

## Conception de systèmes de culture durables et innovants en grande culture.

### Le cas de l'essai de longue durée de "La Cage" à Versailles.

M. Bertrand<sup>1</sup>, L. Guichard<sup>1</sup>, J.M. Meynard<sup>2</sup>, D. Picard<sup>1</sup>, P. Saulas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR d'Agronomie INRA INA-PG, 78 850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup>INRