les sols nus en hiver derrière maïs	4
1.1 L'automne et le risque de lessivage	4
1.2 Les propositions du cadre de bonne pratique agricole en France	4
1.3 La situation en Alsace	5
1.3 bis La situation dans le Land de Bade-Wurtemberg	5
1.4 La recherche d'une alternative : l'introduction d'une culture intermédiaire	5
1.4 bis La situation réglementaire dans le Land de Bade-Wurtemberg	6
2. L'exploitation des résultats disponibles	6
2.1 Etat des données disponibles	6
2.2 L'introduction d'une nouvelle technique	7
3. Le semis sous couvert	8
3.1 Le modèle de croissance potentielle du ray-grass	8
3.2 Les résultats d'essais	12
321 Atteint-on le potentiel de croissance ?	14
322 Les causes de l'échec du ray-grass	17
3.3 La confrontation des résultats à la bibliographie	22
3.4 Les limites d'efficacité du semis sous-couvert	24
3.5 Questions économiques : les coûts de la technique	24
4. Le semis post-récolte	26
41 Le modèle de croissance	26
411 Le cas d'une céréale	26
412 Le cas d'une crucifère	27
42 La confrontation aux résultats	30
421 Atteint-on le potentiel ?	30
422 Les causes de mauvaise efficacité	30
423 Les effets sur les résultats azotés	31
43 La confrontation des résultats à la bibliographie	31
44 Les limites d'efficacité du semis post-récolte	32
45 Questions économiques	32
5. Conclusion	33
51 Résultat global de l'étude	33
52 Bilan des points forts et faibles	34
Résumé	36
Publications référencées	40
Annexes	41

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1, page 10 Calcul de l'azote prélevé par le RGI plante entière en conditions non limitantes depuis la récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation
- Tableau 2, page 13 Description des essais de semis sous couvert réalisés en Alsace de 1988 à 1998
- Tableau 3, page 16 Analyse des essais en Alsace de 1988 à 1998
- Tableau 4, page 21 Synthèse des différentes expérimentations de semis sous couvert, réalisées en Pays de Bade de 1996 à 1997
- Tableau 5, page 29 Résultats de semis post-récolte

LISTE DES FIGURES

- Figure 1, page 9 Production de biomasse des parties aériennes d'un RGI en conditions non limitantes
- Figure 2, page 11 Absorption théorique d'azote par un RGI plante entière en fonction des dates de récolte du maïs
- Figure 3, page 14 Croissance d'un RGI en conditions d'essais aux champs
- Figure 4 page 22 Parcelles du Dreisamtal : biomasse aérienne et azote prélevé
- Figure 5, page 27 Production de biomasse aérienne d'une céréale en conditions non limitantes
- Figure 6, page 28 Biomasse aérienne produite par une crucifère en conditions d'essais alsaciens

INTRODUCTION D'UNE CULTURE INTERMEDIAIRE APRES MAIS ET AVANT CULTURE DE PRINTEMPS AFIN DE DIMINUER LE RISQUE DE LESSIVAGE DES NITRATES

SYNTHESE DE RESULTATS D'EXPERIMENTATIONS 1988 - 1998

1. LE PROBLEME POSE : les sols nus en hiver derrière maïs

Face à la pollution des eaux souterraines par les nitrates d'origine agricole, la culture de maïs est régulièrement mise au banc des accusés car elle laisse le sol nu pendant l'hiver et ferait encore l'objet de surfertilisation fréquente, à l'origine de l'entraînement de nitrates en profondeur. Si la surfertilisation peut être réduite par l'adoption de doses raisonnées de fertilisants azotés, la question de l'interculture maïs-maïs reste posée.

1.1. L'automne et le risque de lessivage

L'automne est une période au cours de laquelle la conjonction de deux phénomènes contribue à faire apparaître un risque de lessivage de nitrates :

- forte minéralisation dans les sols, avec enrichissement des sols en nitrates.
- apparition d'un bilan climatique excédentaire (pluies > évapotranspiration potentielle -ETP-), et retour progressif à une situation de drainage des sols.

Le risque de lessivage se trouve encore aggravé par :

- l'absence de couvert végétal en automne : tous les nitrates présents dans le sol sont alors disponibles pour le lessivage,
- des reliquats élevés après récolte liés à un excédent de fertilisation si la disponibilité en azote minéral a été excessive par rapport aux besoins globaux de la culture.

1.2. Les propositions du code des bonnes pratiques agricoles en France

❖ Fertilisation :

- Pour contrôler au mieux la fuite d'éléments nutritifs vers les eaux, il faut éviter la situation de surfertilisation. Pour ce faire, il convient d'assurer l'équilibre entre les besoins de la culture, les fournitures par le sol et la fertilisation.

❖ Interculture :

- La gestion d'une culture dans un système de cultures peut-être plus ou moins source de pollution, selon la longueur de l'interculture qui la précède ou de celle qui la suit et la nature et l'importance des reliquats qu'elle laisse après récolte.

❖ Automne :

- Tout système laissant le sol nu en hiver constitue un facteur de risque important.

Pour réagir face à ces constatations, l'arrêté préfectoral interdépartemental du 26 septembre 1997, du code des bonnes pratiques agricoles recommande, chaque fois que cela est possible pour les systèmes de cultures annuelles, d'installer des cultures intermédiaires pièges à nitrates derrière les cultures laissant un sol nu et riche en azote minéral pendant de longues périodes pluvieuses.

1.3. La situation en Alsace

La culture de maïs (grain + fourrage) en Alsace a atteint 46 % de la SAU en 1997.

La monoculture de maïs occupe une place importante dans les exploitations d'Alsace. La durée de l'interculture dans le cas d'une monoculture ou d'une succession par une culture de printemps (tabac, choux, betteraves sucrières...) représente 50 % du temps d'occupation des sols (environ six mois). Pendant cette période (octobre à avril) le sol n'est pas couvert par une culture ce qui est propice au lessivage des nitrates.

Dans une partie de l'Alsace, le maïs s'est généralisé dans des sols peu profonds (ex : Hardt) dotés de faibles réserves utiles (RU), ce qui les prédispose à un lessivage précoce à l'automne.

Les actions FERTI-MIEUX menées en Alsace proposent notamment une méthode pour équilibrer la fertilisation azotée par l'ajustement de la dose de fertilisants aux besoins de la culture. Elles visent ainsi la diminution des reliquats azotés après la récolte.

Cependant les conditions climatiques ne permettent pas toujours à la culture d'exprimer tout son potentiel et peuvent occasionner des bilans azotés excédentaires alors extrêmement favorables aux lessivages des nitrates.

1.3. bis La situation dans le Land du Bade-Wurtemberg

Les conditions pédoclimatiques de la plaine rhénane du sud du Bade-Wurtemberg sont proches de celle de l'Alsace à la différence que la pluviométrie est plus élevée du côté allemand, ce qui renforce encore les risques potentiels de lessivage.

Le maïs grain occupe en Bade-Wurtemberg environ 57 000 ha (1997), soit 7 % de la SAU, mais est plus concentré dans la plaine du Rhin : 28 220 ha sur le secteur du Regierungspraesidium de Freiburg (RPFR), soit 19 % de la SAU.

Le maïs fourrage occupe lui respectivement 75 000 ha en B.W. et 13 000 ha dans le RPFR, soit 9 % de la SAU. Au total, la culture du maïs occupe 28 % de la SAU du RPFR.

1.4. La recherche d'une alternative au sol nu : l'introduction d'une culture intermédiaire

Pour remédier au surplus de nitrate présent à la récolte du maïs et disponible pour un éventuel entraînement en profondeur par les pluies drainantes, une des recommandations proposée par le CBPA est la mise en place d'un couvert végétal pendant la période hivernale.

Mais peut-on, de façon réaliste pour les conditions alsaciennes et plus généralement du fossé rhénan, proposer des techniques de culture intermédiaire comme piège à nitrates entre deux cultures de printemps récoltées à la fin de l'été ou au début de l'automne ?

Dans le cas d'une culture de maïs, deux modalités d'approche sont envisageables pour l'implantation de cette culture intermédiaire : **le semis sous couvert** ou **le semis après la récolte**.

Ce thème a fait l'objet de travaux d'expérimentations ou de démonstrations depuis 10 ans en Alsace alors qu'il a été travaillé dès (...) en Land de Bade Wurtemberg. Plus de la moitié des essais alsaciens ont été réalisés dans le cadre des programmes ITADA (16 sites d'essais sur 30) engagées depuis 1994.

Un site d'essais correspond à un lieu pour une année donnée. Il peut cependant y avoir plusieurs résultats issus d'un même site (qui diffèrent par certaines modalités d'expérimentations) sur un

même site. Ainsi 71 résultats ont été répertoriés sur 31 sites dans le Rhin Supérieur de 1988 à 1998. Il est important de remarquer que l'année 1996 comptabilise 18 résultats de semis sous-couvert à elle seule et influence particulièrement sur les conclusions. De même, la répartition des essais sur le territoire n'a pas de vocation particulièrement représentative de la situation actuelle du maïs dans le Rhin Supérieur (détail des lieux en annexe 1).

La présente synthèse a pour objectif de faire le point, à partir des essais réalisés ces dernières années dans la plaine d'Alsace et le Pays de Bade, sur la fiabilité de ces techniques au plan agronomique et sur leur efficacité environnementale. Pour ce faire, on a cherché à également resituer ces résultats vis à vis de ceux issus de travaux conduits chez d'autres pays et de leurs conclusions.

1.4. bis La situation réglementaire dans le Land du Bade-Wurtemberg

La loi Schalvo qui concerne plus de 20 % de la SAU, impose le semis d'une culture intermédiaire dans les zones de captage des eaux (Wasserschutzgebiet) pour éviter le sol nu en hiver après la récolte du maïs.

Dans le cadre des mesures agro-environnementales proposées par le programme MEKA, une compensation de 73,17 Euros / ha (480 FF/ha) est attribuée aux exploitants agricoles qui souscrivent à la mise en place d'une culture intermédiaire.

Malgré cette incitation financière, une minorité d'agriculteurs pratiquent la technique de semis (sous couvert ou de post-récolte) d'une culture intermédiaire derrière maïs. En effet, cela représentait en 1996 à peine 5 % (environ 3000 ha) des surfaces cultivées en maïs ensilage et un peu plus de 10 % (environ 5000 ha) pour le maïs grain (source Land info 2/97).

2. L'EXPLOITATION DES ESSAIS DISPONIBLES

2.1 Etats des données disponibles

Le travail de recherche des références disponibles a été conduit par l'A.R.A.A.

En Alsace, aucune synthèse n'avait été effectuée sur la question et des résultats d'essais mis en place depuis 1988 ont pu être recensés. La liste des essais référencés est présentée dans le tableau en Annexe 1. Les comptes rendus étant parfois très succincts, il a fallu rechercher à posteriori les informations manquantes (conditions d'expérimentations, relevés météorologiques...) auprès des réalisateurs des expérimentations.

En fin de compte, si l'on dispose d'une série d'essais relativement conséquente, l'analyse des résultats a montré que beaucoup d'essais ne pouvaient pas livrer des références correctes car les protocoles n'avaient été que partiellement appliqués (mesures manquantes ou bien entachées de biais), si bien que les réponses aux questions posées restent encore marquées d'une certaine incertitude.

En Bade Wurtemberg et en Suisse, les essais sur ce thème ont été réalisés dans les années quatre-vingt. Des synthèses sous forme d'articles de presse ou de rapports d'études ont pu être exploités sans toutefois que le détail des résultats d'essais puisse être repris dans la synthèse. Seuls les résultats des essais conduits côté allemand à nouveau sur ce thème dans le cadre de projets communs de l'ITADA (1994-1998) alimentent donc la base de données présentée dans ce travail.

2.2. L'introduction d'une "nouvelle" technique dans l'itinéraire culturel du maïs : les questions posées

Une nouvelle pratique culturale suscite de définir une "phytotechnie type" assurant une efficacité optimale pour des résultats réguliers. Le jugement de la réussite pourra se faire à deux niveaux :

- celui de la réussite agronomique, qui importe à l'agriculteur : le semis de la culture intermédiaire aboutit à l'implantation correcte d'un couvert, si possible sans occasionner de baisse de rendement du maïs ou perturber le reste de l'itinéraire culturel.
- celui de la réussite environnementale, qui importe aux organismes qui ont en charge la sauvegarde de la qualité de l'eau et sont prêts à encourager des pratiques agricoles permettant de réduire les risques de pollution diffuse d'origine agricole.

Quelle que soit la technique envisagée, semis sous couvert ou semis après récolte du maïs, il convient donc de s'interroger sur deux points essentiels :

** L'efficacité potentielle du piégeage de nitrates par une culture intermédiaire sur la période automnale suivant la récolte du maïs.*

On juge l'intérêt de la culture intermédiaire à la quantité d'azote prélevée au moment de l'arrêt de végétation (classiquement début décembre). Ainsi, la capacité à absorber l'azote minéral présent dans le sol avant l'hiver est en correspondance avec la biomasse produite par le couvert.

Ce point se traduit par des questions concrètes telles que :

Quelle(s) espèce(s) semer et à quelle date pour obtenir le meilleur résultat ?

Dans le cas d'un semis de post-récolte, il est préférable d'utiliser des espèces à croissance rapide. Pour un semis sous couvert, le semis doit être réalisé avant que le maïs ne recouvre trop le sol et n'empêche l'espèce semée de s'implanter. La culture de maïs ne doit aussi pas être concurrencée par la présence du sous semis.

** les conditions d'expression de ce potentiel d'absorption.*

Quels sont les éléments de la conduite culturale du maïs qui vont influencer sur le résultat ?

On peut notamment citer les interrogations suivantes, qui concernent surtout la technique du semis sous couvert :

- La variété de maïs influence-t-elle sur l'implantation du semis sous couvert ?

Une variété de maïs grain précoce permet à la culture « piége à nitrates » de bénéficier d'une période plus longue pour se développer après la récolte maïs et avant l'arrêt de végétation. Un maïs fourrage ensilé concède plus de temps pour un meilleur développement de la culture intermédiaire et représente le cas de figure le plus intéressant.

- Quel mode de désherbage effectuer pour le maïs ?

Un désherbage sur le rang associé à un binage dans l'interrang évite tout problème de phytotoxicité à l'encontre de la croissance d'une bande herbeuse.

- Quelles matières actives employer si le désherbage est fait en pleine surface ?

Les espèces utilisées en semis sous-couvert sont généralement de la famille des graminées et sont sensibles à certains herbicides utilisés en plein contre la flore adventice du maïs (surtout si leur période de rémanence est longue).

- Quelles précautions prendre lors de la récolte du maïs ?

Un semis sous-couvert cesse de croître s'il est enfoui sous des résidus de récolte broyés qui forme un tapis de débris végétaux impénétrable par la lumière.

3. LE SEMIS SOUS-COUVERT DU MAÏS

Le semis sous-couvert désigne le fait de semer une espèce, généralement du type graminée et le plus souvent un ray-grass, entre les rangs de maïs et au début de sa période végétative.

La culture intermédiaire s'installe tout doucement au début de l'été (stade 3-4 feuilles pour un ray-grass vers la fin juillet) et reste ensuite à l'état latent en août et septembre en sous étage jusqu'à la récolte du maïs. Elle prend ensuite de la vigueur lorsque les maïs se dessèchent et laissent pénétrer à nouveau la lumière jusqu'au sol (septembre – octobre), puis sa croissance devient maximale après la récolte de la céréale.

En Alsace, les essais ont été réalisés le plus souvent avec une association de ray-grass anglais et de ray-grass d'Italie (on retrouve fréquemment un mélange commercial d'appellation *Sédamix* (et originaire d'Allemagne), constitué généralement de 70 % de Ray Grass Anglais et de 30 % de Ray-Grass d'Italie).

D'autres espèces peuvent être utilisées :

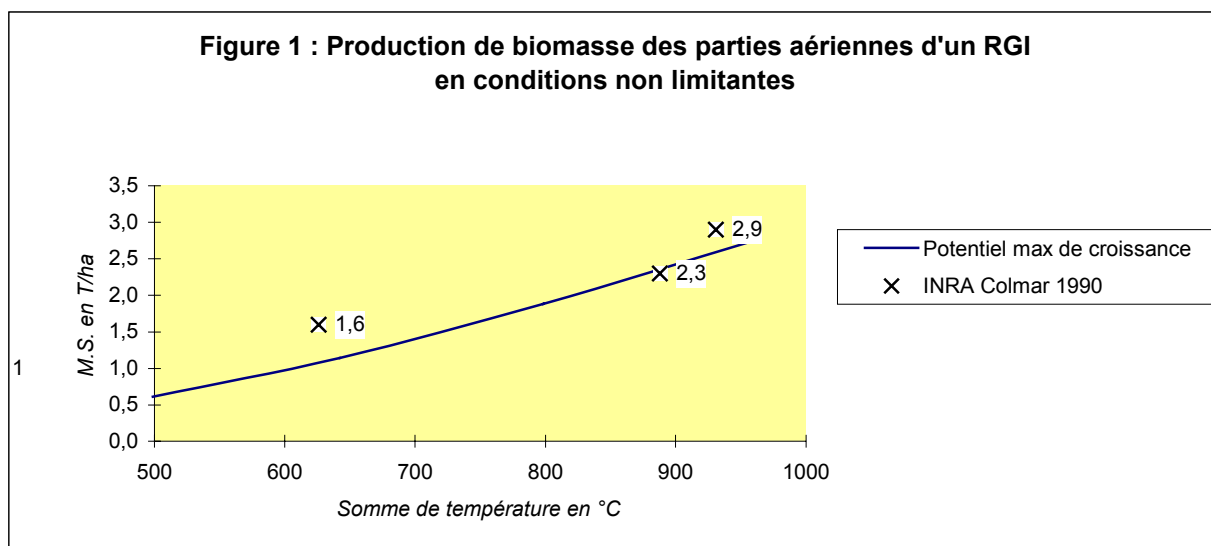
- des graminées fourragères ou à gazon au développement plus lent (fétuque élevée, dactyle, fétuque rouge...) qui demandent à être semées plus tôt que les ray-grass : essais belges de l'IRSIA (Mouraux, 1993).
- des espèces de graminées adaptées au développement sous des végétations denses et des ombrages importants : ex. une espèce de seigle particulière proposée par la firme de semences Jouffray-Drillaud dans son mélange *Chlorofiltre*.
- des mélanges de graminées et de légumineuses fourragères (ray-grass anglais + trèfle blanc) ou même uniquement de légumineuses (trèfle souterrain + trèfle violet) : conseils du F.i.B.L. (CH) 1989.

3.1. Le modèle de croissance potentielle du ray-grass

On dispose d'un modèle de croissance théorique qui caractérise la relation entre la biomasse aérienne et la somme de températures efficaces (somme des températures en base 0° du semis à la date de mesure de la biomasse). Ce modèle a été proposé par Weibull et sera appelé fonction de Weibull dans la suite du rapport (cf. brochure : azote et interculture (ITCF, 1993).

Cette fonction est un ajustement mathématique établi pour chaque espèce. Elle n'est valable que pour des conditions favorables à la croissance ce qui signifie que l'azote et l'eau ne sont pas limitants. Par ailleurs, on ne tient compte que des sommes de températures cumulées efficaces, c'est à dire dès le semis s'il y a eu des précipitations avant implantation ou à partir de la date de retour des pluies après le semis. Enfin, le semis est supposé réalisé dans de bonnes conditions d'implantation (enfouissement des résidus, travail du sol, semis à l'aide d'un semoir ou tassement après semis à la volée par passage de rouleau croskill).

La courbe de croissance établie pour le ray-grass d'Italie à partir de la fonction de Weibull est présentée en figure 1. Les valeurs de biomasse mesurées en conditions également non limitantes dans une expérimentation conduite par l'INRA de Colmar (Chapot, 1990) valident le modèle retenu pour le calcul du potentiel de croissance maximale d'un ray-grass d'Italie.



On peut effectuer un calcul théorique de la production de biomasse d'un ray-grass d'Italie en fonction des sommes de température qu'il a reçues entre la date de récolte du maïs et l'arrêt de la végétation (fixé arbitrairement au 01.12). A partir des relevés de la station météorologique de Colmar, représentative de la plaine du centre de l'Alsace, nous avons calculé pour les sommes de température disponibles pour certaines dates repères.

Date de début de croissance *	Somme de temp.	Biomasse en T M.S. / ha
01-sept	960°	2,75
10-sept	798°	1,88
20-sept	642°	1,14
01-oct	498°	0,61
<i>10-oct</i>	<i>370°</i>	<i>0,28</i>
<i>20-oct</i>	<i>255°</i>	<i>0,11</i>

* : assimilée à la date de récolte du maïs

Les valeurs calculées pour le 10 et le 20 octobre sont indiquées en italique car elles sont en dehors du domaine de validité de la fonction de Weibull (de 500 à 1780 degrés - jours pour 0,3 à 6,3 TMS / ha).

De la biomasse produite à l'azote capté par la culture intermédiaire

L'azote que la culture intermédiaire puise dans le sol à l'automne sera soustraite au lessivage hivernal. Il est donc intéressant d'établir le lien entre la production de biomasse aérienne atteinte pour une date de récolte théorique du maïs et la quantité d'azote consommée par les plantes (végétation aérienne + racines) à l'entrée de l'hiver.

Si l'on s'en réfère aux travaux de l'INRA Colmar (Chapot 1990), il est possible de calculer le % d'azote contenu par la végétation à l'aide d'une fonction mathématique ajustée pour chaque espèce. La formule de calcul proposée pour un ray-grass d'Italie est :

$$\% N = 4,62 * (M.S.^{-0,13}), \text{ M.S. étant la matière sèche exprimée en T/ha.}$$

On peut donc, pour une date donnée de récolte du maïs, calculer la somme de température disponible jusqu'à l'entrée de l'hiver, prise au 1er décembre dans cette étude, ce qui correspond en moyenne au repos végétatif pour les conditions alsaciennes. De cette somme de température,

on peut déduire une biomasse maximale à laquelle on applique la formule de l'INRA pour calculer la teneur moyenne en azote. La quantité d'azote potentiellement absorbée par la culture intermédiaire peut alors être facilement calculée à son tour, ce qui donne la possibilité de mettre en face de dates de récolte du maïs des valeurs potentielles de la quantité d'azote fixée par un ray-grass qui se développe à l'automne après la récolte d'un maïs.

Notons que le prélèvement effectué par les racines est estimé, dans le cas du ray-grass d'Italie, à environ 25 % du prélèvement effectué par la biomasse aérienne (Chapot 1990). L'azote total prélevé par la graminée est donc la somme de l'azote prélevé par les parties aériennes et la partie racinaire (ratio 4/1).

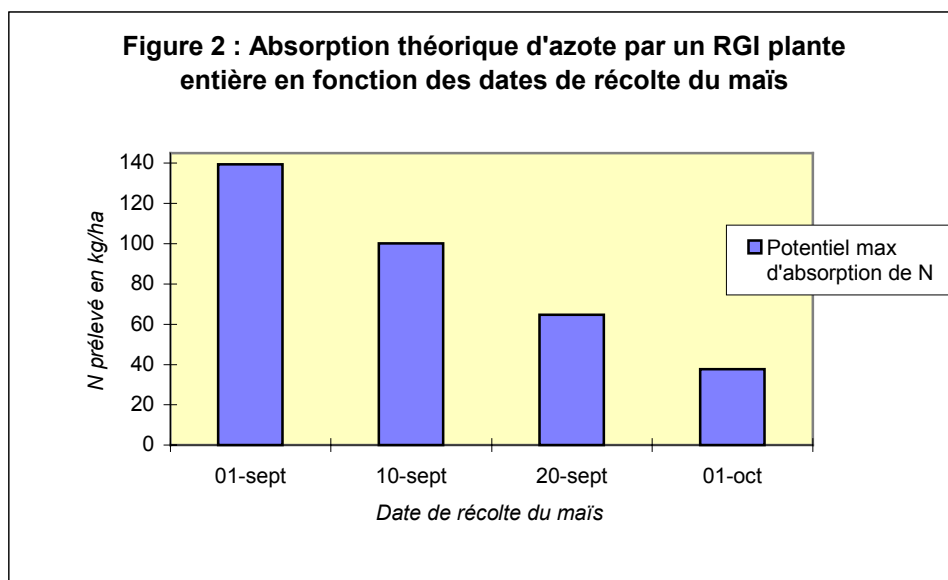
Tab 1 : Calcul de l'azote prélevé par le RGI plante entière en conditions non limitantes depuis la récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (01/12)

Date de récolte du maïs	Parties aériennes du RGI			N prélevé total (kg/ha)
	M.S. en T /ha	% N	N en kg/ha	
01-sept	2,75	4,05	111,5	139,4
10-sept	1,88	4,26	80,1	100,1
20-sept	1,14	4,54	51,9	64,8
01-oct	0,61	4,92	30,2	37,7

On s'aperçoit que pour une récolte de maïs précoce, au 20 septembre, l'espoir de résorption d'un reliquat en azote élevé après un maïs est en théorie possible car le ray-grass est capable d'absorber environ 65 kg N /ha.

Pour une récolte au 1er octobre, qui correspond à une situation plus courante pour du maïs grain, la performance potentielle du ray-grass dans un rôle de piège à nitrates diminue fortement mais se situe tout de même à encore environ 40 kg N / ha (végétation + racines).

Pour des récoltes plus tardives, le potentiel d'absorption devient limité.



La figure 2 illustre directement l'influence de la précocité de la date de récolte du maïs.

Cette pratique d'installation d'un ray-grass sous couvert du maïs est donc particulièrement adaptée aux systèmes de production de maïs ensilage qui libèrent le sol plus tôt (à partir de début septembre dans les cas les plus favorables).

3.2. Les résultats d'essais

Un travail important de recherche et de regroupement des données disponibles a été réalisé en 1998. La première lecture attentive des résultats d'essais a montré qu'ils étaient rarement détaillés et que les comptes-rendus dont ils étaient issus étaient incomplets, les réalisateurs de ces travaux n'ayant pas toujours précisément renseigné les conditions d'expérimentation, en particulier quand les essais s'avéraient être des échecs.

De plus, les essais réalisés sur le thème des cultures intermédiaires ayant été menés par différents organismes (ITCF, AGPM, ARAA, Chambres d'agriculture 67 et 68, INRA de Colmar pour la partie française, IfuL et Regierungspräsidium de Freiburg pour la partie allemande), il a été nécessaire de contacter diverses personnes pour essayer de récupérer les informations manquantes. Un des points importants a été la recherche des données météorologiques relatives aux conditions de l'essai en s'appuyant sur les relevés fournis par la station la plus proche.

Ce travail de recherche et de mise en forme des données, puis d'analyse de synthèse, a d'ailleurs constitué une partie du stage d'un étudiant de l'I.U.T. de Colmar en seconde année de génie biologique, spécialisation agronomie, en 1998.

Des tableaux synoptiques ont été créés dans le but d'avoir une vue générale de l'ensemble des essais alsaciens bien renseignés, et de trouver facilement l'information recherchée. Ils répertorient des informations sur les références de l'essai, des éléments techniques sur le maïs, le couvert végétal, le sol, la météo et la dernière colonne est réservée aux remarques des expérimentateurs.

Le tableau n° 2 ne concerne que les essais de cultures intermédiaires semées sous couvert du maïs en Alsace. Il est organisé en grandes colonnes générales qui sont divisées en sous-colonnes dans lesquelles sont répertoriées des informations, descriptives ou mesurées, inhérentes à chaque essai, tels que les dates d'exécution de certaines pratiques culturales ou le rendement en grains du maïs.

Le numéro qui figure dans la première colonne, à gauche, désigne un essai et permet une identification aisée de celui-ci.

Toutes les mesures n'ont pas été effectuées ou bien les données n'ont pas été retrouvées, ce qui explique que des cellules restent incomplètes.

Un autre tableau concernant les essais allemands, notamment ceux conduits à l'Est de Freiburg dans le Dreisamtal, a été dressé (Tableau N° 4), mais il ne fait pas l'objet d'une étude détaillée dans ce rapport. Les essais allemands ont en effet été réalisés en situation de maïs ensilage ce qui change considérablement le comportement du ray-grass à l'automne et influe fortement sur ses performances.

Les essais les plus complets sur lesquels porte l'analyse et se fondent les commentaires sont présentés en fiches détaillées (Annexes 6). Dans chacune des fiches, les conditions météorologiques sont détaillées pour les périodes clés :

- pluviométrie en juin et début juillet pour l'installation du sous semis
- pluviométrie et périodes de gel de septembre à fin novembre pour la période de croissance de la culture intermédiaire.

Tableau 2 : description des essais semis sous couvert réalisés en Alsace de 1988 à 1998

N°	Essais disponibles		Information sur le maïs					Information sur le couvert					Reliquats d'azote				Remarque				
	ANNEE	LIEU	Ensilage/Grain	VARIETE	PRECOCITE	FERTILISATI ON N kg/ha	DESHERBAGE	IRRIGATION	RECOLTE	RENDEMENT q/ha	RESIDUS BROYES	ESPECE	DATE SEMIS	MODALITE DE SEMIS	N PRELEVE partie N kg/ha	ECHÉ C		COUVERT	NU	COUVERT	Entrée Hiver
1	1988	Rustenhart	G	DEA	d-P+	240	O	O	/	117,4	/	Sedamix	30/06	S	/	14,7	18,5	/	/	Développement sup. à celui du 28.07	
2	1988	Rustenhart	G	DEA	d-P+	240	O	O	/	119,7	/	Sedamix	28/07	S	/	11,7	18,5	/	/		
3	1989	Rustenhart	G	DEA	d-P+	240	/	O	/	110,6	non	Sedamix	26/06	S	11	12,6	17,2	/	/		
4	1989	Rustenhart	G	DEA	d-P+	240	/	O	/	110,4	non	Sedamix	10/07	S	10	14,9	17,2	/	/		
5	1989	Oberhergheim	G	DEA	d-P+	/	/	/	/	/	/	Sedamix	/	/	/	E	/	/	/	Manque luminosité phyto atrazine	
6	1990	Pfettisheim	G	DEA	d-P+	170	O	N	24/10	88,2	/	Sedamix	14/06	In	/	47,9	74,7	/	/	Implantation à partir de mi-août	
7	1990	Niederentzen	G	DEA	d-P+	220	O	O	/	97,9	/	Sedamix	12/06	/	18,6	14	27	/	/	Implantation correcte	
8	1990	Niederentzen	G	DEA	d-P+	220	O	O	/	96	/	Sedamix	12/06	/	/	E	/	/	/		
9	1990	Stotzheim	G	DEA	d-P+	/	/	N	/	/	/	Sedamix	/	/	14,7	/	/	/	/		
10	1991	Hilsenheim	G	DEA	d-P+	180	O	O	/	119,2	/	Sedamix	27/06	/	/	24,8	34	/	/		
11	1991	Landser	G	DEA	d-P+	211	O	N	/	105,4	non	RGA	01/07	S	/	M	/	/	/	Levée tardive irrégulière	
12	1993	Dornach	G	DEA	d-P+	175	O	O	17/09	120,5	oui	Sedamix	01/06	S	/	M	96,9	104	80,2	79,2	Couverture irrégulière
13	1993	Hettenschlag	G	DEA	d-P+	194	O	O	07/10	113,3	oui	Sedamix	08/06	S	/	M	28,5	17,9	20,5	22,3	Couverture irrégulière
14	1993	Ste Croix	G	DEA	d-P+	170	O	O	19/10	/	oui	Sedamix	09/06	S	/	E	/	74	/	92,8	Phyto sur les RG d' atrazine
15	1993	Oberhergheim	G	DEA	d-P+	220	O	O	26/10	114,5	oui	Sedamix	09/06	S	/	M	50,7	72,9	71,3	32,1	Couverture irrégulière
16	1993	Roggenhouse	G	Anjou 37	d-P	198	O	O	15/10	121,5	oui	Sedamix	08/06	S	/	M	48,6	48,8	54,7	79,7	Couverture très hétérogène
17	1993	Blodelsheim	G	DK 300	d-P	201	O	O	21/10	120,6	oui	Sedamix	04/06	S	/	M	24,4	25	22,9	26,3	Couverture très hétérogène
22	1994	Obernai	G	DK 300	d-P	140	O	N	13/09	124,4	non	RGA	30/05	S	/	E	/	/	/	92	
23	1994	Obernai	G	Banguy	P	140	O	N	13/09	121,2	non	RGA	30/05	S	/	E	/	71	/	108	
26	1994	Rumersheim	G	DK 300	d-P	222	O	O	23/10	117,4	non	RGA	27/06	S	/	M	/	31	/	37	Variété maïs défavorable
27	1994	Rumersheim	G	Banguy	P	222	O	O	26/09	119,2	non	RGA	27/06	S	31,9	14	31	25	60	Résultat satisfaisant	
30	1995	Obernai	G	DK 300	d-P	118	O	N	12/10	70,7	non	RGA	05/07	S	7	M	/	37	45		
31	1995	Obernai	G	Banguy	P	118	O	N	27/09	73	non	RGA	05/07	S	19	/	25	32	41		
33	1995	Oberhergheim	G	DK 300	d-P	260	O	O	25/10	116,6	non	RGA	05/07	S	/	M	/	57	53		
34	1995	Oberhergheim	G	Banguy	P	260	O	O	29/09	106,1	non	RGA	05/07	S	/	/	80	36	59		Très bonne installation
37	1996	Marckolsheim	G	Banguy	P	200	O	O	08/10	/	non	RGA	25/06	S	/	E	/	/	/	/	RG très peu développé
38	1996	Marckolsheim	G	Banguy	P	200	O	O	08/10	/	non	RGA	20/08	S	/	E	/	/	/	/	RG très peu développé
39	1996	Marckolsheim	G	Banguy	P	200	O	O	08/10	/	non	Mout+radis	20/08	S	/	E	/	/	/	/	Crucifères très étioilées
59	1997	Rouffach	G	DK 256	P	139	O	O	23/09	92,8	non	RGA	20/06	S	/	/	38,6	33,4	22,7	31,9	
60	1997	Rouffach	G	DK 256	P	139	O	O	22/10	93,9	non	RGA	20/06	S	/	M	/	41,7	/	/	Couverture très insuffisante
61	1998	Rouffach	G	Baltimore	P	151	O	O	22/09	103,8	non	Mélange JD	12/06	S	25,6	25	21	28	20		Végétation pâturée par gibier
62	1998	Rouffach	G	Baltimore	P	151	O	O	19/10	106,5	non	Mélange JD	12/06	S	26,4	7	33	21	39		Végétation pâturée par gibier

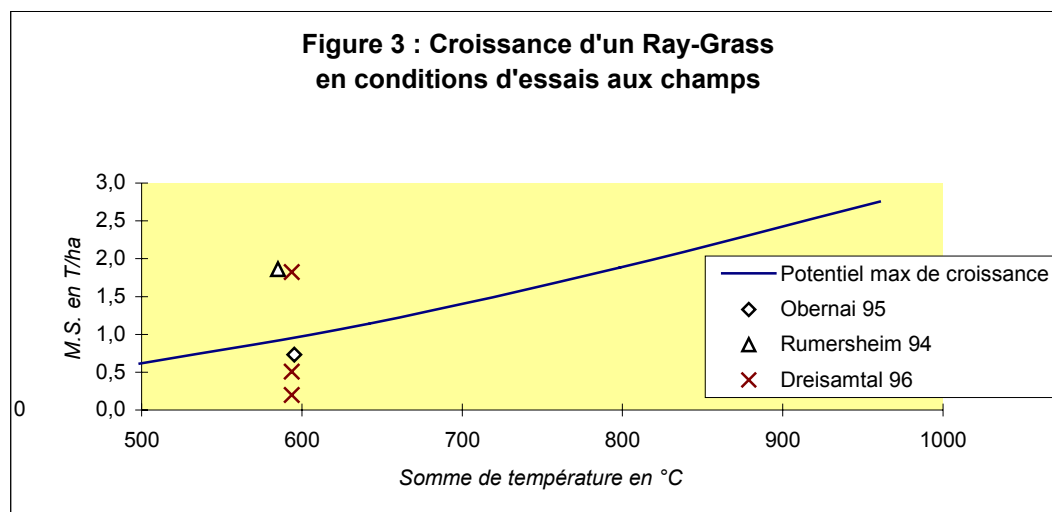
Précocité variétale : P : précocité, d-P : demi-précocité

Modalité de semis : S = en surface, In = incorporé au sol

E=Echec

3.2.1. Atteint-on le potentiel de croissance ?

Quand elles sont disponibles, les biomasses mesurées dans les essais de semis sous couvert de maïs en Alsace s'écartent sensiblement de la courbe d'ajustement de la croissance potentielle d'un ray-grass.



Les sommes de température prises en compte correspondent pourtant bien aux conditions réelles des années de références.

Les écarts peuvent sans doute s'expliquer de différentes manières. On peut en effet remarquer que dans les essais de semis sous couvert :

- le ray-grass semé à la volée ne recouvre qu'une partie de la surface du sol (au mieux 80 %) ce qui conduit forcément en moyenne à des biomasses moins importantes que dans les cas de semis en pleine surface à l'aide d'un semoir qui ont servi à élaborer le modèle de croissance
- la végétation est quasi toujours composée d'une association de RGI + RGA dont la vitesse de croissance moyenne doit être inférieure à un ray-grass d'Italie pur car le ray-grass anglais est une graminée pérenne à l'installation plus lente.
- Le modèle de Weibull fait démarrer la somme des températures à la levée du ray-grass (perspectives agricoles octobre, Laurent et al., 1995) alors que pour les essais sous couvert de maïs, on ne connaît pas la date de levée et l'on fait débuter la somme des températures à la récolte du maïs alors que le ray-grass est déjà au stade début tallage. Ceci doit pouvoir expliquer la biomasse mesurée plus élevée que la valeur calculée qui a été retrouvée dans certaines situations favorables (essais 27 et 31 par ex.).

Plus généralement, d'autres facteurs importants pour la croissance et le développement de la végétation du ray-grass installé sous couvert du maïs viennent interférer : présence de résidus de maïs, période de sécheresse, azote limitant...

La réussite ou l'échec du développement vont dépendre de facteurs qui interviennent avant ou après la récolte du maïs et l'on peut effectuer à ce niveau une première dichotomie.

Les facteurs pouvant influencer fortement sont ainsi mentionnés dans chaque partie : phase située avant la récolte du maïs et phase située après la récolte.

Facteur concerné ▼	Avant la récolte du maïs : conditions d'implantation du semis sous couvert	Etat du RG à la récolte du maïs	Après la récolte du maïs : conditions de croissance post récolte
Lumière	variété de maïs, densité, écartement entre rangs, concurrence des adventices	MS/m ² ou % de couverture	Maïs ensilage ou grains ? résidus broyés ou non ?
Température	considérée à cette époque comme non limitante		$\Sigma \theta$ depuis date récolte (base 0) jusqu'à mesure de la biomasse/ ou N _{min} date 1ère gelée (couvert gélif)
Eau	effet possible sur la levée distinguer parcelle irriguée et en sec		date 1ère pluie conséquente après récolte du maïs
Désherbage du Maïs	traitement en plein ou localisé, choix de la matière active		non limitant sauf m.a. avec forte rémanence
Conditions de semis du RG	binage avant le semis, type de semis, dose de semis....		
Fertilisation Azotée du maïs	non limitante sauf exception (irrigation excédentaire en sol filtrant)		peut être limitante de la croissance si elle est très bien ajustée aux besoins du maïs, un indicateur = N _{min} à la récolte du maïs

Le tableau n° 3, qui rassemble les essais alsaciens, comporte les caractéristiques propres à chacun des essais pour les principaux facteurs pouvant influencer sur le résultat. Le développement de la culture intermédiaire a été jugé dans les essais à deux époques clés : à la récolte du maïs puis à l'entrée de l'hiver avant le labour. Chaque essai est ainsi caractérisé par le jugement porté vis à vis de la culture intermédiaire :

- échec agronomique (E) : à la récolte du maïs, le ray-grass est absent ou trop irrégulier pour jouer son rôle agronomique (piéger à l'automne les nitrates présents dans le sol) : l'installation a échoué.
- semi-échec agronomique (M) : le ray-grass s'est plus ou moins bien installé, il est présent à la récolte mais ne se développe quasiment pas après la récolte du maïs. Sa croissance est insuffisante pour absorber une quantité significative d'azote. Le classement dans cette catégorie est faite selon deux critères : le constat de l'expérimentateur et l'absence d'une matière sèche « mesurable » à l'entrée de l'hiver. Si l'on regarde les valeurs d'azote absorbé dans les essais où l'expérimentateur a jugé bon de faire les prélèvements, on peut fixer le seuil de prélèvement non significatif à environ 10 kg N/ ha.
- réussite agronomique (R) : le ray-grass s'est correctement installé et sa croissance d'automne a permis d'absorber une quantité d'azote supérieure à 10 kg /ha (MS aérienne).

Dans le tableau 3, la partie supérieure correspond aux situations d'échecs, la partie intermédiaire aux semi-échecs et la partie inférieure aux réussites.

Les cases ombrées correspondent aux facteurs jugés comme prépondérants vis à vis du résultat par les auteurs du rapport.

Les facteurs déterminants de la réussite de la culture intermédiaire sont discutés dans la partie suivante du rapport qui s'intéresse aux causes d'échec ou de mauvaise efficacité de celle-ci.

Année	Information sur le maïs			Information sur le couvert										
	Lieu	Variété	Précocité	Date de récolte	Irrigation	Espèce	Date de semis	Désherbage	Binage inter-rang	Modalité de semis	Résidus (broyés)	Disponibilité N	N prélevé (Kg/ha)	Observation * sur l'installation
1989	Oberhergheim	DEA	d-P+	/	/	Sedamix	/	A	non	/	/	/	/	E
1990	Niederentzen	DEA	d-P+	/	O	Sedamix	12/06	A	Oui	/	/	L	/	E
1993	Ste Croix	DEA	d-P+	19/10	O	Sedamix	09/06	A	Oui	S	Oui	E	/	E
1996	Marckolsheim	Banguy	P	08/10	O	RGA	25/06	A	non	S	non	E	/	E
1996	Marckolsheim	Banguy	P	08/10	O	RGA	20/08	A	non	S	non	E	/	E
1996	Marckolsheim	Banguy	P	08/10	O	Moutarde+radis	20/08	A	non	S	non	E	/	E
1994	Obernai	DK 300	d-P	13/09	N	RGA	30/05	MA	non	S	non	E	/	E
1994	Obernai	Banguy	P	13/09	N	RGA	30/05	MA	non	S	non	E	/	E
1997	Rouffach	DK 256	P	22/10	O	RGA	20/06	S	Oui	S	non	E	/	M
1995	Oberhergheim	DK 300	d-P	25/10	O	RGA	05/07	A	non	S	non	E	/	M
1995	Obernai	DK 300	d-P	12/10	N	RGA	05/07	MA	non	S	non	L	7	M
1994	Rumersheim	DK 300	d-P	23/10	O	RGA	27/06	A	non	S	non	L	/	M
1991	Landser	DEA	d-P+	/	N	RGA	01/07	S	Oui	S	non	L	/	M
1993	Blodelsheim	DK 300	d-P	21/10	O	Sedamix	04/06	S	Oui	S	Oui	L	/	M
1993	Roggenhouse	Anjou 37	d-P	15/10	O	Sedamix	08/06	S	Oui	S	Oui	E	/	M
1993	Oberhergheim	DEA	d-P+	26/10	O	Sedamix	09/06	S	Oui	S	Oui	E	/	M
1993	Hettenschlag	DEA	d-P+	07/10	O	Sedamix	08/06	S	Oui	S	Oui	L	/	M
1993	Dornach	DEA	d-P+	17/09	O	Sedamix	01/06	MA	non	S	Oui	E	/	M
1990	Stotzheim	DEA	d-P+	/	N	Sedamix	/	/	/	/	/	/	14,7	R
1989	Rustenhart	DEA	d-P+	/	O	Sedamix	10/07	/	non	S	non	L	10	R
1989	Rustenhart	DEA	d-P+	/	O	Sedamix	26/06	/	non	S	non	L	11	R
1995	Oberhergheim	Banguy	P	29/09	O	RGA	05/07	A	non	S	non	E	/	R
1994	Rumersheim	Banguy	P	26/09	O	RGA	27/06	A	non	S	non	L	31,9	R
1988	Rustenhart	DEA	d-P+	/	O	Sedamix	28/07	A	non	S	/	L	/	R
1988	Rustenhart	DEA	d-P+	/	O	Sedamix	30/06	A	non	S	/	L	/	R
1995	Obernai	Banguy	P	27/09	N	RGA	05/07	MA	non	S	non	L	19	R
1997	Rouffach	DK 256	P	23/09	O	RGA	20/06	S	Oui	S	non	E	/	R
1991	Hilsenheim	DEA	d-P+	/	O	Sedamix	27/06	S	Oui	/	/	L	/	R
1990	Niederentzen	DEA	d-P+	/	O	Sedamix	12/06	S	Oui	/	/	L	18,6	R
1990	Pfetschheim	DEA	d-P+	24/10	N	Sedamix	14/06	S	Oui	In	/	E	/	R
1998	Rouffach	Baltimore	P	22/09	O	Mélange JD	12/06	S	Oui	S	non	L	25,6	R
1998	Rouffach	Baltimore	P	19/10	O	Mélange JD	12/06	S	Oui	S	non	E	26,4	R

* : E = échec de l'installation, M = semi-échec, R = réussite ** = E= élevée, L= limitée *** : A = agressif, M= moy. sélectif, S= sélectif

3.2.2. Les causes d'échec d'installation ou de mauvaise efficacité du ray-grass

Les causes d'échec ou de mauvaise efficacité de la culture intermédiaire, en l'occurrence un couvert de ray-grass, sont analysées sur les deux périodes clés bien distinctes :

- la période d'installation sous couvert du maïs
- la période de croissance après la récolte du maïs

la période sous couvert du maïs

Pendant cette période qui s'étale du semis du ray-grass (généralement en juin), à la récolte du maïs (fin septembre- début octobre), les facteurs responsables de l'échec de l'installation provoquent soit au départ une levée insuffisante du ray-grass, soit une disparition des jeunes plantes victimes de la concurrence trop vive du maïs durant l'été.

- Une levée insuffisante :

Le semis intervient en juin alors que le maïs est en pleine croissance et l'on peut se demander s'il y a toujours suffisamment d'humidité au sol pour permettre la levée du ray-grass qui est généralement semé à la volée.

L'analyse fréquentielle des précipitations (Annexe 4) montre que la pluviométrie de juin est rarement limitante car la médiane est de 20-25 mm par décennie sur cette période en Alsace.

Il convient de remarquer qu'un critère pouvant favoriser la levée du ray-grass est la réalisation d'un binage simultané au semis qui favorise le contact sol-graines.

Une autre cause de mauvaise levée peut être attribuée à l'agressivité du désherbage réalisé sur la parcelle de maïs. Un certain nombre de matières actives employées sont graminicides et potentiellement phytotoxiques pour le ray-grass. Un essai de classement de l'agressivité des produits désherbants couramment utilisés a été effectué à partir des informations disponibles sur les matières actives et en interrogeant des experts du désherbage du maïs (ITCF - AGPM) et des graminées porte-graines (FNAMS). Le tableau présenté en annexe n° 8 résume l'information en la matière. L'alachlore, le métolachlore et l'atrazine sont les matières actives dont il convient de se méfier particulièrement.

On peut toutefois constater que l'expression de la phytotoxicité est sans doute complexe car dans certains essais (1, 2, 27 et 34), le ray-grass s'est bien développé alors que le désherbage appliqué à la parcelle d'essai est jugé comme agressif. On peut donc penser que pour un même programme de désherbage, l'agressivité sur le ray-grass variera suivant l'intervalle de temps entre l'application herbicide et le semis due la graminée, la pluviométrie enregistrée et la nature du sol (taux d'argile, de matière organique...).

En tout état de cause, le désherbage chimique localisé sur le rang est le cas le plus favorable, écartant tout souci de phytotoxicité sur le sous semis de ray-grass réalisé entre les rangs de maïs. Il faut cependant remarquer que le choix de produits herbicides adaptés à la situation d'un semis de ray-grass sous couvert reste possible et que le recours à un désherbage en pleine surface n'est pas totalement écarté.

Pour augmenter les chances de réussite de l'installation, il apparaît tentant d'augmenter la densité de semis de la culture intermédiaire. Des travaux belges (Mouraux, 1993) concluent que le développement des couvertures végétales installées sous couvert d'un maïs est beaucoup plus influencé par la date de sous semis que par la densité de semis. Augmenter la dose de semis semble

donc ne pas être un facteur déterminant de la réussite de l'implantation mais pèse à coup sûr sur le coût de l'opération.

Gardons à l'esprit qu'un semis de 20 kg/ha de ray-grass doté d'un P.M.G. moyen de l'ordre de 2- 3 grammes conduit à semer plus de 600 graines au m².

A noter que les expérimentateurs n'ont jamais relevé des pertes conséquentes de levée dues aux limaces.

- Une concurrence du maïs trop vive

Après la levée, une seconde difficulté menace le ray-grass : la compétition exercée par le maïs. Celle-ci se fait vis à vis de l'eau, de la lumière et des éléments nutritifs.

On peut raisonnablement écarter le dernier critère comme cause possible d'échec car à cette période la teneur en azote minéral de l'horizon de surface est élevée (apports de fertilisants en juin et minéralisation estivale active).

En revanche, les deux autres critères sont sans doute prépondérants pour la réussite de l'installation du ray-grass.

Pour ce qui concerne l'alimentation en eau, un développement insuffisant des jeunes plantes de ray-grass et donc un enracinement limité peut les rendre très vulnérable à une longue période de sécheresse en juillet et août. L'irrigation est donc à priori un facteur qui renforce l'espoir de bonne installation du ray-grass en permettant d'éviter une trop longue dessiccation de l'horizon superficiel du sol.

L'autre point déterminant de la réussite est l'accès à la lumière qui permet une photosynthèse active. A partir de la floraison du maïs (en moyenne durant la deuxième moitié de juillet) la végétation du maïs recouvre quasiment à 100 % le sol et ferme l'accès à la lumière des jeunes ray-grass qui vont alors « végéter ». La compétition exercée par la végétation du maïs sera d'autant plus vive que :

- la végétation du ray-grass est peu avancée. Ceci renvoie à l'importance de la date de semis de la graminée. Plus celle-ci intervient tardivement, moins le ray-grass a de temps pour se développer avant la couverture du sol par le maïs et moins bonnes seront ses chances de survie en été.

- la variété de maïs est dotée d'un feuillage au port étalé et que la densité est importante. Des travaux belges (Mouraux 1993) ont démontré l'effet de la densité de peuplement et du type de développement du feuillage variétal sur le développement du sous semis. Le rendement en matière sèche de l'espèce installée sous couvert est ainsi directement proportionnel à la quantité de lumière qui lui parvient. La transmission de lumière plus favorable sous une variété a conduit à un effet variétal significatif enregistré proche de 10 %. L'effet de la densité est encore plus significatif : - 13 % à 95 000 plantes et - 42 % à 110 000 plantes par rapport à 80 000 plantes /ha.

- la variété de maïs est tardive. Une variété précoce arrive à maturité plus tôt ce qui permet un retour de la pénétration de la lumière plus rapide suite au dessèchement du feuillage. La variété DK 300 peut être citée à titre d'exemple de variété défavorable car tardive et dotée d'un fort développement végétatif.

On peut également s'interroger sur l'effet réel de l'irrigation vis à vis de l'installation de la graminée, car si d'un côté l'apport régulier d'eau est positif pour éviter les pertes provoquées par une sécheresse persistante, l'irrigation occasionne un développement végétatif du maïs encore plus conséquent qui, du point de vue de la pénétration lumineuse, est défavorable au sous semis. Si l'on consulte le tableau de synthèse (tab. 3), on peut constater que l'influence de l'irrigation est difficile

à juger car l'on retrouve des échecs d'installation dans des parcelles irriguées et des réussites dans des situations non irriguées.

La période post- récolte du maïs

Pour que le couvert de ray-grass puisse se développer correctement à l'automne et assurer son rôle de piège à nitrates il est nécessaire qu'il dispose de suffisamment de temps avant le repos végétatif. Ce point a été abordé dans la partie 2.2.1. qui caractérise le potentiel de croissance avec la somme de température disponible après la récolte du maïs. La date de récolte du maïs est donc incontestablement un des points clés de la réussite du développement de la culture intermédiaire.

Il convient toutefois de distinguer ici plusieurs cas de figures : en effet, l'échec agronomique, qui correspond à l'absence de développement d'une végétation significative, peut correspondre à deux situations distinctes vis à vis de l'analyse environnementale :

- un échec du développement du ray-grass n'est pas pour autant un échec environnemental si les quantités d'azote minéral du sol sont faibles. En effet, si le reliquat derrière maïs est très faible et que la minéralisation du sol à l'automne est modeste, la culture intermédiaire ne pourra pas se développer notablement d'ici l'entrée de l'hiver, sans pour autant que cela constitue une menace pour l'environnement car les quantités de nitrates lessivables resteront faibles.

On peut constater dans le tableau 3 que c'est effectivement ce qui s'est produit dans 5 cas sur 10 pour les essais de la partie centrale du tableau qui correspondent à des semi-échecs (M). Dans les essais 13 et 17 par ex., les quantités d'azote présentes dans le sol n'excèdent pas 20 à 25 kg/ha à la récolte du maïs et n'évoluent pas jusqu'à l'entrée de l'hiver.

- un échec du développement du ray-grass à l'automne peut aussi s'avérer correspondre à un échec pour l'environnement en cas de présence de quantités conséquentes de nitrates dans le sol non absorbés par la végétation.

On retrouve 5 essais classés en semi- échecs dans cette situation . Pour les essais 12, 15 et 16, c'est certainement le broyage des résidus de récolte qui est responsable de la mauvaise croissance du ray-grass. Pour les essais 33 et 60, l'enlèvement trop tardif du maïs et la faible pluviométrie d'automne n'ont pas permis au ray-grass de se développer correctement.

Les références obtenues dans les essais allemands 1996-1998 du Bade-Wurtemberg :

Dans le tableau n° 4 sont regroupés les résultats obtenus pour les semis d'une culture intermédiaire sous couvert de maïs réalisés dans le cadre de divers projets l'ITADA :

Il s'agit :

- des essais du Dreisamtal mis en place dans le cadre du projet A 1.1 : « dynamique de l'azote en parcelles de maïs recevant des déjections animales »
- de parcelles suivies sur le secteur de Breisach dans le cadre du réseau d'exploitations du projet Itada A 4 1996-1998 : « faisabilité de la Production Intégrée en grandes cultures »

Les semis sous couverts ont été réalisés avec le mélange de ray-grass Sedamix (70 % RGi et 30 % de RGA) à la densité de 25 kg/ha. Les rendements du maïs et les suivis des quantités d'azote minéral dans le sol ont généralement été effectués sur ces parcelles et sont disponibles pour l'exploitation des résultats.

On constate des niveaux d'absorption d'azote par la biomasse aérienne des ray-grass relativement modestes, inférieures à 20 kg/ha sauf dans deux situations (24 et 44 kg N/ha). Ces résultats sont cohérents avec ceux observés en Alsace.

A noter que pour certaines parcelles de maïs grain à Breisach en 1996 et 1997, la croissance des graminées est modeste alors que les mesures de reliquats à la récolte du maïs indiquent des présences d'azote minéral importantes dans le sol. Dans ces situations, on aurait pu espérer une meilleure performance du semis sous couvert qui n'a pas été capable de piéger une partie conséquente de l'azote du sol. La récolte tardive du maïs (après le 20 octobre) est sans doute le facteur explicatif le plus immédiat.

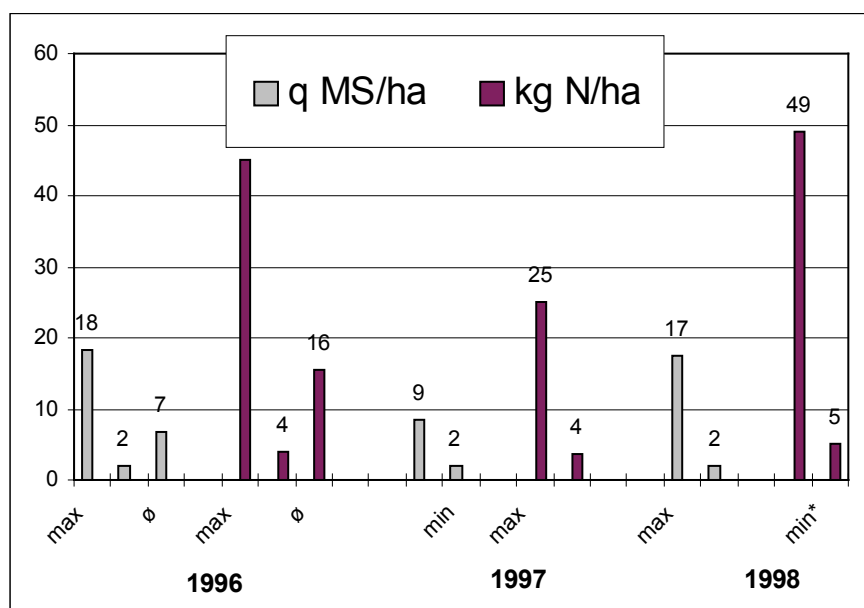
Dans le Dreisamtal, le développement des couverts a été noté en hiver et au printemps. Des mesures de la croissance et de l'absorption d'azote ont aussi été faites sur quelques unes des parcelles. Dans ces situations de sols de vallée assez froide, au pied du Dreisamtal, la croissance hivernale des graminées a été relativement négligeable et l'azote consommé par la biomasse aérienne est quasi identique à l'entrée et à la sortie de l'hiver (voir pour plus de détails le rapport de synthèse 1996-1998 du projet ITADA A 1.2).

Une analyse des biomasses et des quantités d'azote prélevées à l'entrée de l'hiver (décembre) pour les parcelles du Dreisamtal montrent que la variabilité inter-parcellaires est très importante au sein d'une même année pour des conditions climatiques analogues entre parcelles et des types de sol assez proches (argilo-sableux). Cette variabilité est d'autant plus étonnante que l'ensemble de l'itinéraire technique et en particulier la date du semis des graminées et la date de récolte du maïs sont les mêmes pour toutes les parcelles suivies. A noter que toutes les parcelles de maïs ont été récoltées en ensilage et qu'aucune d'entre elles n'était irriguée en été.

TABLEAU 4 : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES EXPÉRIMENTATIONS DE SEMIS SOUS-COUVERT D'UNE CULTURE INTERMÉDIAIRE RÉALISÉES EN PAYS DE BADE DE 1994 À 1998

NUMERO	ANNEE	LIEU	Information sur le maïs										Info. sur le couvert				Reliquat d'azote		REMARQUE	
			ENSILAGE / GRAIN	VARIETE	PRECOCITE	DATE DE RECOLTE	FERTILISATION N(/ha)	DESHERBAGE	IRRIGATION	RENDEMENT (Qx/ha)	ESPECE	DATE DE SEMIS	N PRELEVE (KG/HA)	COUVERT	NU	COUVERT	NU	Récolte		Hiver
20	1994	Linx	G	DK 300	d-P	29/09	156	O	N	129.9	Sedamix	16/06	/	33	46	27	33	46	27	installation insuffisante
21	1994	Linx	G	Jericho	t-P	22/09	156	O	N	109	Sedamix	16/06	/	26	28	54	26	28	54	
41	1996	Ebnet	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	100	Sedamix	12/07	13	4	5	/	4	5	/	
42	1996	Ebnet	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	116	Sedamix	12/07	7	9	8	/	9	8	/	Binage dans l'inter-rang les 3/05 et 10/06
43	1996	Zarten	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	/	Sedamix	12/07	9	8	6	/	8	6	/	"
44	1996	Zarten	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	129	Sedamix	12/07	5	9	11	/	9	11	/	"
45	1996	Zarten	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	127	Sedamix	12/07	19	10	9	/	10	9	/	"
46	1996	Stegen	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	124	Sedamix	12/07	9	6	6	/	6	6	/	"
47	1996	Buchenbach	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	104	Sedamix	12/07	12	3	8	/	3	8	/	"
48	1996	Burg	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	97	Sedamix	12/07	44	8	12	/	8	12	/	"
49	1996	Kirchzarten	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	117	Sedamix	12/07	11	4	9	/	4	9	/	"
50	1996	Kirchzarten	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	135	Sedamix	12/07	24	56	13	/	56	13	/	"
50b	1996	Kirchzarten	E	Kalif	d-P	30/09	150	Rg/P	N	132	Sedamix	12/07	19	10	10	/	10	10	/	"
51	1996	Breisach	G	LG 2306	d-P	28/10	110	P	O	105	Sedamix	03/06	5	76.9	55	/	76.9	55	/	
52	1996	Breisach	G	LG 2306	d-P	28/10	110	P	O	105	Sedamix	03/06	/	66.3	67	/	66.3	67	/	
53	1996	Breisach	G	DK 255	P	28/10	133	P	O	100	Sedamix	03/06	6	154	98	/	154	98	/	
54	1996	Breisach	G	Clarica	d-P	28/10	179	P	O	118	Sedamix	03/06	/	71.7	61	/	71.7	61	/	
55	1997	Breisach	G	DK 300 /Macao	d-P	20/10	201	P	O	122	Sedamix	07/06	/	110	121	/	110	121	/	bonne levée début juillet, très peu de végétation le 17/11
56	1997	Breisach	G	DK 300 /Macao	d-P	17/10	130	P	O	116	Sedamix	07/06	/	44.4	45	/	44.4	45	/	
57	1997	Breisach	G	Clarica	d-P	28/10	107	P	O	116	Sedamix	07/06	/	50.4	42	/	50.4	42	/	
58	1997	Breisach	G	Clarica	d-P	16/10	195	P	O	106	Sedamix	07/06	/	59.9	58	/	59.9	58	/	
65	1997	Ebnet	G	Kalif	d-P	23/09	124	P	N	153	Sedamix	08/07	4	15	10	/	15	10	/	

Figure 4 : Parcelles du Dreisamtal de 1996 à 1998 : biomasse aérienne et azote prélevé (partie aérienne à l'entrée de l'hiver) par un ray-grass installé sous couvert du maïs



En 1996, la moyenne des biomasses observées sur une douzaine de parcelles est d'environ 700 kg/ha pour un piégeage par la partie aérienne de 16 kg N/ha. Ce dernier varie entre 4 et 45 kg N/ha (soit 5 à 56 kg N absorbé plante entière).

En 1997 et 1998, seules quelques parcelles sont mesurées (la plus belle et la moins belle) afin d'avoir une idée des extrêmes. Les écarts sont encore conséquents pour l'azote absorbé (partie aérienne) de 4 à 25 kg N/ha en 1997 et de 5 à 49 kg N/ha en 1998 soulignant que des critères autres que la date de semis et/ou la date de récolte du maïs interviennent sur la croissance et le développement de la graminée à l'automne

3.3. La confrontation des résultats à la bibliographie

- la date de semis du ray-grass :

Dans les essais alsaciens, le semis du ray-grass n'intervient que rarement avant la fin de juin (stade 8 –10 feuilles du maïs). Même si l'analyse des résultats (tableau 3) ne permet pas de sortir une tendance nette reliant la date de semis et le devenir de l'installation de la graminée, il semble que la date de semis pourrait être un peu avancée pour assurer de meilleures chances de réussite au semis sous couvert, sans pour autant craindre une compétition excessive vis à vis du maïs et une perte de rendement de ce dernier.

En France, des essais ont été conduits par les Chambres d'Agriculture bretonnes et les instituts techniques sur ce thème de la date de semis du ray-grass (référence biblio). La comparaison portait sur trois traitements : un témoin sans sous semis et deux sous semis, l'un à 5-6 feuilles et l'autre à 8-10 feuilles du maïs. Dans le compte rendu de synthèse portant sur

trois années d'expérimentation (1992 – 1994), la conclusion est : « aucune concurrence n'a été observée vis à vis du maïs quelque soit l'année d'essai ».

En Alsace, on s'est intéressé également à l'incidence du sous semis dans certains essais, en comparant le rendement du maïs avec et sans sous semis dans quelques essais (Annexe 5). Sur 16 situations distinctes, correspondant à 7 années différentes, un seul essai a révélé des différences significatives en défaveur du maïs avec sous semis (Niederentzen 1990) confirmant que les craintes de baisse de rendement de la culture sous ensemencée peuvent être écartées hormis situation exceptionnelle (sol superficiel du type Hardt et arrêt trop tôt de l'irrigation).

Enfin, concernant l'influence de la date de semis du ray-grass, on peut aussi citer les conclusions des travaux belges qui sont les suivantes :

« le ray-grass semé à plus de cinquante jours après le maïs, ce qui correspond au stade 5-6 feuilles déployées, n'exerce plus de concurrence sur le maïs. Si les semis du ray-grass sont trop tardifs, celui-ci peut ne pas être suffisamment développé avant la fermeture des interlignes par le maïs et avoir des difficultés à se maintenir en sous étage jusqu'à la récolte du maïs ».

Notons qu'en Bade-Wurtemberg, dans le cadre des programmes agri-environnementaux SchALVO et MEKA qui imposent des cultures intermédiaires en cas d'absence de culture d'automne, on conseille de semer le ray-grass également au stade 4 – 6 feuilles du maïs, ce qui est considéré comme le compromis optimum permettant de ménager le maïs et d'assurer l'installation du ray-gras.

- L'efficacité du ray-grass dans sa fonction de « piège à nitrates »

Tous les auteurs mentionnent pour une culture de ray-grass correctement implantée sous couvert de maïs, une capacité à fixer l'azote en automne de 30 à 40 kg N /ha. Pour les couverts laissés en place jusqu'à la fin de l'hiver, on parle alors de 40 – 60 kg N/ha.

On souligne à chaque fois la capacité du sous semis à produire un couvert qui peut fixer les nitrates à l'automne, mais cette efficacité reste limitée et montre que dans tous les cas il importe de bien raisonner la fumure azotée du maïs de manière à minimiser les reliquats après récolte. L'allié le plus sûr pour épuiser au maximum le profil reste bien évidemment le maïs.

Les références bibliographiques mentionnées correspondent à des situations relevés avec une culture de maïs ensilage, c'est à dire en valeur moyenne en situation de récolte plus précoce qu'un maïs grain en Alsace, et avec enlèvement de la plante entière ce qui optimise la croissance d'automne du ray-grass.

C'est sans doute la raison pour laquelle, dans la série d'essais réalisés en Alsace, les performances du ray-grass, sont plus modestes et comprises entre 10 et 35 kg N/ ha (estimations faites à partir de prélèvement de la biomasse aérienne) pour les situations de récolte précoces : fin septembre.

3.4. Les limites d'efficacité du semis sous-couvert comme piège à nitrates après un maïs grain

Dans le cas d'un maïs grain récolté avant fin septembre et seulement dans ce cas, on peut dans le cas d'une présence importante de reliquats d'azote à la récolte du maïs finalement tabler sur les effets suivants du ray-grass :

- une diminution de la quantité de nitrates disponibles pour le lessivage. Il semble raisonnable, pour une situation moyenne, de tabler sur 20 à 30 kg N/ha d'absorbés par la culture intermédiaire d'ici l'entrée de l'hiver (essais 27 et 34 par ex.).
- une consommation d'eau, proportionnelle à la biomasse produite (environ 30 mm par tonne de MS selon Muller INRA Chalons, et 24 mm selon Chapot, Colmar), qui retardera la date de retour à une situation de drainage du sol.

Ces chiffres situent bien les limites que l'on peut attendre d'une technique de mise en place d'une culture intermédiaire par semis d'un ray-grass sous couvert d'un maïs grain. L'absorption d'azote par la couverture végétale obtenue dans les essais alsaciens par le semis sous couvert n'a jamais permis d'atteindre les valeurs obtenues par nos collègues belges, allemands ou de suisse alémanique. Les maïs à la végétation très luxuriante des parcelles d'Alsace (en partie irriguées) exercent sans doute un ombrage encore plus pénalisant qu'ailleurs et les conditions hydriques souvent limitantes à l'automne ne permettent pas vraiment à la culture intermédiaire de faire un fort rendement avant l'hiver.

Une telle technique peut cependant contribuer utilement à diminuer les risques de lessivage de nitrates vers la nappe dans certaines situations préoccupantes, et ce d'autant plus si le couvert végétal est conservé pendant tout l'hiver. Mais cette pratique ne constitue absolument pas à elle seule une « assurance tout risque » et n'est surtout pas généralisable à vaste échelle.

Pour l'essentiel de la sole de maïs grain alsacien récolté en octobre, la technique de semis sous couvert d'un ray-grass est à considérer comme inadaptée. Le risque d'échec de l'installation du ray-grass est alors en effet non négligeable et l'efficacité comme piège à nitrates sur l'automne trop limitée.

- **3.5 Questions économiques : les coûts de la technique**

Quels coûts supplémentaires faut-il imputer à cette technique ?

Ils sont de deux ordres, les coûts directs facilement mesurables, et les coûts indirects liés aux interactions avec d'autres éléments de conduite du système de culture.

Les coûts directs :

Les coûts immédiats engendrés sont ceux de l'achat des semences et du passage supplémentaire pour le semis dans le cas classique d'un désherbage en plein du maïs.

Le coût des semences varie pour 15 - 20 kg/ ha entre 250 et 300 F/ha.

On peut utiliser un épandeur pneumatique d'engrais muni de « pendillards » qui déposent les semences à la surface du sol entre les rangs. Avec cette solution, on peut ensemercer facilement plusieurs dizaines d'hectares par jour.

Attention, les distributeurs à engrais centrifuges ne conviennent pas car les semences sont trop légères et leur distribution trop irrégulière.

D'autres coûts indirects doivent être évoqués :

- L'influence de la présence du ray-grass sur la productivité du maïs ?

Les références indiquent que le sous semis n'exerce que très rarement un effet dépressif dès lors que l'on respecte l'itinéraire technique conseillé (cf. annexe 9).

- Le choix d'une variété précoce de maïs pour fiabiliser la réussite de la pratique.

On peut s'interroger si, en valeur moyenne, on prend un risque certaines années de ne pas atteindre le niveau de rendement maximum qu'offrent les variétés tardives. Le surcroît de rendement apporté par les variétés tardives n'est cependant pas systématique comme l'indiquent les comparaisons (Banguy / DK 300) faites dans les essais.

D'autres situations ont permis de montrer qu'aucune différence significative de rendement ne se retrouvait entre une coupe du maïs réalisée fin septembre et une autre plus tardive à la mi-octobre. Le potentiel de rendement n'est donc pas systématiquement handicapé par une fauche « anticipée » du maïs, par contre il faut compter avec une humidité supérieure et donc avec des frais de séchage supplémentaires.

- Un désherbage adapté à la technique du semis sous couvert

La technique unanimement recommandée pour l'installation du ray-grass est le semis simultané avec un passage combinant le désherbage chimique localisé sur le rang et le binage entre les rangs. Cette solution permet déjà d'éviter un passage spécifique pour le semis du ray-grass et présente l'intérêt de pouvoir diminuer la quantité de semences car le contact sol-graines renforcé permet une meilleure levée.

A titre d'exemple, on peut citer le cas de l'exploitation du Lycée Agricole de Rouffach qui avec une bineuse de 6 m équipée d'un pulvérisateur pour application localisée, désherbe environ 20 à 25 ha par jour (passage à 8 km/h). Bien sûr, il faut plus de temps que dans le cas d'un désherbage en plein avec un appareil de 24 m. Cependant, il convient de considérer l'économie en désherbants permise par la réduction de la dose d'environ 2/3 à l'hectare, ainsi que l'effet là encore favorable à l'environnement. Plus d'informations sur cette question sont présentées dans l'annexe 10 (publi-info de la firme Carré).

- L'absence de broyage après la récolte des résidus

Il est conseillé par l'AGPM de broyer finement après la récolte les cannes de maïs afin de diminuer les populations de chenilles foreuses (pyrale, noctuelle...). Si la situation alsacienne est actuellement satisfaisante du point de vue de ces ravageurs dont la pression n'augmente pas, quelle serait l'incidence d'un retour à des surfaces importantes de résidus de récolte non broyés à l'automne ? Elle pourrait conduire à intensifier les stratégies de traitement en culture contre ces ravageurs.

4. LE SEMIS DE POST-RECOLTE

La technique de semis de post-récolte consiste à implanter juste après la récolte du maïs, une espèce à croissance rapide de type céréale ou crucifère. Le semis peut s'effectuer à la volée sur les chaumes ou après broyage des résidus et passage d'un outil de préparation superficielle du sol.

4.1. Le modèle de croissance de la culture de post-récolte

Comme pour le ray-grass, on dispose d'un modèle proposé par Weibull (ITCF, 1993) pour l'estimation de la croissance théorique en conditions favorables à la croissance, ce qui signifie que l'azote et l'eau ne sont pas limitant). Cette fonction qui est un ajustement mathématique de la relation entre la biomasse aérienne et la somme de températures efficaces (somme des températures base 0° du semis à la date de mesure de la biomasse) a été établi pour plusieurs espèces.

Dans l'utilisation de ce modèle, on ne tient compte que des sommes de températures cumulées efficaces, c'est à dire dès le semis s'il y a eu des précipitations avant implantation ou bien seulement à partir de la date de retour des pluies après le semis lorsque le sol est sec. Enfin, le semis est supposé réalisé dans de bonnes conditions d'implantation (enfouissement des résidus par travail du sol, semis à l'aide d'un semoir ou tassement après semis à la volée par passage de rouleau croskill).

4.1.1. Le cas d'une céréale (seigle)

Les graminées présentent une croissance assez faible en début de cycle. Parmi les céréales courantes, le seigle est l'espèce la plus intéressante car dotée d'une des meilleures vitesses de croissance et d'une bonne tolérance au froid. Elle se rapproche des performances d'un ray-grass d'Italie.

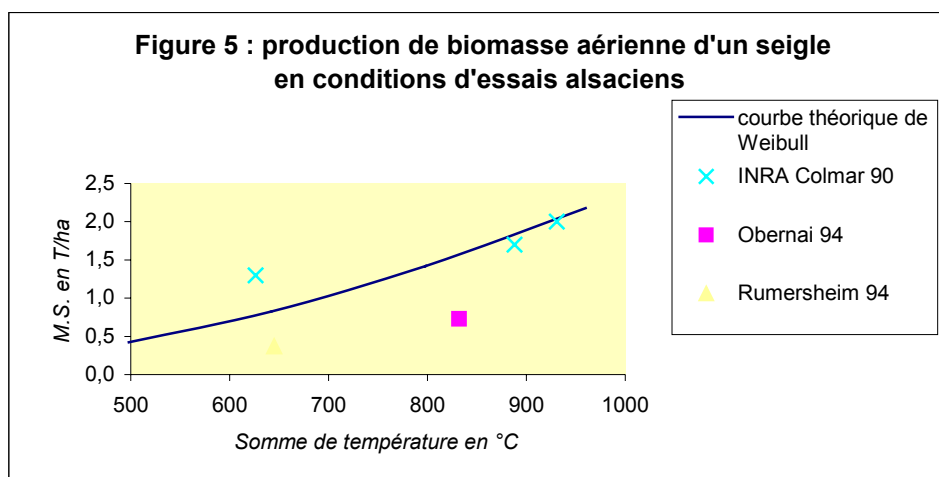
On peut effectuer un calcul théorique de la production de biomasse d'un seigle en fonction des sommes de température qu'il a reçues entre la date de son semis (après récolte du maïs) et l'arrêt de la végétation (01.12). A partir des relevés de la station météorologique de Colmar, représentative de la plaine du centre de l'Alsace, nous avons calculé les sommes de température disponibles pour certaines dates repères.

Date de semis	Somme de temp.	M.S. en T /ha (Weibull)
01-sept	960	2,18
10-sept	798	1,42
20-sept	642	0,82
01-oct	498	0,42

Dans le cas des essais réalisés en Alsace, les plantes ne pouvaient pas coloniser l'ensemble du sol des parcelles expérimentales étant donné que le travail du sol était très limité et que les cannes de maïs et autres débris végétaux restaient en place. Ceci explique en partie les écarts entre les points d'essais correspondants chacun à une mesure en condition réelle aux champs

et le potentiel maximum de croissance calculé pour la somme de température en question (selon la fonction de Weibull). De plus, pour les références d'essais, le cumul des sommes de température commence dès le semis car les références disponibles dans les comptes-rendus ne permettent pas de connaître le détail de la pluviométrie au champ et ceci renforce sans doute la marge d'erreur.

Enfin, peu de points ont pu être placés sur le graphique car les mesures de biomasse n'ont pas été possible en cas d'échecs de la culture intermédiaire ou bien n'ont pas été effectuées par les expérimentateurs.



Le modèle de Weibull ne permet donc pas une bonne prévision de la production de biomasse pour un semis de seigle après un maïs, réalisé sans broyage des résidus de récolte ni travail du sol (passage d'un outil à disques et tassement).

4.1.2. Le cas d'une crucifère (moutarde)

Les crucifères (moutarde, radis, colza...) atteignent plus rapidement que les autres leur vitesse de croissance maximale (environ 680 °C pour faire 1,5 T de MS/ha).

Date de semis	Somme temp.	M.S. en T /ha (Weibull)
01-sept	960	2,70
10-sept	798	2,02
20-sept	642	1,35
01-oct	498	0,80

Le calcul a été fait à l'aide de la fonction de Weibull avec des sommes de température reçues entre le semis et l'arrêt de végétation arbitrairement fixé au 01.12.

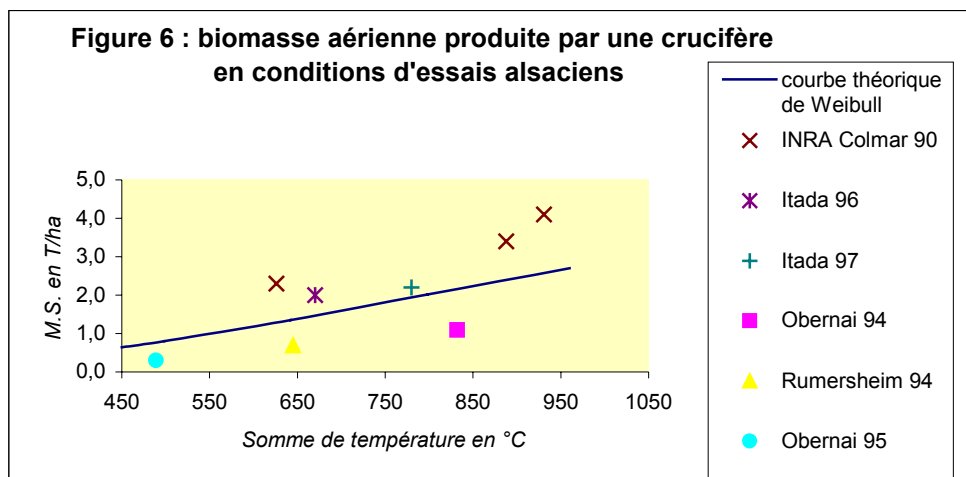
Equation : $M.S. = 4.45 * (1 - \text{EXP}(-1.03 * (\text{Temp}^{2.37})))$ avec un domaine de validité compris entre 400 et 1840 °C

Pour les mêmes explications données précédemment, la courbe de croissance potentielle (Weibull) d'une crucifère est largement supérieure à la croissance mesurée en conditions d'essais aux champs pour un semis d'automne après la récolte du maïs.

En revanche, les points issus d'essais ITADA 1996 et 1997, réalisés en conditions plus proches de celles ayant servies à l'établissement de la fonction de Weibull (semis estival, travail superficiel du sol, azote non limitant...), permettent de valider la courbe théorique de croissance de la moutarde.

Les points INRA Colmar 90, obtenus pour une moutarde semée au début d'août et en conditions non limitantes sont en décalage, peut être à cause du facteur éclaircissement non pris en compte dans la fonction moyenne.

Dans le cas des essais de Rumersheim 1994 et de Rouffach 1998, la moutarde produit deux fois moins de matière sèche que ce qu'on pourrait attendre grâce au modèle pour une somme de température identique.



La courbe de la fonction de Weibull n'est donc pas, dans l'état, un modèle bien adapté à une prévision de la production de biomasse pour un semis de moutarde après maïs, réalisé sans broyage des résidus de récolte ni travail du sol (passage d'un outil à disques et tassement).

Le gel est un autre facteur climatique qui interfère potentiellement sur la croissance de la moutarde et ses performance de piège à azote. Aucune référence bibliographique précise n'a pu être retrouvée au sujet du seuil de résistance au gel de la moutarde. Il semble toutefois, que selon les dires d'experts ayant suivi des essais sur plusieurs années, celui-ci se situe entre -3 et -6°C .

Une analyse fréquentielle de la date du premier gel à -3°C (Annexe 5) permet de situer, en année médiane, que le risque de gelées destructrices ou pour le moins pénalisantes, survient le 17 novembre dans le Haut-Rhin (représenté par la station météorologique de Meyenheim) et le 21 novembre pour le Bas-Rhin (représenté par la station météorologique d'Entzheim).

Si on considère ces dates comme seuils de l'arrêt de végétation d'une moutarde (croissance arrêtée même en l'absence de destruction totale), la température efficace disponible pour la croissance s'élève en valeur médiane à 630°C pour un semis au 20 septembre et à seulement 470°C pour un semis au 01 octobre (Annexe 5).

TABLEAU 5 : Essais de semis de post récolte d'une culture intermédiaire ITADA (1994-98)

Essais disponibles		Informations pédologiques			Informations sur le maïs			Informations sur le couvert				Reliquat d'azote		Remarques				
Numéro	Année	Lieu	Type de sol	Sensibilité au lessivage	Variété	Précocité	Date de récolte	Fertilisation N(U/ha)	Rendement q/ha	Espèce	Travail du sol	Date de semis	N prélevé(Kg/ha)		Date de destruction ou gel	Sol nu	Hiver	
														Récolte			Ave c	Sol nu
18	1994	Linx (D)	Sol brun profond, limon sableux	moyen	Jericho	t-P	23/09	156	109	Radis+moutarde	Oui	23/09	/	08/10 (gel)	26	41	54	bon démarrage maïs affecté par le froid
19	1994	Linx (D)	Sol brun profond, limon sableux	moyen	Jericho	t-P	24/09	156	109	Orge+trèfle Alex.	oui	23/09	/	début déc	26	12	54	bon démarrage maïs affecté par le froid
24	1994	Obernai	Loess profond	peu	Banguy	P	13/09	140	124	Radis+moutarde	oui	14/09	47	début déc	/	23	108	Bon développement de la moutarde
25	1994	Obernai	Loess profond	peu	Banguy	P	13/09	140	124	Orge+trèfle B	oui	14/09	24	début déc	/	28	108	développement satisfaisant de l'orge
28	1994	Rumersheim	Hardt, sol profond	moyen	Banguy	P	26/09	222	119	Radis+moutarde	oui	27/09	28	début déc	/	37	71	
29	1994	Rumersheim	Hardt, sol profond	moyen	Banguy	P	26/09	222	119	Orge+trèfle B	oui	27/09	17	début déc	/	85	71	faible développement
32	1995	Obernai	Loess	peu	Banguy	P	27/09	118	73	Radis+moutarde	oui	27/09	12	05/11(gel)	25	58	41	
35	1995	Oberhergheim	Hardt, sol profond	moyen	Banguy	P	29/09	260	106	Radis+moutarde	oui	29/09	40	début déc	80	87	59	
36	1995	Oberhergheim	Hardt, sol profond	moyen	Banguy	P	29/09	260	106	Orge+trèfle Blanc	oui	29/09	/	début déc	80	72	59	
40	1996	Marckolsheim	Ried brun profond sain	peu	Banguy	P	08/10	200	115	Seigle	non	08/10	/	26/3	55	151	59	très peu développé
61	1997	Rouffach	Limon argilo sableux	moyen	DK 256	P	23/09	139	93	Radis+moutarde	Chisel	24/09	/	28/10 (gel)	33	/	32	développement faible et hétérogène
62	1997	Rouffach	LAS	moyen	DK 256	P	23/09	139	93	Seigle	Chisel	24/09	/	10/12	33	27	32	développement faible et hétérogène
63	1997	Rouffach	LAS	moyen	DK 256	P	23/09	139	93	Seigle	Chisel	24/09	/	15/3	33	41	57	développement faible et hétérogène
64	1997	Rouffach	LAS	moyen	DK 256	P	22/10	139	94	Seigle	Chisel	24/10	/	10/12	42	/	/	développement faible et hétérogène
68	1998	Rouffach	LAS	moyen	Baltimore	P	22/09	151	104	Moutarde	Chisel	25/09	7	20/11 (gel)	21	33	16	(*)
69	1998	Rouffach	LAS	moyen	Baltimore	P	22/09	151	104	Seigle	Chisel	25/09	/	mars	21	19	16	(**) (**) bonne levée, MS négligeable en hiver

Rq 1 : Tous les maïs ont été récoltés en grains

Rq 2 : les essais en « caractères gras » font l'objet de fiches détaillées

4.2. La confrontation aux résultats d'essais

Tous les essais répertoriés de 1994 à 1997 sont consignés dans le tableau n° 5 p 29. Les essais les plus complets sur lesquels porte l'analyse et se fondent les commentaires sont présentés en fiches détaillées (annexe 7).

4.2.1. Atteint-on le potentiel ?

Le potentiel de croissance estimé grâce aux modèles n'est bien sûr pas atteint pour les raisons déjà évoquées.

Il est à noter que pour 4 sites d'essais sur 8, le semis de post-récolte est un échec agronomique puisque le couvert ne s'est pas implanté correctement (comme pour les parcelles de seigle 1996, 1997 et 1998) ou a été stoppé trop précocement dans sa croissance par une gelée consécutive (moutarde de Linx-1994 ou Obernai-1995).

Dans ces situations, l'expérimentateur a généralement alors jugé que l'installation était insuffisante pour effectuer des mesures de biomasse aérienne.

Dans les autres situations, le couvert s'est développé de très bien à faiblement, suivant le site et l'azote présent dans le sol. Ainsi, la culture intermédiaire faite de crucifères piège 40 kg N/ha à Oberhergheim en 1995 pour un reliquat d'azote à la récolte du maïs de 80 kg/ha, alors qu'à Rouffach en 1998, elle ne piège que 7 kg N/ha pour un reliquat récolte modeste de 21 kg N/ha. Dans cette dernière situation, le semis de post-récolte donne une végétation irrégulière et chétive, peu spectaculaire, mais l'on ne peut pas parler d'échec agronomique car l'on ne pouvait pas s'attendre à une forte croissance vu le faible niveau d'azote présent dans le sol.

4.2.2. Les causes de la mauvaise efficacité

Une des causes principales de la mauvaise efficacité d'une culture intermédiaire semée après la récolte du maïs est l'absence d'un cumul de température suffisant pour produire une biomasse importante et piéger une quantité significative de nitrates, gage d'un effet environnemental.

La date de récolte tardive du maïs grain est à l'origine de ce problème. Ainsi, par exemple, un mélange radis + moutarde semé en 1994 le 14 septembre (essai n°24) et le 27 septembre (essai n° 28) ont produit respectivement 1,09 et 0,69 tonnes de matière sèche aérienne par hectare, pour un piégeage d'azote de 46,5 et 28 kg/ha, ce qui illustre bien la question. Deux semaines d'écart à la date de semis en septembre créent des différences conséquentes au niveau des sommes de température (environ 200 °C pour 1994) et donc au niveau des croissances et de l'absorption d'azote.

Un automne froid (croissance modeste) et sec (levée difficile) ne permettra pas de réussite agronomique très probante car le couvert restera trop peu développé, sans que pour autant cela soit un échec environnemental car la minéralisation du sol sera faible et le lessivage quasi inexistant.

L'autre problème venant rendre le semis de post-récolte trop aléatoire dans une région au climat continental est la destruction des espèces sensibles par des gelées précoces. Ainsi, dans l'essai n°32 (Obernai 1995), la culture intermédiaire a seulement produit 0,3 T de MS/ha avec 12 kg N/ha d'azote piégé pour un semis au 27 septembre, car la moutarde a subi dans cet essai une gelée très précoce survenue au début novembre 1995 et sa végétation a été stoppée prématurément. Le même cas de figure se retrouve pour l'essai 68 (Rouffach 1998)

Les mesures d'azote répertoriées dans les essais n°25 et 29 semés avec un mélange d'orge et de trèfle nous prouvent que ces espèces ont une capacité d'absorption de l'azote plus faible que le mélange radis + moutarde. Ceci s'explique par la croissance plus rapide d'une crucifère que d'une céréale (Laurent et al. 1995).

D'après les commentaires des expérimentateurs, dans les essais de semis de mélanges, la moutarde ou l'orge se sont imposés aux radis ou trèfle. Le choix de ces mélange ne se justifie donc que pour des situations où l'on gardera le couvert en place jusqu'au printemps, ce qui permet aux espèces lentes d'installation mais résistantes au gel de se développer et d'occuper le sol. C'est par exemple le cas en Allemagne où l'on sème de la navette d'hiver qui contrairement à la moutarde résiste à l'hiver mais dans des situations de semis après maïs ensilage et de couverture laissées en place jusqu'à la sortie de l'hiver.

4.2.3. Les effets sur les reliquats azotés à l'entrée de l'hiver

Les fiches détaillées exposent (Annexe 7), par site d'essai, les différentes données disponibles permettant d'élaborer une conclusion quant à la réussite agronomique (installation du couvert) et environnementale (effet sur les reliquats azotés et les risques de lessivage).

Dans certains cas, la réduction notable de l'azote à l'automne ou à l'entrée de l'hiver (essais n°24 et 25) est sans aucun doute due au couvert végétal mis en place. Mais dans d'autres essais, il est parfois difficile d'interpréter les résultats car ils sont soumis à des interférences qui ne sont pas évaluées, telle que la minéralisation qui varie suivant le travail du sol mis en œuvre après la récolte du maïs en fonction des variantes testées.

4.3. La confrontation des résultats à la bibliographie

Planter une céréale semble totalement inadaptée et déconseillée pour les situations à risque de drainage précoce (sols très filtrants, pluies d'automne importantes...) et sera, quoi qu'il en soit, d'une efficacité très limitée, si l'on détruit la végétation à la fin de l'automne (Lajoux et Castillon, 1995).

Des expérimentateurs belges (Mouraux et al., 1993) ont réalisé des essais en plein champs de mise en œuvre de la technique de semis de post-récolte, en implantant des espèces comme la moutarde, le radis ou le seigle après un labour et une préparation superficielle du sol. Le couvert était maintenu pendant l'hiver et un prélèvement de biomasse était réalisé à la sortie de l'hiver.

Les conclusions principales de leurs études sont les suivantes :

- Pour une récolte du maïs tardive dans la saison, la plupart des espèces de couverture ne peuvent pas être implantées avec succès.
- Dans la pratique, seul le seigle d'hiver est utilisé, mais pour un maïs qui doit être récolté avant le 5-10 octobre.
- Avec des espèces à fort développement (végétatif et racinaire), comme le seigle, le profil du sol est pratiquement totalement épuisé en azote dès l'entrée d'hiver.
- La consommation des nitrates débute rapidement et l'on n'observe pas d'enrichissement du sol à l'arrière saison comme dans le cas d'un sol nu.
- A la fin de l'hiver, l'azote fixé par les couvertures végétales représente en moyenne de 40 à 60 kg N/ha. Il semble qu'un optimum se situe aux environs de 60-80 kg N/ha, pour un rendement en matière sèche de 2.000 à 2.500 kg/ha (Mouraux et al. 1993).

Ces chiffres de références obtenues dans une région moins continentale (repos végétatif moins précoce qu'en Alsace) posent les limites quant aux attentes vis à vis d'une culture intermédiaire en semis de post-récolte pour ce qui concerne la production de biomasse et le prélèvement en azote. Rappelons que pour les essais réalisés en Alsace ; l'implantation s'est fait sans travail du sol préalable.

A noter qu'au Lycée agricole de Courcelles-Chaussy (en Moselle), les essais conduits sur l'effet d'une interculture introduite dans une monoculture de maïs ensilage concluent qu'il n'y a pas d'autres choix que semer une céréale d'hiver après travail du sol, l'orge étant une bonne solution.

4.4. Les limites d'efficacité du semis de post récolte comme piège à nitrates

Le choix reste limité aux espèces à croissance rapide tel que les céréales (seigle, orge) ou les crucifères (moutarde). Dans tous les cas, pour espérer obtenir un effet significatif du couvert, le semis ne doit pas intervenir trop tardivement.

Le semis d'une moutarde semble une solution indiquée (rusticité de l'espèce, faible coût des semences...) mais cette espèce peut voir son effet limité par une gelée précoce certaines années (1 an sur 5, gel à -3°C dès la première semaine de novembre) et cela ne peut convenir qu'en région océanique ou en semis suffisamment précoce pour l'Alsace (10-15 septembre). De plus, en Alsace, le début de l'automne est souvent sec, ce qui s'avère limitant pour l'implantation de la moutarde, surtout sans travail du sol et semis à la volée des semences (manque d'humidité et mauvais contact graines - terre).

Le semis d'une céréale est à réserver au semis précoce, avec un travail du sol et un semis au semoir. Cette solution ne semble pouvoir s'envisager que pour les cas où l'on envisage de détruire la culture intermédiaire qu'à la sortie de l'hiver.

Dans des conditions favorables (moutarde semée au 15 septembre, par exemple), répondant à des exigences fortes (reliquats azotés importants), on peut envisager des efficacités de piègeages dépassant celles du semis de graminées sous couvert du maïs, avec plus de 40 Kg N/ha piégé dans les parties aériennes à l'entrée de l'hiver.

- **4.5 Questions économiques :**

Quels coûts supplémentaires faut-il imputer à cette technique ?

Sans tenir compte des coûts de l'implantation, fonction du choix opéré en matière de travail du sol, le semis de post-récolte est économique. On peut compter de 60 à 120 F/ha de coût de semences suivant l'espèce semée.

5. CONCLUSION

5.1. Résultat global de l'étude

Sous les conditions climatiques alsaciennes et quelle que soit la technique, les performances à attendre d'une culture intermédiaire au niveau du piégeage d'azote après la récolte d'un maïs grain sont modestes et irrégulières. La première des raisons à cela est la date tardive de récolte du maïs grain, courant octobre pour la majorité des surfaces, qui ne laisse que trop peu de temps avant le repos végétatif d'hiver pour une croissance conséquente de la culture intermédiaire.

Le semis de graminées sous couvert du maïs doit être fait en respectant certaines conditions pratiques (date de semis pas trop tardives, désherbage du maïs sélectif des graminées semées) si l'on veut s'assurer de la réussite de l'implantation de celle-ci. Sauf accident, les graminées seront alors présentes à la récolte du maïs. Cependant, après la moisson du maïs, la croissance de ce couvert végétal sera considérablement influée par la gestion des résidus de récolte et les conditions climatiques d'automne. Si cette pratique peut s'envisager raisonnablement derrière maïs fourrage, il en est autrement derrière maïs grain. Dans ce dernier cas, la réussite de l'installation est plus aléatoire et les performances de la culture intermédiaire resteront limitées.

Si le semis post-récolte d'une culture intermédiaire peut s'envisager après un maïs ensilage récolté avant la mi septembre, il est quasi impossible de réussir une telle implantation après la récolte d'un maïs grain qui n'intervient en moyenne, sous les conditions alsaciennes, qu'à partir de fin septembre pour les chantiers les plus précoces. Il reste alors en effet trop peu de jours favorables à la croissance avant l'hiver. Même si la levée des plantes s'effectue rapidement après le semis, ce qui n'est pas assuré chaque année, car l'automne est plutôt faiblement arrosé en Alsace, les températures deviennent dès novembre trop faibles pour assurer une croissance active du couvert. De plus, pour la moutarde, l'espèce au potentiel de croissance le plus intéressant, des gelées précoces peuvent la détruire certaines années dès fin octobre-début novembre.

Globalement, en Alsace, la faiblesse de la pluviométrie d'automne et surtout la faiblesse des sommes de températures à partir de novembre sont défavorables à l'atteinte d'une croissance importante d'une culture intermédiaire. Les résultats de la série d'essais rassemblés dans ce document ne laissent espérer en moyenne dans les situations où l'implantation est réussie, que 15 à 30 kg d'azote / ha piégés par la végétation et les racines du couvert à l'entrée de l'hiver en fonction des sites (et notamment des reliquats azotés d'après récolte du maïs).

Les limites d'efficacité d'une culture intermédiaire derrière maïs sont maintenant cernées. Des ajustements des pratiques d'installation pourraient sans doute contribuer à fiabiliser encore le résultat mais resteront probablement sans grand effet sur les capacités du couvert à piéger l'azote. Cependant, bien que d'un effet limité dans les conditions alsaciennes, la couverture du sol après récolte d'un maïs peut contribuer à la réduction des risques de lessivage de nitrates et son intérêt mériterait d'être discuté dans les situations les plus sensibles (en systèmes avec apports de déjections animales, en périmètres de captage protégé...).

5.2. Bilan des points forts et des points faibles

Le tableau ci-dessous regroupe de manière synthétique tous les éléments qui peuvent être considérés comme positifs ou négatifs pour les deux types d'implantation envisageable d'une culture intermédiaire derrière maïs.

Le semis sous-couvert

	<i>Points forts</i>	<i>Points faibles</i>
<i>Faisabilité pratique</i>	<ul style="list-style-type: none"> - semis du RG possible en même temps que le binage (et que le désherbage chimique sur le rang si l'on fait du mixte) - aucune intervention spécifique à l'automne en période de récolte des maïs 	<ul style="list-style-type: none"> - le semis à la volée sans binage combiné est aléatoire - pas de désherbage chimique en plein du maïs avec des produits antigaminées persistants
<i>Efficacité environnementale</i>	<ul style="list-style-type: none"> - piégeage d'azote à l'automne permet de réduire les reliquats en nitrates et le lessivage en hiver 	<ul style="list-style-type: none"> - potentiel de piégeage de l'azote limité par une croissance dépendante de la date de récolte et des conditions climatiques automnales (déficit de température)
<i>Coût des techniques</i>	<ul style="list-style-type: none"> - le désherbage mixte combiné au semis permet d'économiser du désherbant - pas de passage supplémentaire à l'automne - en semis derrière maïs fourrage, valorisation possible de l'herbe au printemps 	<ul style="list-style-type: none"> - coût de la semence assez élevé - en maïs grain, choix d'une variété précoce obligatoire
<i>Autres répercussions annexes</i>	<ul style="list-style-type: none"> - effets bénéfiques pour le sol (tassement moindre à la récolte, lors de passage d'engins épandeurs), - enrichissement du sol en matière organique après retournement - si couvert gardé en hiver, diminue le ruissellement voire l'érosion des sols en pente - couvert pouvant être gardé en jachère 	<ul style="list-style-type: none"> - incidence à long terme des ravageurs abrités dans les cannes de maïs non broyées à l'automne (pyrale,)

Le semis de post-récolte

	<i>Points forts</i>	<i>Points faibles</i>
<i>Faisabilité pratique</i>	<ul style="list-style-type: none"> - pas de modification de l'itinéraire technique du maïs - en principe, plus grand choix d'espèces 	<ul style="list-style-type: none"> -Attaque de limaces possibles - levée souvent hétérogène suite à la sécheresse de fin d'été - risque de gel précoce pour la moutarde
<i>Efficacité environnementale</i>	<ul style="list-style-type: none"> - piégeage d'azote à l'automne permet de réduire les reliquats en nitrates et le lessivage en hiver 	<ul style="list-style-type: none"> - potentiel de piégeage de l'azote limité (fonction de la date de récolte et des conditions climatiques automnales et)
<i>Coût des techniques</i>	<ul style="list-style-type: none"> - semences peu coûteuses 	<ul style="list-style-type: none"> - passage d'outils pour préparer le semis
<i>Autres répercussions annexes</i>	<ul style="list-style-type: none"> - effet sur le ruissellement voire l'érosion du sol - enrichissement du sol en matière organique 	<ul style="list-style-type: none"> - choix du couvert peut être limité par les autres cultures de la rotation (choux, colza, betterave sucre.)

RESUME

Depuis les années quatre-vingt, le maïs est devenue la culture phare des exploitations agricoles de la plaine du Rhin supérieur et l'on en trouve aujourd'hui environ 155 000 ha en Alsace (dont 140 000 ha en grains et le reste en maïs ensilage), soit 46 % de la SAU, et environ 130 000 ha en Bade-Wurtemberg (dont 75 000 en maïs fourrage).

La meilleure marge procurée par le maïs a conduit à la simplification des systèmes et au développement de la monoculture sur certains secteurs en Alsace (plaine du centre –sud, bande rhénane nord) où les sols restent sans couverture végétale durant la moitié de l'année. En même temps, l'intensification de la culture via de fortes fertilisations azotées et l'irrigation a conduit à renforcer les possibles lessivages de nitrates vers la nappe phréatique. Ceci a provoqué inévitablement la montée des préoccupations des gestionnaires de la qualité de l'eau et abouti à l'accusation fréquemment portée au maïs d'être une culture " polluante ".

C'est pourquoi depuis maintenant 10 ans, la profession agricole alsacienne a cherché à mettre au point les techniques culturales permettant d'apporter au maïs l'azote et l'eau au plus près de ses besoins (dose, fractionnement...) par la mise en place de réseaux d'expérimentations. Parallèlement, de vastes opérations de conseil aux agriculteurs (Ferti-Mieux et plus récemment l'avertissement irrigation) ont été développées avec le soutien des pouvoirs publics. Celles-ci ont permis aux agriculteurs de mieux mesurer les enjeux économiques et environnementaux, d'accéder aux meilleures techniques possibles et d'évoluer progressivement volontairement vers des pratiques plus sûres pour l'environnement.

Aujourd'hui, force est de constater que si les pratiques de fertilisation et d'irrigation évoluent sur le terrain dans le bon sens, la plaine d'Alsace reste nue en hiver. L'azote restant dans le sol à l'automne, issu de reliquats d'après récolte en cas de " contre-performance " du maïs ainsi que de la minéralisation des sols, a donc de fortes chances d'être lessivé en profondeur et de contribuer à la pollution nitrique diffuse des eaux souterraines.

Le semis d'une culture intermédiaire après récolte d'un maïs grain est il envisageable en Alsace ?

Si l'on peut envisager l'installation d'une culture intermédiaire après un maïs ensilage récolté avant la mi septembre, il est quasi impossible de réussir une implantation performante après la récolte d'un maïs grain qui n'intervient en moyenne, sous les conditions alsaciennes, qu'à partir de fin septembre pour les chantiers les plus précoces.

Il reste alors en effet trop peu de jours favorables à la croissance d'une culture intermédiaire avant l'hiver. Même si la levée des plantes s'effectue rapidement après le semis, ce qui n'est pas assuré chaque année, car l'automne est plutôt faiblement arrosé en Alsace, les températures deviennent dès novembre trop faibles pour assurer une croissance active du couvert. Enfin, comme l'indiquent les études climatiques fréquentielles, en année médiane, une température inférieure ou égale à - 3°C viendra stopper la croissance d'une moutarde dès la mi novembre pour la plaine de Colmar-Mulhouse ou bien provoquer sa destruction par gel. Parmi les autres espèces au développement rapide fréquemment utilisées pour la couverture des sols, la phacélie gèlera encore plus facilement ! Le semis d'une navette fourragère d'hiver, résistante au gel, est une alternative possible, développée dans certains cas de l'autre côté du Rhin, en Bade-Wurtemberg, mais sa croissance est lente et son implantation est à réserver à des situations où le labour est repoussé à la sortie de l'hiver.

Le semis d'une céréale, espèce résistante au gel et peu coûteuse en semences ne s'avère pas non plus intéressant pour une culture intermédiaire destinée à être retournée au début de l'hiver car son potentiel de croissance est trop faible à l'automne pour un semis après la récolte du maïs. Les quelques essais de suivi d'un couvert de seigle laissé en place pendant l'hiver pour une destruction au début du printemps avant le semis du maïs n'ont pas non plus été concluants, la céréale étant trop mal installée et trop peu poussante en hiver pour améliorer ses performances en fixation d'azote du sol.

Le semis de graminées sous couvert du maïs : une alternative possible mais au résultat aléatoire !

Le semis sous-couvert désigne le fait de semer une ou un mélange d'espèces, généralement du ray-grass, entre les rangs de maïs et au début de sa période végétative. Cette culture intermédiaire s'installe tout doucement au début de l'été (stade 3-4 feuilles à début tallage pour un ray-grass vers la fin juillet) et reste ensuite à l'état latent en août et septembre sous le maïs. Elle prend ensuite de la vigueur lorsque les maïs se dessèchent et laissent pénétrer à nouveau la lumière jusqu'au sol (septembre – octobre), puis sa croissance devient maximale après la récolte de la céréale.

Le but du semis intercalaire est de piéger l'azote que le maïs n'aurait pas consommé mais aussi d'assurer une couverture végétale protégeant le sol après récolte en évitant l'érosion ou encore le tassement par les machines à la récolte ou lors d'épandage de déjections animales. Cette technique qui a été étudiée dans de nombreux pays (Allemagne, France, Belgique, Hollande et Suisse) est aujourd'hui bien connue et préconisée dans le cas du maïs ensilage et dans des régions qui ne sont pas exposées à des déficits hydriques. En Bade-Wurtemberg, cette pratique est développée sur les surfaces de maïs ensilage des exploitations ayant contracté des mesures agri-environnementales (programme MEKA), permettant de bénéficier d'une indemnisation forfaitaire de 140 DM/ha (environ 460 FF/ha) pour le semis de la culture intermédiaire, ou bien encore par obligation (loi SchALVO) dans les périmètres de captage protégés si le maïs grain se succède à lui-même. La date de retournement est fixée au 15 décembre pour les sols légers ou les parcelles ayant reçus des fertilisants organiques.

Pour ce qui concerne le maïs grain en Alsace, couramment récolté en octobre, ce thème a fait l'objet de travaux d'expérimentations ou de démonstrations depuis une dizaine d'années, dont plus de la moitié ont été réalisés dans le cadre des travaux de l'ITADA depuis 1994 (1).

En Alsace, les essais ont été réalisés le plus souvent avec une association de ray-grass anglais et de ray-grass d'Italie (fréquemment le mélange commercial allemand "Sédamix", constitué de 70 % de RGA et de 30 % de RGI).

Ces essais ont permis de mettre en évidence que le semis sous couvert était une technique difficile d'emploi dans les cultures de maïs grain. Les raisons en sont les suivantes :

- l'installation du ray-grass peut être un échec suite à une levée insuffisante à cause d'une sécheresse excessive du sol, à une phytotoxicité du désherbage du maïs ou bien encore une concurrence du maïs trop vive en été à cause d'un semis trop tardif de la graminée (après le stade 6-8 feuilles) qui n'a pas le temps de s'installer avant que le maïs ne couvre l'interligne. Une variété de maïs défavorable car tardive et dotée d'un fort développement végétatif peut aussi s'avérer responsable de l'échec de l'installation de la graminée. A noter que l'irrigation est un facteur qui ne facilite pas forcément l'installation du ray-grass, car le développement végétatif du maïs est alors maximum et occasionne une compétition pour la lumière renforcée pour la graminée sous couvert.
- Une mauvaise efficacité du couvert trouve son origine dans une date de récolte trop tardive qui ne laisse plus suffisamment de temps avant l'hiver pour une croissance significative ou bien encore une mauvaise gestion des résidus de récolte. A noter

cependant qu'une faible croissance du ray-grass après la récolte du maïs, occasionnée par exemple par une sécheresse prolongée d'automne ou bien une absence d'azote résiduel dans le sol se traduit par une faible absorption d'azote par le couvert et une impression d'échec de la technique, alors que le mauvais développement n'est pas pour autant synonyme d'échec sur le plan environnemental car le risque de lessivage de nitrates est alors quasiment nul.

- **Les effets du semis sous-couvert pour un maïs grains**

Grâce à la présence d'un ray-grass installé sous couvert, et dans le cas d'un maïs grain récolté assez précocement (fin septembre- début octobre), on peut tabler sur :

- une diminution de la quantité de nitrates disponibles pour le lessivage. Il semble raisonnable, pour une situation moyenne sans excès de reliquats azotés à la récolte du maïs, de tabler sur 15 à 20 kg N/ha d'absorbés par la culture intermédiaire (parties aériennes + racines) d'ici l'entrée de l'hiver, comme l'ont montré les essais alsaciens. Dans des situations de reliquats azotés importants après récolte du maïs, l'absorption du couvert a pu être plus élevée (jusqu'à 45 kg N/ha dans la partie aérienne des plantes soit environ 60 kg N/ha en tenant compte des racines).
- une consommation d'eau, proportionnelle à la biomasse réalisée par le couvert, qui retardera la date de retour à une situation de drainage du sol, période à partir de laquelle le lessivage des nitrates débute.

Ces chiffres situent bien les limites que l'on peut attendre d'une technique de mise en place d'une culture intermédiaire par semis d'un ray-grass sous couvert d'un maïs grains. L'absorption d'azote par la couverture végétale obtenue dans les essais alsaciens n'a jamais atteint les valeurs obtenues dans les essais belges, allemands ou de suisse alémanique.

Les maïs à la végétation très luxuriante en Alsace (en partie irrigués) exercent sans doute un ombrage encore plus pénalisant qu'ailleurs, provoquant un dépérissement d'une grande partie des ray-grass juvéniles. De plus, la pluviométrie souvent limitée à l'automne (27 à 32 mm en valeur médiane d'octobre sur 40 ans pour les stations d'Entzheim et de Meyenheim) ne permet pas vraiment à la culture intermédiaire de faire un fort rendement avant l'hiver et limite ainsi ses capacités à "piéger" l'azote du sol.

Une telle technique peut cependant contribuer utilement à diminuer les risques de lessivage de nitrates vers la nappe dans certaines situations préoccupantes (contre-performances du maïs qui conduit à une situation de surfertilisation). L'efficacité du couvert végétal devrait être plus forte s'il est conservé pendant tout l'hiver pour n'être détruit qu'au printemps suivant.

Cette pratique pourrait s'envisager dans les cas où l'érosion pose problème ou bien chez les exploitations qui pourraient tirer partie d'une valorisation du fourrage produit avant sa destruction.

Le bilan à grande échelle d'une telle pratique semble séduisant, puisque l'on pourrait théoriquement grâce à la présence d'un couvert derrière maïs et en prenant en valeur moyenne 15 kg d'azote absorbés par hectare, fixer à l'automne sur les 155 000 ha de maïs alsaciens environ 2 300 tonnes d'azote qui seraient potentiellement soustraites du lessivage hivernal.

Cependant, il faut bien reconnaître que cette pratique qui non seulement aurait un coup important, ne constituerait absolument pas à elle seule une "assurance tout risque" et ne serait surtout pas généralisable à vaste échelle en Alsace.

En effet, pour l'essentiel de la sole de maïs grain alsacien qui est récolté après le 10 octobre, la technique de semis sous couvert d'un ray-grass est à considérer comme inadaptée. Le risque d'échec de l'installation du ray-grass est en effet non négligeable et l'efficacité en tant que piège à nitrates très limitée pour un couvert détruit par labour à l'entrée de l'hiver.

Les freins à la mise en œuvre de la pratique du semis sous couvert :

- *Les coûts directs :*

Les coûts immédiats engendrés sont ceux de l'achat des semences et du passage supplémentaire pour le semis dans le cas le plus classique. Le coût des semences varie pour 20 kg/ha entre 250 et 350 F/ha. Enfin, le recours à un entrepreneur pour un binage préalable au semis (150 à 200 F/ha) ou un passage qui combine le binage, le désherbage localisé et le semis de ray-grass entre les rangs du maïs (coût moyen non établi) renforcent d'autant les charges. La technique unanimement recommandée d'un semis simultané avec un passage combinant le désherbage chimique localisé sur le rang et le binage entre les rangs permet déjà d'éviter un passage spécifique pour le semis du ray-grass et présente l'intérêt de pouvoir diminuer la quantité de semences car le contact sol-graines renforcé par le binage permet une meilleure levée.

- *Le manque de matériels adaptés dans les exploitations :*

En l'absence de recours à du matériel qui permet de biner, désherber sur le rang et semer en même temps, on peut utiliser un épandeur pneumatique d'engrais muni de "pendillards" qui déposent les semences à la surface du sol entre les rangs. Avec cette solution, on peut ensemençer facilement plusieurs dizaines d'hectares par jour.

Attention, les distributeurs à engrais centrifuges ne conviennent pas car les semences sont trop légères et leur distribution trop irrégulière (retenues aux aisselles des feuilles des maïs).

- *Le désherbage à adapter à la technique du semis sous couvert*

Le désherbage chimique sur le rang combiné avec un binage est plus lent qu'un traitement chimique classique en plein ce qui paraît difficile de réalisation lorsque l'on cultive de grandes soles de maïs. Cependant, une bineuse de 6 m équipée d'un pulvérisateur pour application localisée, désherbe environ 20 à 25 ha par jour (passage à 8 km/h). Bien sûr, il faut plus de temps que dans le cas d'un désherbage en plein avec un appareil de 24 m. Cependant, il convient de considérer l'économie en désherbants permise par la réduction de la dose d'environ 2/3 à l'hectare, ainsi que l'effet favorable sur l'environnement.

Notons qu'il est également envisageable de pratiquer un désherbage en plein du maïs avec des programmes qui ne sont pas phytotoxiques sur les ray-grass, soit en décalant suffisamment la date de traitement de celle du semis (désherbage de pré-levée), soit en utilisant des produits de post-levée qui ne sont pas agressifs (Mikado, Lentagran, Banvel, Titus+Bropyr...).

- *L'influence de la présence du ray-grass sur la productivité du maïs*

Contrairement à certains préjugés, les références obtenues indiquent que le semis intercalaire sous couvert du maïs n'exerce un effet dépressif que si l'on sème à un stade trop précoce (avant 4-6 feuilles).

- *L'abandon de variétés de maïs tardives pour fiabiliser la réussite de la pratique.*

On peut s'interroger si, en valeur moyenne, on prend un risque certaines années de ne pas atteindre le niveau de rendement maximum qu'offrent les variétés tardives. Le surcroît de rendement apporté par les variétés tardives n'est cependant pas systématiquement très important comme l'indiquent les comparaisons (Banguy / DK 300) faites dans certains essais de l'ITADA. D'autres situations ont permis de montrer qu'aucune différence conséquente de rendement ne se retrouvait entre une coupe du maïs réalisée fin septembre et une autre plus tardive à la mi-octobre pour une même variété sur une même parcelle. Le potentiel de rendement n'est donc pas systématiquement très handicapé par une date de récolte avancée du maïs, par contre il faut compter avec une humidité supérieure et donc avec des frais de séchage supplémentaires.

- *L'absence de broyage après la récolte des résidus*

Il est conseillé par les services techniques de broyer finement les cannes de maïs après la récolte afin de diminuer les populations de chenilles foreuses (pyrale, noctuelle...).

Quelle serait l'incidence d'un retour à des surfaces importantes de résidus de récolte non broyés à l'automne.

Publications sur les cultures intermédiaires derrière une culture de maïs

Amon H.U. – 1993- von der Unkrautbekämpfung zur Regulation der Grünbedeckung im Maïs. Landwirtschaft Schweiz Band n°6 : 649-660

Cabaret MM et Al – 1995 – synthèse de travail sur 3 essais d'implantation d'un couvert végétal en culture de maïs – chambre d'agriculture de Côtes d'Armor -

Chapot JY 1992 – nitrogen uptake kinetics of six nonleguminous cover crops after wheat to recover 100 kg /ha of residual nitrogen. Book of abstracts 2 th ESA Congress (Warwick) 344-345

Chapot JY 1992 – comparison of nitrogen uptake potential of six nonleguminous cover crops after wheat. Estimate of some parameters of nitrate uptake. Book of abstracts 2 th ESA Congress (Warwick), 778-779

Figaro M. - dans le sud-ouest : implanter un ray-grass entre deux maïs – France Agricole août 1997 p 21-22

Kansy G., Lasserre D. et Junkers F. – 1997- mise en place de cultures intermédiaires après maïs avec et sans irrigation. Rapport de synthèse 1994-95 du projet 4 ITADA – 8 p

Klay R. - 1984- Untersaaten zu Maïs – rapport de Doctorat – FiBL 188 p

Havard et al – 1998 : désherbage mixte du maïs et semis intercalaire de ray-grass – guide pratique de la chambre d'agriculture de Bretagne – guide pratique de 8 p

Hugger H. 1989 – Umweltschonender Maisanbau in Südbaden - Zeitschrift Maïs 1/89 : 20-21

Lacroix A : les solutions agronomiques à la pollution azotée – courrier de l'environnement de l'INRA n°24

Lasserre D : comment piéger les nitrates entre deux maïs , Terroir magazine octobre 1996 p46-47

Laurent F –1995– Azote et interculture - dossier coordonné par ITCF – 64 p

Mouroux et al – 1993 – couverture du sol en cultures de maïs et betterave sucrière – rapport de synthèse de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (IRSIA)- Bruxelles- (B)²

Thècle V. : piéger les nitrates : du ray-grass sous couvert e maïs - France Agricole avril 1998 p23

Thierry J. et al – 1994- compte rendu de synthèse d'expérimentations réalisées en Bretagne sur le semis de ray-grass entre les rangs de maïs – AGPM et Chambre d'agriculture de Bretagne

Urvoy C. : monoculture en Alsace : Maïs : des couverts pour éviter le lessivage – France Agricole avril 1997 p28

Van Dijk W. et al – 1997- Binden Zwischenfrüchte ausreichend Stickstoff? Zeitschrift Maïs n°2/97 –4 p

Vullioud P. et Collaud JF- 1997- semis intercalaire en cultures de maïs. Revue suisse d'agriculture n°29 : 253-257

ANNEXES

Annexe 1 - Tableau récapitulatif des essais de plein champ de la plaine rhénane (Alsace et Pays de Bade)

Annexe 2 - Biomasse d'une céréale implantée en semis de post-récolte

Annexe 3 - Biomasse d'une crucifère implantée en semis de post-récolte

Annexe 4 – Analyse fréquentielle de la pluviométrie en Alsace

Annexe 5 – Etude fréquentielle de la date du premier gel

- Etude fréquentielle des sommes de températures obtenues entre une date fictive de semis de moutarde et la date moyenne de première gelée conséquente

Annexe 6 - Culture intermédiaire semée sous couvert de maïs

Série de fiches descriptives des essais les plus complets : 6, 12, 16, 22/23, 26/27, 30/31, 33/34, 59/60, 66/67

Annexe 7 - Culture intermédiaire semée en post-récolte du maïs

Annexe 8 - Matières actives d'herbicides utilisées lors des expérimentations de sous semis et agressivité sur le ray-grass

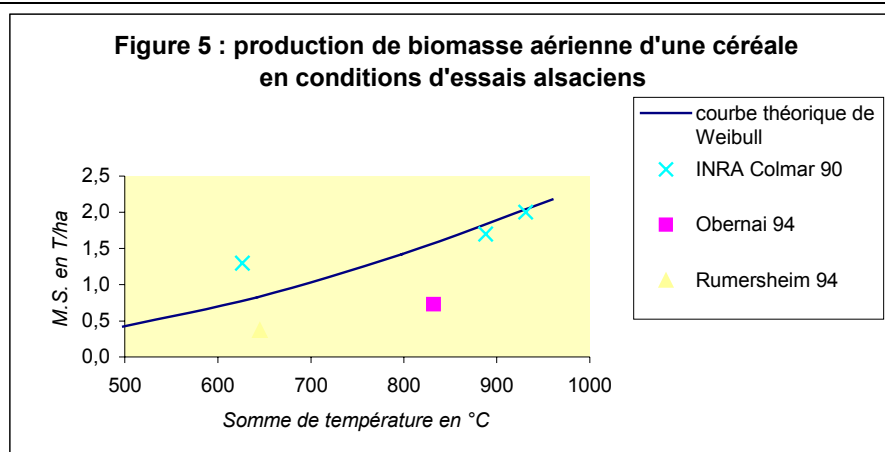
Série de fiches descriptives des essais les plus complets : 24/25, 28/29, 32, 35/36, 62, 68

Annexe 9 – Effet du semis d'un ray-grass sous couvert sur la productivité du maïs

ANNEXE 1 : Tableau récapitulatif des essais de plein champ					
de la plaine rhénane (Alsace et Pays de Bade)					
Numéro d'essai	Site d'essai		Organismes expérimentateurs	Compte-rendu édité par	Station Météo
	Année	Lieu			
1/2	1988	Rustenhart	ITCF/CA 68	ARAA	Meyenheim
3/4	1989	Rustenhart	ITCF/CA 68	ARAA	Meyenheim
5	1989	Oberhergheim	ITCF/CA 68	ARAA	Meyenheim
6	1990	Pfettisheim	CA 67	ARAA	Entzheim
7/8	1990	Niederentzen	ITCF/CA 68	ARAA	Meyenheim
9	1990	Stotzheim	CA 67	ARAA	Sélestat
10	1991	Hilsenheim	CA 67	ARAA	Sélestat
11	1991	Landser	ITCF/CA 68	ARAA	Mulhouse
12	1993	Dornach	CA 68	ARAA	Mulhouse
13	1993	Hettenschlag	CA 68	ARAA	Meyenheim
14	1993	Ste Croix	CA 68	ARAA	Meyenheim
15	1993	Oberhergheim	CA 68	ARAA	Meyenheim
16	1993	Roggenhouse	CA 68	ARAA	Meyenheim
17	1993	Blodelsheim	CA 68	ARAA	Meyenheim
18/19/20/21	1994	Linx	IfuL	ITADA	/
22/23/24/25	1994	Obernai	ITCF/LAO	ITADA	Entzheim
26/27/28/29	1994	Rumersheim	ITCF/CAC	ITADA	Meyenheim
30/31/32	1995	Obernai	ITCF/LAO	ITADA	Entzheim
33/34/35/36	1995	Oberhergheim	ITCF/CAC	ITADA	Meyenheim
37/38/39/40	1996	Marckolsheim	ITCF/AGPM	ITADA	Sélestat
41/42	1996	Ebnet	IfuL	ITADA	Ebnet
43/44/45	1996	Zarten	IfuL	ITADA	Ebnet
46	1996	Stegen	IfuL	ITADA	Ebnet
47	1996	Buchenbach	IfuL	ITADA	Ebnet
48	1996	Burg	IfuL	ITADA	Ebnet
49/50/50b	1996	Kirchzarten	IfuL	ITADA	Ebnet
51/52/53/54	1996	Breisach	INRA	ITADA	/
59/60/61/62/63/64	1997	Rouffach	ITCF/AGPM/LAR	ITADA	Meyenheim
55/56/57/58	1997	Breisach	INRA	ITADA	/
65	1997	Ebnet	IfuL	ITADA	Ebnet
66/67/68/69/70	1999	Rouffach	ITCF/AGPM/LAR	ITADA	Meyenheim
Les numéros en gras sont des essais de semis en post-récolte					

ANNEXE 2

BIOMASSE D'UNE CÉRÉALE IMPLANTÉE EN SEMIS DE POST-RECOLTE					
Date de semis	Somme temp.	M.S. en T /ha	Calcul de la production de biomasse d'une céréale en fonction des sommes de températures qu'elle a reçues entre sa date de semis et l'arrêt de végétation (1/12) à l'aide de la fonction de Weibull en conditions non limitantes		
01-sept	960	2,18			
10-sept	798	1,42			
20-sept	642	0,82			
01-oct	498	0,42			
Les paramètres retenus pour l'application de la fonction de Weibull sont ceux du seigle.					
$M.S. = 6,35 * (1 - \text{EXP}(-0,47 * (\text{Temp}^2,75)))$					
Domaine de validité de la fonction de Weibull appliquée au seigle :					
400 à 1780°C pour 0,4 à 5,4 T de M.S./ha					
A noter que le seigle a une croissance plus importante que l'orge.					
Source : ITCF, INRA (Perspectives Agricoles n°206 - oct 95)					
Rq: les températures sont les sommes des moyennes décadaires des années 1988 à 1997 à Colmar					
Tableau des essais de plein champ réalisés en plaine rhénane					
Espèce végétale	Lieu et année	Somme température au 1 déc	M.S. (T/ha)	Date de semis	
Orge + (trèfle blanc)	Obernai 94	832	0,73	14-sept	
	Rumersheim 94	645	0,37	27-sept	
Rq : seul les essais où la matière sèche (MS) était connue sont répertoriés.					



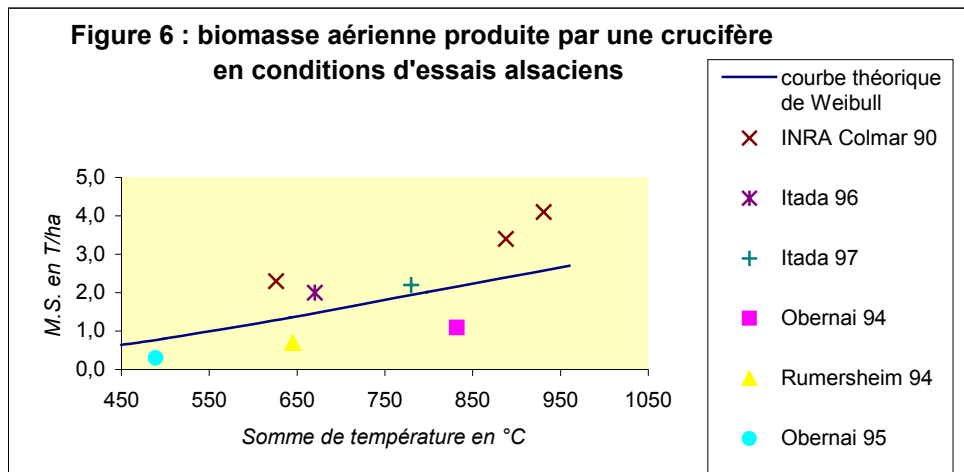
ANNEXE 3 : BIOMASSE D'UNE CRUCIFÈRE IMPLANTÉE EN SEMIS DE POST-RECOLTE				
				Calcul de la production
				de biomasse d'une crucifère
Date de semis	Somme temp.	M.S. en T /ha		en fonction des sommes
01-sept	960	2,70		de températures qu'elle a reçues
10-sept	798	2,02		entre sa date de semis
20-sept	642	1,35		et l'arrêt de végétation (1/12)
01-oct	498	0,80		à l'aide de la fonction de Weibull
				en conditions non limitantes
Les paramètres retenus pour l'application de la fonction de Weibull sont ceux de la moutarde.				
$M.S. = 4,45 * (1 - \text{EXP}(-1,03 * (\text{Temp}^{2,37})))$				
Domaine de validité de la fonction de Weibull appliquée à la moutarde :				
400 à 1840°C pour 0,5 à 3,8 T de M.S./ha				
Source : ITCF, INRA (Perspectives Agricoles n°206 - oct 95)				
Rq: les températures sont les sommes des moyennes décadaires des années 1988 à 1997 à Colmar				
Tableau des essais de plein champ réalisés en plaine d'Alsace				
Espèce végétale	Lieu et année	Température*	M.S. (T/ha)	Date de semis
Moutarde + (radis)	Obernai 94	832	1,09	14-sept
	Rumersheim 94	645	0,69	27-sept
	Obernai 95	489	0,30	27-sept

*** : Somme de température à l'arrêt de végétation**

Les chiffres en gras sont hors du domaine de validité

Rq : seuls les essais où la biomasse (MS) était connue sont répertoriés.

La mesure d'Obernai 94 a été effectuée le 24 janvier mais on estime que la MS générée après le 1/12 est négligeable



ANNEXE 4 :

ANALYSE FREQUENTIELLE DE LA PLUVIOMETRIE					
MEYENHEIM					
de 1957 à 1997					
Date début	Date fin	Décile 2	Médiane	Décile 8	Moyenne
01/06	10/06	14	25	36	27
11/06	20/06	5	20	30	21
21/06	30/06	7	21	32	22
01/07	10/07	7	22	32	24
01/09	10/09	3	11	23	15
11/09	20/09	3	14	27	17
21/09	30/09	3	12	27	16
01/10	10/10	2	9	19	12
11/10	20/10	2	16	30	17
21/10	31/10	3	7	22	11
01/11	10/11	2	12	30	17
11/11	20/11	2	13	32	20
21/11	30/11	2	9	22	12
Somme de la pluviométrie d'oct. et de nov. :			66 mm		
MULHOUSE					
de 1984 à 1997					
Date début	Date fin	Décile 2	Médiane	Décile 8	M+F107oyenne
01/06	10/06	7	22	47	26
11/06	20/06	1	19	27	18
21/06	30/06	0	11	29	18
01/07	10/07	4	22	42	27
01/09	10/09	0	19	41	22
11/09	20/09	6	16	33	21
21/09	30/09	0	10	52	24
01/10	10/10	5	14	28	18
11/10	20/10	1	16	43	22
21/10	31/10	4	8	29	18
01/11	10/11	1	10	34	18
11/11	20/11	3	10	44	21
21/11	30/11	0	4	27	12
Somme de la pluviométrie d'oct. et de nov. :			62 mm		

SELESTAT					
de 1988 à 1997					
Date début	Date fin	Décile 2	Médiane	Décile 8	Moyenne
01/06	10/06	4	21	36	23
11/06	20/06	0	3	15	8
21/06	30/06	4	16	22	16
01/07	10/07	1	13	50	24
01/09	10/09	2	8	26	18
11/09	20/09	4	10	18	14
21/09	30/09	0	7	22	14
01/10	10/10	9	14	20	21
11/10	20/10	0	7	21	12
21/10	31/10	0	6	18	10
01/11	10/11	2	9	19	16
11/11	20/11	6	13	17	15
21/11	30/11	0	5	14	7
Somme de la pluviométrie d'oct. et de nov. :			54 mm		
ENTZHEIM					
de 1955 à 1997					
Date début	Date fin	Décile 2	Médiane	Décile 8	Moyenne
01/06	10/06	10	21	33	23
11/06	20/06	8	3	38	25
21/06	30/06	7	16	40	26
01/07	10/07	8	13	36	23
01/09	10/09	5	8	31	18
11/09	20/09	6	10	27	21
21/09	30/09	2	7	26	16
01/10	10/10	4	14	22	14
11/10	20/10	2	7	31	18
21/10	31/10	2	6	26	13
01/11	10/11	3	9	24	15
11/11	20/11	6	13	24	18
21/11	30/11	3	5	21	12
Somme de la pluviométrie d'oct. et de nov. :			74 mm		

ANNEXE 5 :

<u>Étude fréquentielle de la date du premier gel</u>					
<u>du 1er septembre au 31 décembre</u>					
Les stations de Meyenheim et d'Entzheim sont représentatives de la plaine d'Alsace (de Haguenau à Mulhouse)					
Station de MEYENHEIM					
(de 1957 à 1997)					
Premier gel	Minimum	Décile 2	Médiane	Décile 8	Maximum
à -2°C	08/10	24/10	04/11	12/11	29/11
à -3°C	22/10	05/11	17/11	29/11	01/01
à -4°C	24/10	09/11	23/11	06/12	01/01
Station de ENTZHEIM (de 1955 à 1997)					
Premier gel	Minimum	Décile 2	Médiane	Décile 8	Maximum
à -2°C	23/10	05/11	19/11	29/11	01/01
à -3°C	26/10	11/11	21/11	01/12	01/01
à -4°C	27/10	11/11	29/11	27/12	01/01
Minimum : au plus tôt					
Décile 2 : 1 année sur 5					
Médiane : 1 an sur 2					
Décile 8 : 8 année sur 10					
Maximum : au plus tard					

ANNEXE 5 :

ETUDE FREQUENTIELLE DES SOMMES DE TEMPERATURES OBTENUES ENTRE UNE DATE FICTIVE DE SEMIS DE MOUTARDE ET LA DATE MOYENNE DE PREMIERE GELEE CONSEQUENTE					
Station de MEYENHEIM					
du 01/10 au 17/11			du 20/09 au 17/11		
	Critère	T moyenne		Critère	T moyenne
	Minimum	337		Minimum	513
	Décile 1	383		Décile 1	539
	Décile 2	389		Décile 2	567
	Décile 3	398		Décile 3	573
	Décile 4	424		Décile 4	588
	Médiane	445		Médiane	602
	Décile 6	456		Décile 6	618
	Décile 7	471		Décile 7	630
	Décile 8	480		Décile 8	643
	Décile 9	502		Décile 9	648
	Maximum	550		Maximum	680
	N	22		N	22
	Moyenne	440		Moyenne	600
	Ecart-type	53		Ecart-type	45
Station de ENTZHEIM					
du 01/10 au 21/11			du 20/09 au 21/11		
	Critère	Tmoyenne		Critère	Tmoyenne
	Minimum	389		Minimum	548
	Décile 1	398		Décile 1	568
	Décile 2	419		Décile 2	591
	Décile 3	431		Décile 3	603
	Décile 4	458		Décile 4	622
	Médiane	470		Médiane	631
	Décile 6	490		Décile 6	637
	Décile 7	500		Décile 7	653
	Décile 8	504		Décile 8	665
	Décile 9	517		Décile 9	674
	Maximum	541		Maximum	688
	N	22		N	22
	Moyenne	465		Moyenne	627
	Ecart-type	48		Ecart-type	41

ANNEXE 6

Culture intermédiaire semée sous couvert de maïs :

Série de fiches descriptives des essais les plus complets

Essai 6

Essai 12

Essai 16

Essai 22/23

Essai 26/27

Essai 30/31

Essai 33/34

Essai 59/60

Essai 66/67

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 6

Données générales

Lieu : Pfettisheim
Année : 1990

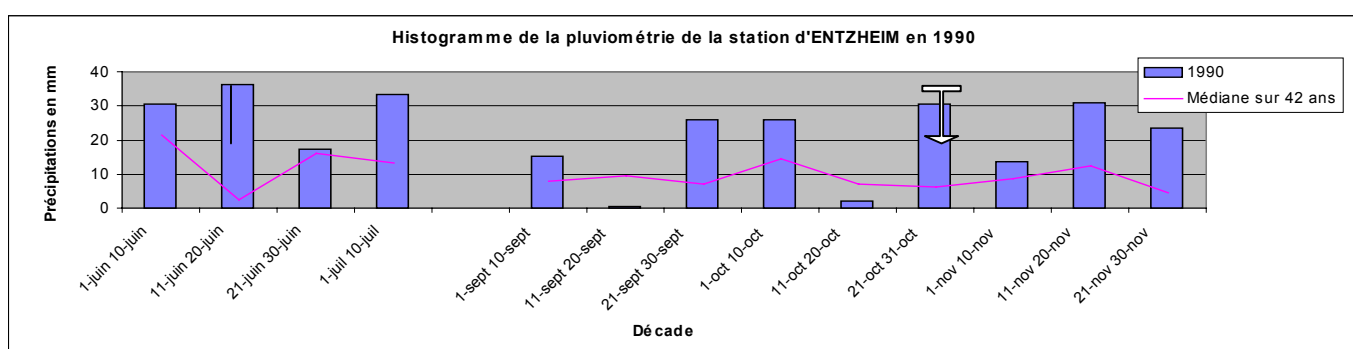
Données pédologiques

Type de sol : Limon loessique
Peu sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



La flèche noire correspond à la date de semis de la CI, et la blanche à la récolte du maïs.

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : RGA+RGI
Date de semis du couvert :
Le 14 juin
Désherbage sur le rang
Pas d'incidence sur le couvert végétal

→ au maïs

Variété (précocité):
DEA (d-P+)
Date de récolte : 24-oct
Rendement (q/ha) : 88,2
Broyage des résidus : /
Fertilisation N (U/ha) : 170

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs
- sol nu : 74,7
- avec CI : 47,9
* entrée d'hiver : /
N piégé par la C.I. : /

Conclusion principale

Les graines ont été enfouies dans le sol par un binage lors du semis. Le ray-grass s'est réellement développé à partir du 13 août suite à un orage.

Pas de différence significatives pour le rendement en grains entre la parcelle engazonnée et le témoin, donc pas de concurrence exercée par le RG sur le maïs pour les éléments fertilisants et l'eau.

Le déficit hydrique de l'été ayant affecté le rendement du maïs, l'azote prélevée par les plantes est moindre, les valeurs de reliquats se retrouvent plus importantes. On observe une trentaine d'unités en moins dans la parcelle où le ray-grass est implanté dès la récolte du maïs. Il est dommage qu'aucun suivi n'est été fait par la suite.

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 12

Données générales

Lieu : *Dornach*
Année : 1993

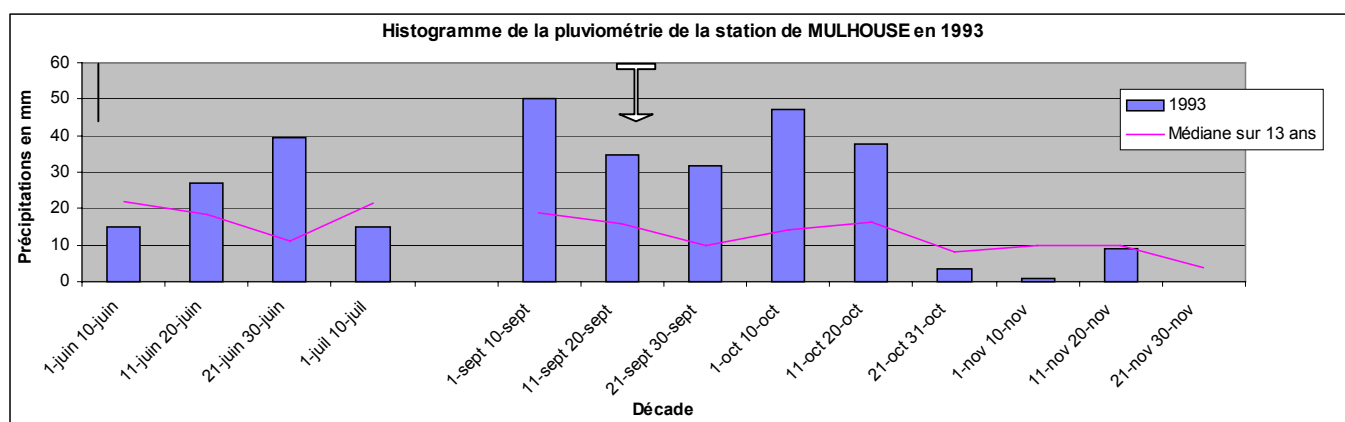
Données pédologiques

Type de sol : *sol du type de la plaine de l'Ill*
Moyennement sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



La flèche noire correspond à la date de semis de la CI, et la blanche à la récolte du maïs.

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *RGA+RGI*
Date de semis du couvert :
le 1-juin
Désherbage : *en plein*
Moyennement agressif
pour le couvert végétal

→ au maïs

Variété (précocité):
DEA (d-P+)
Date de récolte : *17-sept*
Rendement (q/ha) : *120,5*
Broyage des résidus : *oui*
Fertilisation N (U/ha) : *175*

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs (1/10)
- sol nu : *103,5*
- avec CI : *96,9*
* entrée d'hiver (5/11)
- sol nu : *79,2*
- avec CI : *80,2*

Conclusion principale

Réussite assez peu concluante d'après l'expérimentateur. Le ray-grass a été bloqué dans son développement, si bien que le couvert végétal après la récolte de maïs était très hétérogène. Pourtant beaucoup de facteurs semblent propices à un bon développement puisque la date de récolte est assez précoce et que de l'azote est disponible. La principale cause déterminante de cette réussite moyenne peut être attribuée à un manque de luminosité empêchant une croissance normale du ray-grass. En effet, les débris végétaux issues des cannes de maïs broyées lors de la récolte recouvrent totalement le sol et le ray-grass. On constate cependant un léger effet au niveau des reliquats en faveur du ray-grass (amplitude entre les reliquats de début octobre et début novembre plus faible que sous le sol nu)

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 16

Données générales

Lieu : *Roggenhouse*
Année : 1993

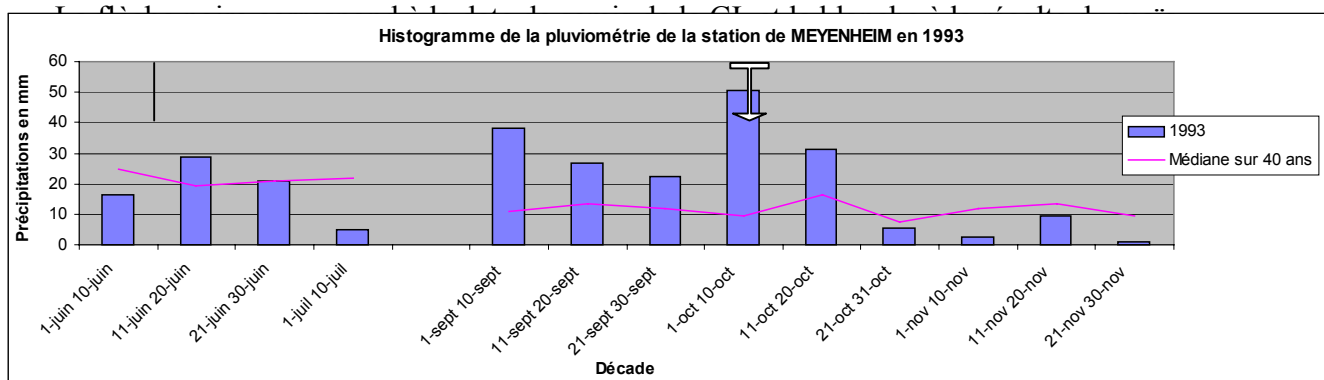
Données pédologiques

Type de sol : *Hardt profonde (texture de limon argilo-sableux)*
Moyennement sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *RGA+RGI*
Date de semis du couvert :
le 8-juin
Désherbage *sur le rang*
Pas d'incidence sur le couvert végétal

→ au maïs

Variété (précocité):
Anjou 37 (d-P)
Date de récolte : *15-oct*
Rendement (q/ha) : *121,5*
Broyage des résidus : *oui*
Fertilisation N (U/ha) : *198*

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* le 1 octobre
- sol nu : *48,8*
- avec CI : *48,6*
* entrée d'hiver (5/11)
- sol nu : *79,7*
- avec CI : *54,7*
N piégé par la C.I. : /

Conclusion principale

Le couvert a réussi à s'implanter mais à la récolte il était peu abondant et sa répartition était très hétérogène. Par la suite, sa croissance n'a pas été suffisante pour capter la plupart des nitrates du sol.

La cause déterminante de cette réussite moyenne peut être attribuée à un manque de luminosité, avant et après récolte, empêchant une croissance normale du ray-grass.

Deux facteurs semblent être responsables :

- la variété de maïs est tardive
- les débris végétaux issues des cannes de maïs broyées lors de la récolte recouvrent totalement le sol

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 22 (a) / 23 (b)

Données générales

Lieu : *Obernai*
Année : 1994

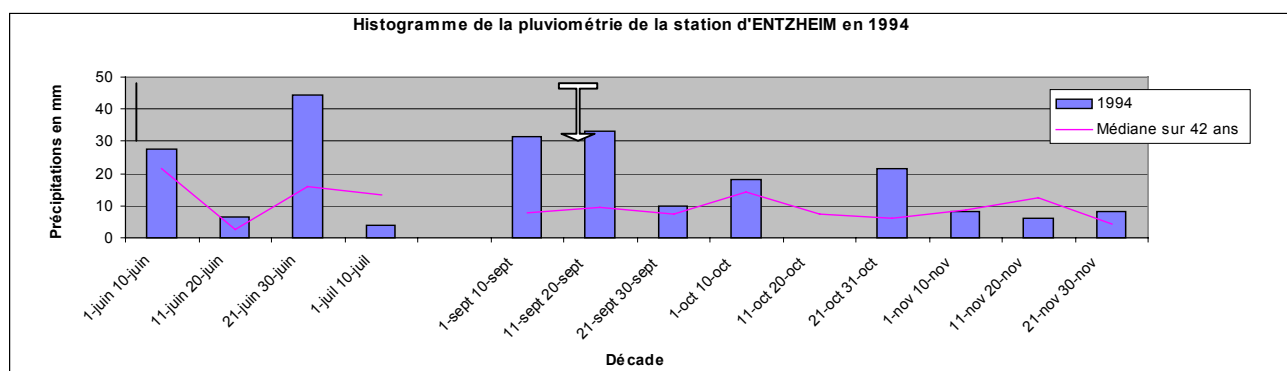
Données pédologiques

Type de sol : *Loess profond*
Peu sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



La flèche noire correspond à la date de semis de la CI, et la blanche à la récolte du maïs.

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *RGA*
Date de semis du couvert :
le 30-mai
Désherbage *en plein*
Incidence sur le couvert
végétal : *moyennement*
agressif

→ au maïs

Variété (précocité):
(a) DK 300 (d-P)
(b) Banguy (P)
Date de récolte : *13-sept*
Rendement (q/ha) :
124,4(a) / 121.2(b)
Broyage des résidus : *non*
Fertilisation N (U/ha) : 140

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* le 7 novembre
- sol nu : *71(b)*
* entrée d'hiver (24/01)
- sol nu : *92(a) / 108(b)*
N piégé par la C.I. : /

Conclusion principale

Ces deux essais sont des échecs bien que le semis soit précoce et que les pluviométries de juin et d'automne soient correctes.
L'expérimentateur souligne l'absence d'irrigation sur le site alors que l'été était sec. La sécheresse estivale semble être responsable de l'échec.

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 26 (a) / 27 (b)

Données générales

Lieu : Rumersheim
Année : 1994

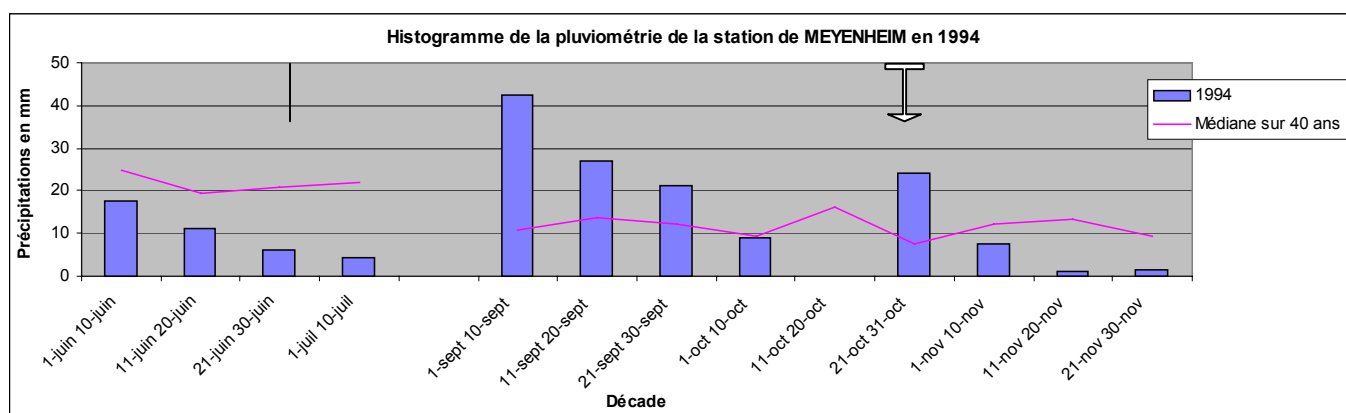
Données pédologiques

Type de sol : *Hardt, sol profond*
Moyennement sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



La flèche noire correspond à la date de semis de la CI, et la blanche à la récolte du maïs.

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *RGA*
Date de semis du couvert :
le 27-juin
Désherbage en plein
Incidence sur le couvert végétal : *agressif*

→ au maïs

Variété (précocité):
(a) *DK 300 (d-P)*
(b) *Banguy (P)*
Date de récolte : 23-oct
Rendement (q/ha) :
117,4(a)/119,2(b)
Broyage des résidus : *non*
Fertilisation N (U/ha) : 222

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* le 7 novembre
- sol nu : 31(a,b)
- avec CI : 14(b)
* entrée d'hiver (28/11)
- sol nu : 37(a)/60(b)
- avec CI : 25(b)
N piégé par la C.I. : 31,9(b)

Conclusion principale

a) Le ray-grass ne s'est pas développé correctement suite à la récolte tardive du maïs.
b) Le ray-grass s'est bien développé et le piégeage d'azote de 31,9 kg est satisfaisant.
L'échec de l'essai a) est dû à la tardivité de la variété de maïs DK 300 ainsi qu'à un développement végétatif important qui couvre totalement le sol pendant plus de 2 mois et rend l'installation du sous-semis quasi impossible. Il est à noter que dans les conditions de l'essai, la productivité de Banguy est aussi bonne que celle de DK 300.

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 30 (a) / 31 (b)

Données générales

Lieu : *Obernai*
Année : *1995*

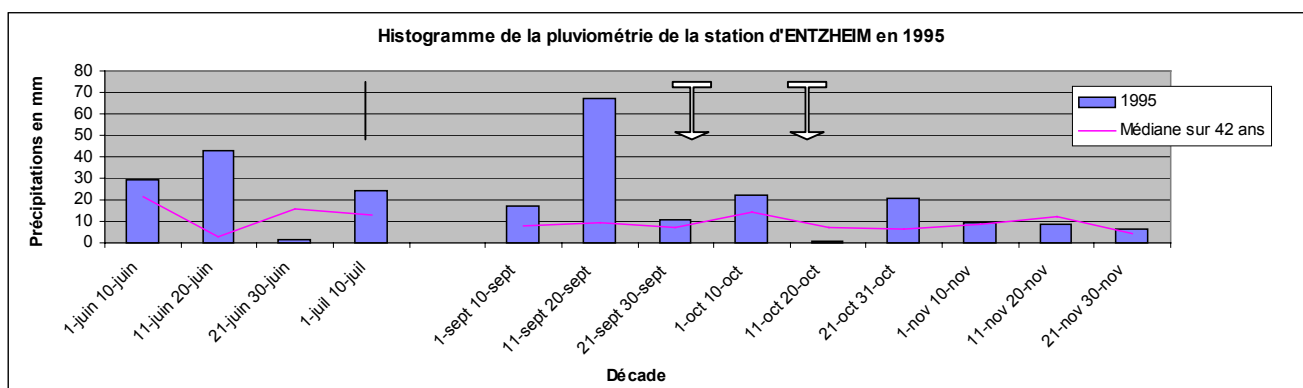
Données pédologiques

Type de sol : *Loess*
Peu sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



La flèche noire correspond à la date de semis de la CI, et la blanche à la récolte du maïs.

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *RGA*
Date de semis du couvert :
le 5-juil
Désherbage *en plein*
Incidence sur le couvert
végétal : *moyennement*
agressif

→ au maïs

Variété (précocité):
a) DK 300 (d-P)
b) Banguy (P)
Date de récolte : *12-oct_a*
27-sept_b
Rendement (q/ha) :
70,7(a) / 73(b)
Broyage des résidus : *non*
Fertilisation N (U/ha) : *118*

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs (27/09)
- sol nu : *25(b)*
* entrée d'hiver (30/11)
- sol nu : *45(a)/41(b)*
- avec CI : *37(a)/32(b)*
N piégé par la
C.I. : *7(a)/19(b)*

Conclusion principale

- a) Le semis sous couvert est une réussite moyenne sur le plan agronomique, il ne s'est pas bien développé à cause d'une variété tardive et à port retombant défavorable à la pénétration de la lumière dans les interrangs.
- b) Cet essai est une réussite agronomique moyenne car le ray-grass n'a pas exprimé un fort potentiel de croissance, mais il faut noter que les reliquats à la récolte en sol nu sont faibles. Ils s'accroissent à l'entrée de l'hiver suite à la minéralisation plus fortement sous sol nu (+ 16 kg N/ha) que sous le couvert (+ 7 kg N/ha). La date de récolte du maïs est déterminante dans cet essai. Les variétés de maïs testées ont un même niveau (médiocre) de rendement.

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 33 (a) / 34 (b)

Données générales

Lieu : Oberhergheim
Année : 1995

Données pédologiques

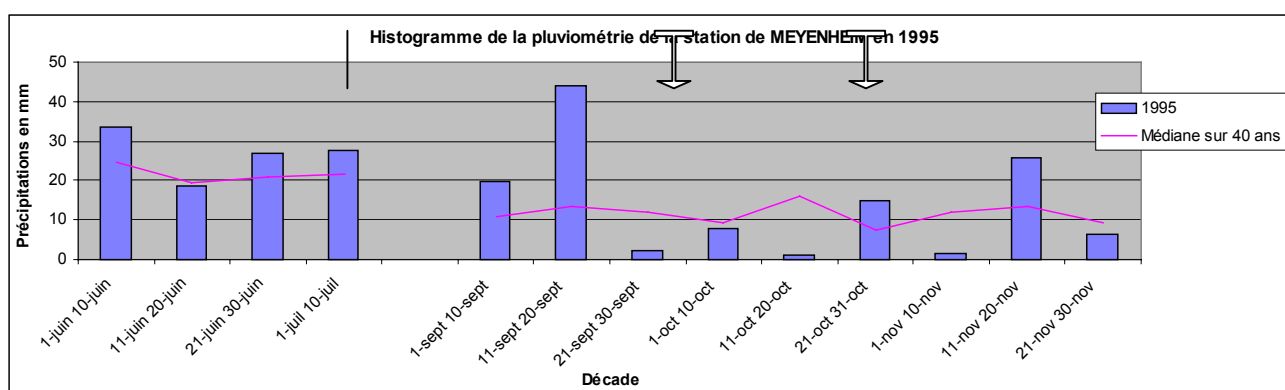
Type de sol : *Hardt, sol profond*
Moyennement sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).

La flèche noire correspond à la date de semis de la CI, et la blanche à la récolte du maïs.



Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *RGA*
Date de semis du couvert :
le 5 juillet
Désherbage *en plein*
Incidence sur le couvert végétal : *agressif*

→ au maïs

Variété (précocité):
a) DK 300 (d-P)
b) Banguy (P)
Date de récolte : *a) 25-oct*
b) 29 sept
Rendement (Qx/ha) :
a) 116,6 *b) 106.1*
Broyage des résidus : *non*
Fertilisation N (U/ha) : *260*

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs (29/09)
- sol nu : *b) 80*
* entrée d'hiver (27/11)
- sol nu : *a) 53 b) 59*
- avec CI : *a) 57 b) 36*
N piégé par la C.I. : /

Conclusion principale

a) Le semis sous couvert de DK 300 est une réussite moyenne sur le plan agronomique car il ne s'est pas bien développé à cause d'une récolte tardive et d'une végétation à port retombant défavorable à la pénétration de la lumière dans les interrang.

b) L' expérimentateur nous informe d'une très bonne installation du ray-grass mais n'a pas effectué de mesures de la biomasse et de l'azote piégé (raison inconnue ?).

La pluviométrie plutôt faible en octobre / novembre ne laisse pas supposer de lessivage comme l'indiquent pourtant les reliquats du sol nu (- 20 kg/ha entre fin septembre et fin novembre). Le ray-grass libéré du maïs fin septembre semble avoir un effet intéressant sur les reliquats (- 44 kg/ha), soit plus de 20 kg/ha soustrait au lessivage. Dans cet essai, DK 300 montre un meilleur rendement (+ 10 q/ha) que Banguy

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 59 (a) / 60 (b)

Données générales

Lieu : *Rouffach*
Année : 1997

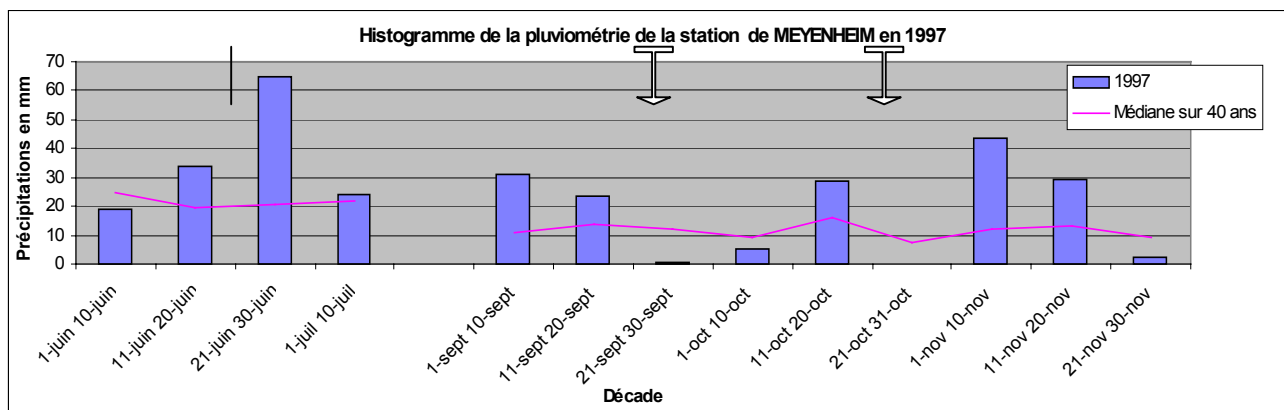
Données pédologiques

Type de sol : *Limon argilo sableux*
Moyennement *sensible au lessivage des nitrates*

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *RGA*
Date de semis du couvert :
le 20-juin
Désherbage sur le rang
Pas d'incidence sur le couvert végétal

→ au maïs

Variété (précocité):
a, b) DK 256 (P)
Date de récolte : *a) 23-sept*
b) 22-oct
Rendement (Qx/ha) :
a) 92,8 b) 93,9
Broyage des résidus : *non*
Fertilisation N (U/ha) : *139*

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs
- sol nu : *a)33,4, b)41.7*
- avec CI : *a)38,6*
* entrée d'hiver (8/12)
- sol nu : *a) 31,9*
- avec CI : *a) 22,7*
N piégé par la C.I. : /

Conclusion principale

a) Cet essai récolté le 23 septembre est une réussite moyenne sur le plan agronomique et dans ce cas de figure, également environnemental. L'azote n'étant pas un facteur limitant (d'après le reliquat azoté), le ray-grass avait donc un rôle de piège à nitrate à jouer. Or, la récolte a été suivie d'une période sèche qui n'a pas permis au ray-grass une croissance correcte. Les reliquats (8/12) nous montrent effectivement que le couvert végétal a consommé de l'azote (10kg/ha) mais en quantité restreinte. Pour cela on compare les différences de reliquats (hiver-récolte) entre le sol nu ou avec une culture intermédiaire, l'année 1997 étant peu propice au lessivage dans ce type de sol.

b) Cet essai récolté le 22 octobre est un échec certain sur le plan environnemental et agronomique, le ray-grass ne s'est pas installé. La date de récolte trop tardive est la cause principale. Il est intéressant de noter que la date de récolte est décisive pour la croissance en post-récolte du couvert végétal, celle-ci étant le seul facteur variant entre l'essai a et b. Une date tardive (fin octobre) et une saison sèche sont vecteurs d'un échec agronomique assuré.

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE SOUS COUVERT DE MAIS

ESSAI N° 66 (a) / 67 (b)

Données générales

Lieu : *Rouffach*
Année : *1998*

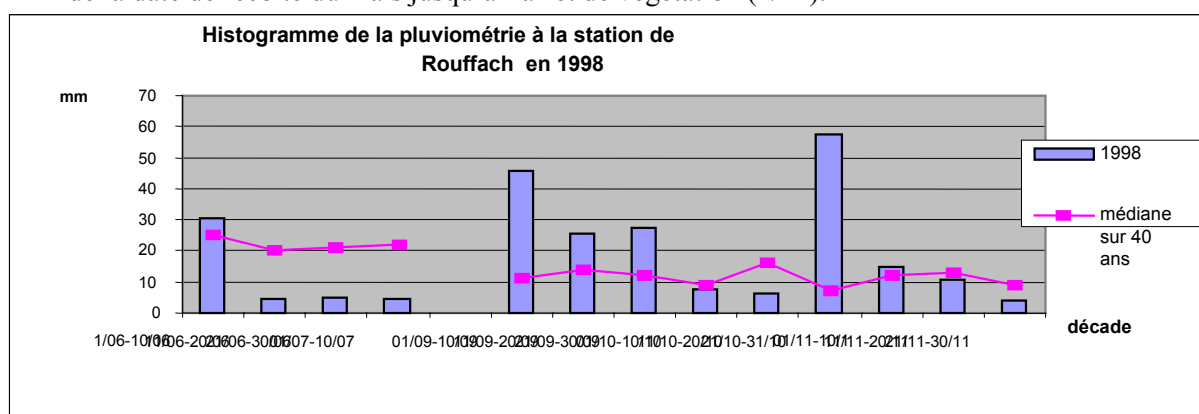
Données pédologiques

Type de sol : *Limon argilo sableux*
Moyennement sensible au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Histogramme de la pluviométrie

- au moment de la levée du couvert végétal ,
- de la date de récolte du maïs jusqu'à l'arrêt de végétation (1/12).



Données agronomiques

→ au couvert

Espèce implantée
mélange JD 25 kg/ha
:seigle hybride 60 % +RGH
40 %
Date de semis du couvert :
le 20-juin
Désherbage *sur le rang*
Pas d'incidence sur le couvert végétal

→ au maïs

Variété (précocité):
a, b) Baltimore (P)
Date de récolte : *a) 22-sept*
b) 19-oct
Rendement (Qx/ha) :
a) 103,8 b) 106,5
Broyage des résidus : *non*
Fertilisation N (U/ha) : *151*

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs
- sol nu : *a) 21, b) 27*
- avec CI : *a) 25 b) 5*
* entrée d'hiver
au 2/11a) - sol nu : *32 CI : 17*
au 4/12- sol nu : *a) 16 b) 39*
- CI : *a) 22 b) 21*
* N piégé par la C.I. : *04.12*
a) 8 b) 6

Conclusion principale

Le binage n'ayant pas été très efficace, les inter-rangs sont restés sales et les mauvaises herbes ont constitué un obstacle à l'installation du mélange JD. Malgré une irrigation de 40 mm déclenchée le 26.06, l'installation des graminées est assez médiocre. Malgré un automne bien arrosé, la croissance reste décevante, le mois de novembre assez froid instaurant un repos végétatif précoce. Il convient cependant de remarquer que la végétation était fortement pâturée par des animaux sauvages en novembre ce qui à l'échelle de petites parcelles a probablement pénalisé l'estimation faite par prélèvement en décembre.

a) La croissance des graminées reste modeste et la quantité d'azote piégée faible pour une date d'enlèvement du maïs précoce. Le modèle de croissance (Weibull) laisserait espérer plus de 800 kg/ha contre 300 kg/ha mesurés et une fixation de plus de 35 kg N/ha contre seulement 8 kg N/ha de mesuré au 08.12. On constate toutefois au niveau des reliquats un effet positif des graminées qui évitent le pic du 02.11 observé en sol nu.

b) Dans le contexte de l'année, la récolte au 18.10 permet de gagner 2,5 q/ha et 3,6 points d'humidité ce qui n'est pas négligeable en gain de marge (~300 F/ha) vis à vis de la récolte du 22.09. Les graminées suffisamment installées ont subsisté jusqu'à la récolte mais le développement d'automne est resté très modeste (220 kg/ha de MS aérienne).

ANNEXE 7

Culture intermédiaire semée en post-récolte du maïs :

Série de fiches descriptives des essais les plus complets

Essai 26/25

Essai 28/29

Essai 32

Essai 35/36

Essai 62

Essai 68

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE EN POST RECOLTE D'UN MAIS GRAIN ESSAI N°24(a)/25(b)

Données générales

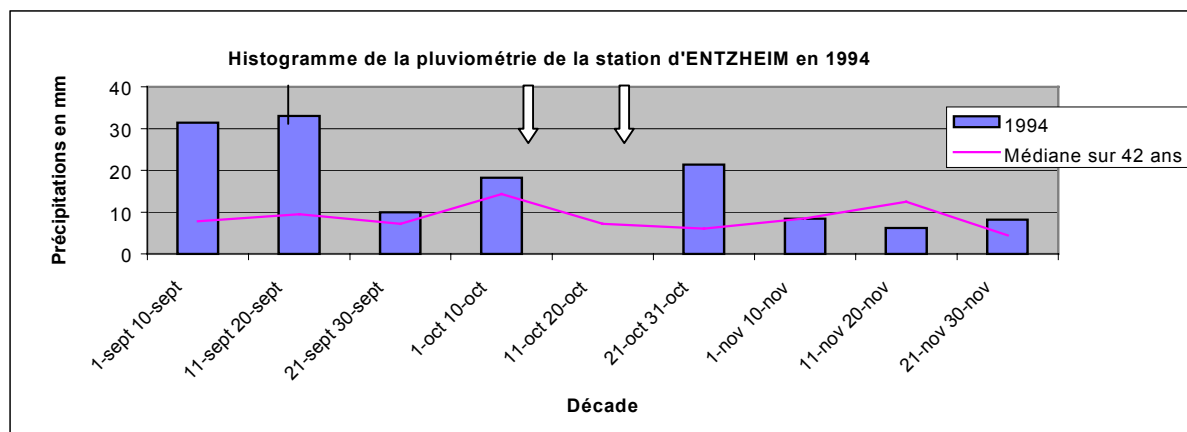
Lieu : *Obernai*
Année : 1994

Données pédologiques

Type de sol : *Loess profond*
Peu sensible au lessivage des nitrates.

Données météorologiques

Pluviométrie de la levée du couvert végétal jusqu'à l'arrêt de végétation fixé en moyenne au 1/12.



Somme de temp. du semis de la C.I. jusqu'à sa destruction : *pas de gelée importante avant le 1^{er} déc. (832°C)*. La flèche noire représente la date du semis de la CI ; la flèche blanche, une période de gel (< 0°C).

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèces implantées :

a - *Radis+moutarde*

b - *Orge+ trèfle*

Semis du couvert végétal :

Le 14 septembre

Biomasse aérienne (T/ha) :

a) 1.09

b) 0.73

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)

* récolte du maïs : *non mesuré*

* hiver (le 24 janvier)

- sol nu : 108

- avec CI : a) 23

b) 28

N piégé kg/ha par la C.I.) :

a) 46,5

b) 23,8

→ au travail du sol pour le semis de la C.I. après récolte du maïs

Passage d'un outil : *oui*
(non précisé)

Conclusion principale

a) Seul le développement de la moutarde était satisfaisant, la M.S. produite, 1.09 T/ha, a prélevé 46.5 kg/ha d'azote.

b) Seul le développement de l'orge était satisfaisant, la M.S. produite, 0.73 T/ha a prélevé 23.8 kg/ha d'azote.

Une période de froid précoce en octobre a sévèrement freiné le développement des CI, et le mois de novembre n'a pas permis de rattrapage.

Fin janvier, la valeur d'azote minéral atteignait 108 kg/ha en l'absence de CI, environ 4 fois plus que sous les traitements radis + moutarde (23 kg/ha) ou orge + trèfle (28 kg/ha).

La culture intermédiaire a permis de réduire notablement l'azote minéral susceptible d'être lessivé pendant l'hiver

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE EN POST RECOLTE D'UN MAIS GRAIN ESSAI N°28(a)/29(b)

Données générales

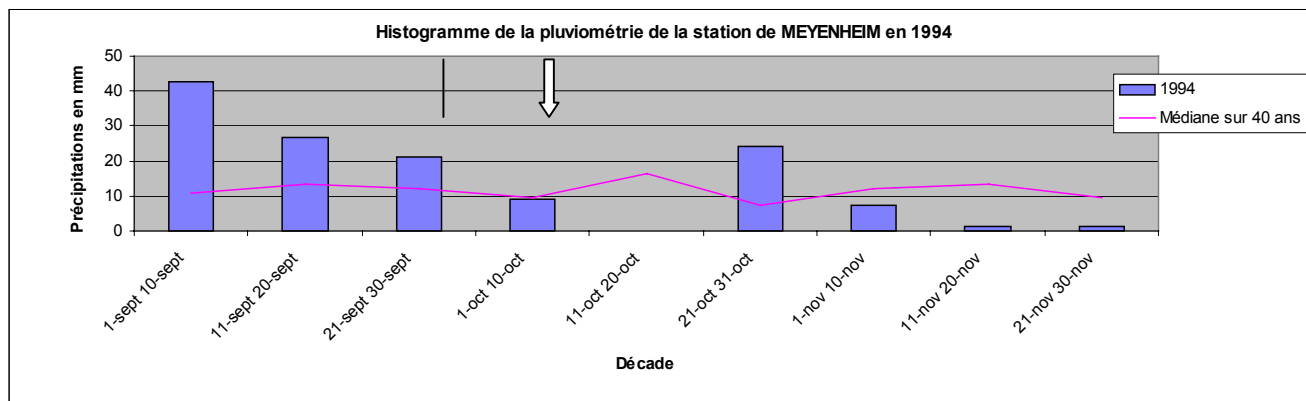
Lieu : *Rumersheim*
Année : *1994*

Données pédologiques

Type de sol : *Hardt, sol profond*
Sensibilité *moyenne* au lessivage des nitrates.

Données météorologiques

Pluviométrie de la levée du couvert végétal jusqu'à l'arrêt de végétation fixé en moyenne au 1/12.



Somme de temp. du semis de la C.I. jusqu'à sa destruction : *pas de gelée importante avant le 1^{er} déc. (645°C).*

La flèche noire représente la date du semis de la CI ; la flèche blanche, une période de gel. (< 0°C).

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèces implantées :

a - Radis+moutarde

b - Orge+ trèfle

Semis du couvert végétal :

Le 27 septembre

Biomasse aérienne (T/ha) :

a) 0.69 b) 0.37

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)

* récolte du maïs : *non mesuré*

* entrée d'hiver (28/11)

- sol nu : *71*

- avec CI : *a) 37*

b) 85

N piégé par la C.I. kg/ha

a) 27,5

b) 16,5

→ au travail du sol pour le semis de la C.I. après récolte du maïs

Passage d'un outil : *oui*
(*non précisé*)

Conclusion principale

Malgré les fortes quantités de semences (double de la normale), la MS produite est faible.

A) Elle s'élève à 0.69 T/ha pour la moutarde + radis pour un prélèvement d'azote de 27.5 kg/ha.

B) Elle s'élève à 0.37 T/ha pour l'orge + trèfle pour un prélèvement d'azote de 16.5 kg/ha.

Les CI n'ont pas été performantes à cause d'une croissance trop faible, causée par un semis tardif. Une période de froid précoce en octobre (10 jours après le semis) a sévèrement freinées le développement des CI et le mois de novembre n'a pas permis de rattrapage

La valeur de reliquat la plus élevée est celle du couvert orge + trèfle avec 85 kg/ha. L'azote minéralisé suite au travail du sol n'a pas pu être absorbé par le couvert en raison de son faible développement

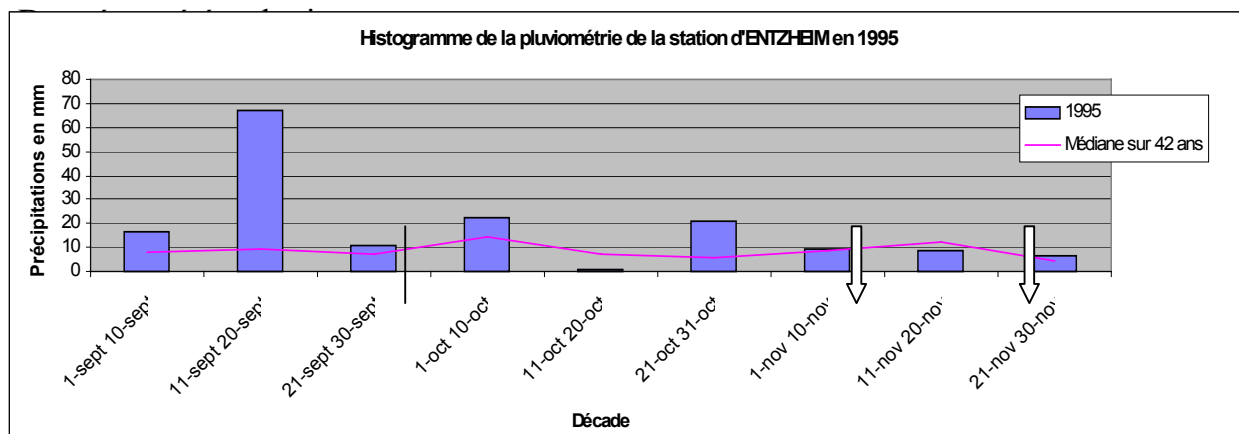
CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE EN POST RECOLTE D'UN MAIS GRAIN ESSAI N°32

Données générales

Lieu : *Obernai*
Année : *1995*

Données pédologiques

Type de sol : *Loess*
Peu sensible au lessivage des nitrates.



Somme de temp. du semis de la C.I. jusqu'à son arrêt de végétation : *489 °C le 5 novembre (gel)*
La flèche noire représente la date du semis de la CI ; la flèche blanche, une période de gel (< 0°C).

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée :
Radis+moutarde
Semis du couvert végétal
le 27 septembre
Destruction du couvert
végétal *le 05/11(gel)*
Biomasse aérienne (T/ha) :
a) 0.3

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs : *25*
* entrée d'hiver (30/11)
- sol nu : *41*
- avec CI : *58*
N piégé par la CI :
12 kg/ha

→ au travail du sol pour le semis de la C.I. après récolte du maïs

Passage d'un outil : *oui*
(non précisé)

Conclusion principale

Les reliquats azotés après la récolte du maïs sont très faibles
La faible pluviométrie d'automne ne nous laisse pas supposer une probabilité de lessivage surtout pour un sol peu sensible. L'augmentation des reliquats entre la date de récolte et l'entrée d'hiver provient probablement de la minéralisation.
Les CI ne furent que d'un effet très modeste (12 kg d'azote piégé) à cause d'un faible développement provoqué par le gel survenu début novembre d'une part, et par la disponibilité en azote limitante d'autre part. La différence de reliquat constatée à l'entrée de l'hiver s'expliquerait par l'absence de travail du sol dans la partie témoin (sol nu) et une moindre minéralisation que dans la partie semée (CI).

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE EN POST RECOLTE D'UN MAIS GRAIN ESSAI N°35(a)/36(b)

Données générales

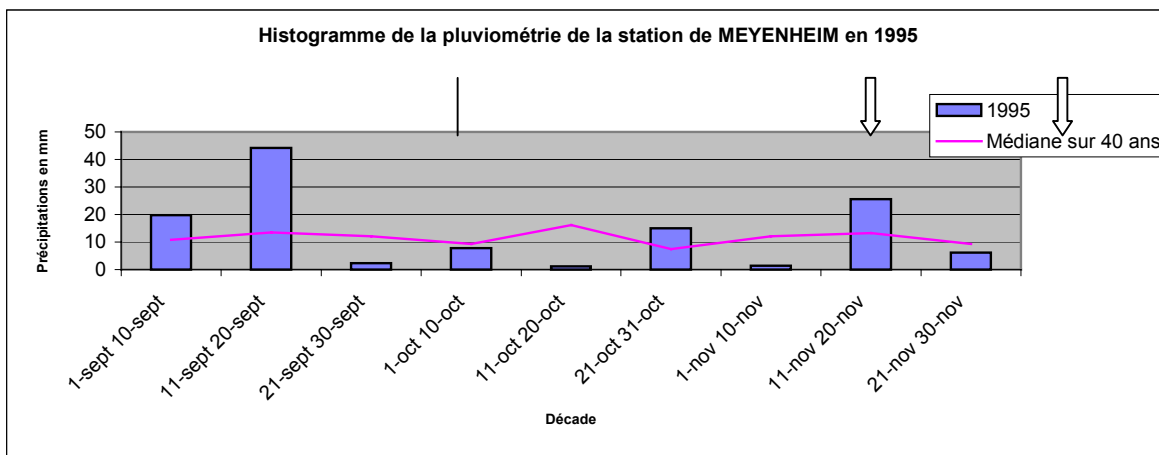
Lieu : *Oberhergheim*
Année : 1995

Données pédologiques

Type de sol : *Hardt, sol profond*
Sensibilité *moyenne* au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Pluviométrie de la levée du couvert végétal jusqu'à l'arrêt de végétation fixé en moyenne au 1/12.



Somme de temp. du semis de la C.I. jusqu'à sa destruction : *pas de gelée importante avant le 1^{er} déc. (612°C).*

La flèche noire représente la date du semis de la CI ; la flèche blanche, une période de gel (< 0°C).

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèces implantées :

a - Radis+moutarde

b - Orge+ trèfle

Semis du couvert végétal :

Le 29 septembre

Destruction le 5 novembre (gel)

Biomasse aérienne (T/ha) :

a) 1.69

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)

* récolte du maïs : 80

* entrée d'hiver (27/11)

- sol nu : 59

- avec CI : *a) 87*

b) 72

N piégé par la C.I.
(kg/ha) : *a) 40*

→ au travail du sol pour
le semis de la C.I. après
récolte du maïs

Passage d'un outil : *oui*
(*non précisé*)

Conclusion principale

Le reliquat azoté après la récolte du maïs est fort. Une reprise de la pluviométrie mi-novembre laisse penser qu'il y a eu lessivage de l'azote à cette période. Le sol nu n'a pas subi de travail du sol. La diminution d'azote minéral dans le sol de 80 à 59 kg/ha, entre le 29/09 et le 27/11 pourrait s'expliquer par la descente des nitrates et la faible minéralisation du sol (qui n'a pas été travaillé). Les reliquats des cultures intermédiaires varient faiblement. En couvrant le sol, elles ont empêché le lessivage de l'azote. et 40 Kg/ha ont été piégé par le mélange radis + moutarde.

La valeur du reliquat radis + moutarde à l'entrée de l'hiver est légèrement supérieure à celle de post-récolte, c'est sans doute la résultante de plusieurs phénomènes : - le retard de végétation suite au gel de début novembre, - la minéralisation d'automne plus élevée que sous un sol non travaillé, - l'absence de lessivage (la crucifère a asséché le sol) en novembre.

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE EN POST RECOLTE D'UN MAIS GRAIN ESSAI N°62

Données générales

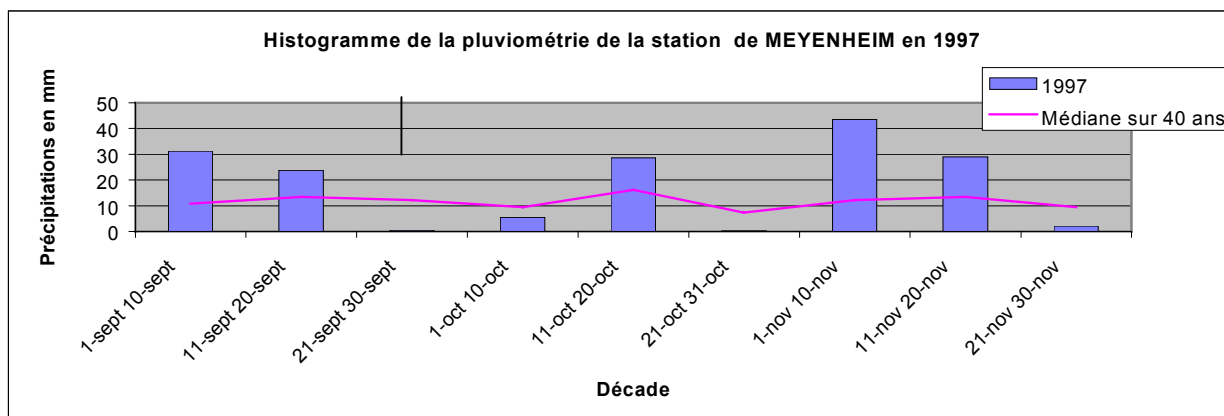
Lieu : *Rouffach*
Année : *1997*

Données pédologiques

Type de sol : *Limon argilo sableux*
Sensibilité *moyenne* au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Pluviométrie de la levée du couvert végétal jusqu'à l'arrêt de végétation fixé en moyenne au 1/12.



Somme de temp. du semis de la C.I. jusqu'à sa destruction : *596 °C le 10 décembre*

La flèche noire représente la date du semis de la CI ; la flèche blanche, une période de gel (< 0°C).

Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : *Seigle*
Semis du couvert végétal
le *24septembre*
Destruction du couvert
végétal le *10 décembre*

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
★ récolte du maïs : *33*
★ entrée d'hiver :
- sol nu : *32*
- avec CI : *27*
N piégé par la C.I. :
non mesurable

→ au travail du sol pour le semis de la C.I. après récolte du maïs

Passage d'un outils : *Chisel*

Conclusion principale

Le couvert était très peu développé et implanté de façon hétérogène et aléatoire.

Il a été contrarié par des conditions sèches après la récolte du maïs.

L'intervalle de temps entre la récolte du maïs et le labour semble être trop court pour permettre au couvert choisi (seigle) de se développer de manière significative, ou alors il faudrait des conditions particulièrement favorables pendant cette période (automne humide et chaud). L'absence de différences notables entre les reliquats du sol nu et CI est logique. Le bilan (minéralisation – lessivage) entre la récolte et l'entrée d'hiver est analogue dans les deux situations vu le faible développement du seigle.

CULTURE INTERMEDIAIRE SEMEE EN POST RECOLTE D'UN MAIS GRAIN ESSAI N°68

Données générales

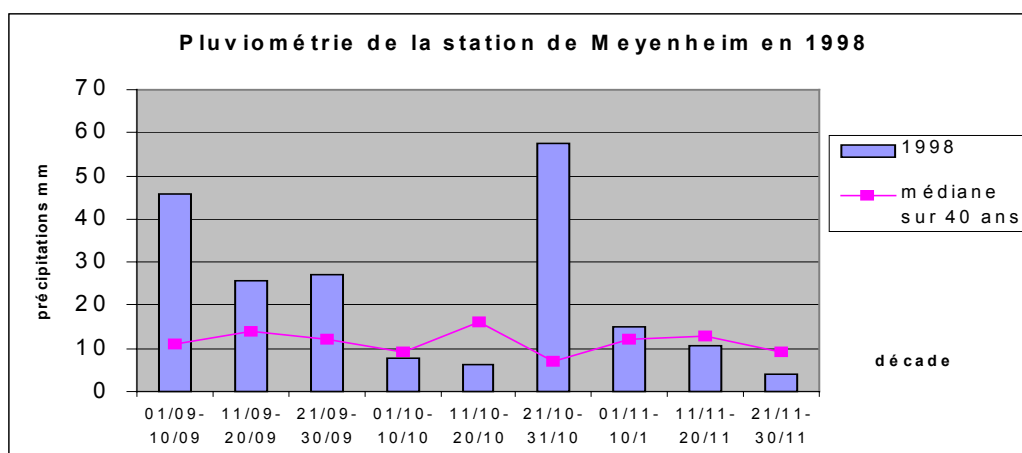
Lieu : *Rouffach*
Année : 1998

Données pédologiques

Type de sol : *Limon argilo sableux*
Sensibilité *moyenne* au lessivage des nitrates

Données météorologiques

Pluviométrie de la levée du couvert végétal jusqu'à l'arrêt de végétation fixé en moyenne au 1/12.
Somme de temp. du semis de la C.I. jusqu'à sa destruction : La flèche noire représente la date du semis de la CI ; la flèche blanche, une période de gel ($< -4^{\circ}\text{C}$).



Données agronomiques relatives

→ au couvert

Espèce implantée : moutarde
Semis du couvert végétal
le 25 septembre
Destruction du couvert
végétal le 22/23 novembre
par le gel à -8 à -10°C

→ à l'azote

Reliquat azoté (kg/ha)
* récolte du maïs : 21
* entrée hiver : 2/11 **04/12**
- sol nu : **32 16**
- avec CI : **17 33**
N piégé par la C.I. : 7 kg/ha

→ au travail du sol pour le
semis de la C.I. après récolte du
maïs

Passage d'un outils : *Chisel*

Conclusion principale

La pluviométrie conséquente de septembre permet une bonne levée. Au 27 octobre, le stade moyen est de 4 à 5 feuilles mais certaines plantes sont encore au stade cotylédons. La moutarde est mal installée dans les parties recouvertes de résidus de récolte.

Le 18 novembre, soit quelques jours avant sa destruction par le gel, la moutarde est au stade 6-8 feuilles et mesure environ 15-20 cm. La mesure effectuée au 08.12 indique une croissance modeste de 180 kg/ha de M.S. aérienne ce qui est largement en deçà de la valeur obtenue par le modèle de croissance (540 kg/ha) pour la somme de température obtenue entre la levée et la date de destruction. Toutefois, l'analyse des reliquats montre une certaine efficacité de la moutarde qui a piégé à l'automne des nitrates. Ceux ci semblent relâchés dès l'entrée de l'hiver (analyse du 04/12) ce qui ne fait que retarder dans le temps le lessivage et ne résout pas forcément le problème. La destruction de la moutarde vers la mi-novembre est un événement dont la probabilité est relativement forte en Alsace et cette pratique de semis à la récolte de maïs est donc trop risquée pour pouvoir être considérée comme permettant une croissance suffisante et assurant une réduction des risques de lessivage de nitrates

**ANNEXE 8 : matières actives d'herbicides utilisées lors des expérimentations
de sous semis sous maïs et agressivité sur le Ray-Grass**

<i>Spécialité commerciale</i>	<i>Matière active</i>	<i>Dose sp.c. (g/l)</i>	<i>dose maïs (g/ha)</i>	<i>Persistance d'action</i>	<i>Agressivité sur ray-grass</i>
Lasso, etc	Alachlore	480	2400	/	très phytotoxique
Gésapprime	Atrazine	500	1000	2 à 6 mois	très phytotoxique
Bellater	Atrazine et	250	750	2 à 6 mois	phytotoxique
	Cyanazine	250	750	moyenne	
Sabre	Bromoxynil	250	600	rapidement dégradé	pas phytotoxique
Instant (Bropyr) = Duogranol (D)	Bromoxynil et	100	300	rapidement dégradé	pas phytotoxique
	Pyridate	300	900	60 jours	
Banvel	Dicamba	480	288	/	pas phytotoxique
Frontière	Dimethenamid	900	1440	3 mois	moy, phytotoxique
Duelor S	Métolachlore et	930	3072	3 à 4 mois	très phytotoxique
	Bénoxacor	31	103		
Gardoprim plus (D)	Métolachlore et	333	1998	60 jours	phytotoxique
	Terbuthylazine	167	1002	60 jours	
Milagro	Nicosulfuron	40	60	faible	phytotoxique *
Lentagran	Pyridate	450	900	60 jours	pas phytotoxique
Titus / Cato (D)	Rimsulfuron	250	15	faible	phytotoxique *
Mikado	Sulcotrione	300	450	/	pas phytotoxique **

Remarques :

(D) pour les spécialités commerciales allemandes.

* **sauf si un délai suffisant est respecté avant le semis du ray-grass (2 à 3 semaines)**

** produit homologué pour le désherbage du ray-grass anglais à la dose 0,75 l/ha

Source : Index phytosanitaire 1998 Pflanzenschutzmitt
el-Verzeichnis 1997

Plaquette sur le désherbage du maïs : "Sensibilité des principales adventices aux herbicides" édité par l'AGPM
Informations du service technique de la FNAMS (screening désherbage des graminées porte-graines)

ANNEXE 9 : effet du semis d'un ray-grass sous couvert sur la productivité du maïs

- **Références issues d'essais maïs grains alsaciens**

N° essai	Année	Lieu	Rendement (q/ha)	
			avec semis couvert	sous sans semis couvert
1	1988	Rustenhart	117,4	117,5
2	1989	Ruistenhart	119,7	117,5
6	1990	Pfettisheim	88,2	83,5
7	1990	Niederentzen	97,9	110,4
8			96	116
10	1991	Hilsenheim	119,2	122,8
11	1991	Landser	105.4	105.7
12	1993	Dornach	120.5	124
13	1993	Hettensclag	113.3	117.4
14	1993	Ste Croix	112.4	112.4
15	1993	Oberhergheim	114.5	115.3
16	1993	Roggenhouse	121.5	124.8
17	1993	Blodelsheim	120.6	122.5
22	1994	Obernai	124.4	122.2
23			121.2	124.4
26	1994	Rumersheim	117.4	117.4
27			119.2	119.2

- **Références issues d'un réseau de parcelles suivi à Hausen en 1992
(en périmètre de captage d'eau protégé (Wasserschutzgebiet) au sud de Freiburg)**

MAIS GRAIN	Nombre de parcelles	Rendement (q/ha)
Avec ray-grass sous couvert bien développé	25	78
Avec ray-grass sous couvert mal développé	10	74

MAIS ENSILAGE	Nombre de parcelles	Rendement (T MS/ha)
Avec culture intermédiaire semée sous couvert	27	38.2
Sans culture intermédiaire	29	40.2

Secrétariat ITADA :
Bâtiment Europe, 2 allée de Herrlisheim,
F – 68000 COLMAR
Tél : 0(0.33)3.89.22.95.50 Fax : 0(0.33)3.89.22.95.59
E-Mail : itada@wanadoo.fr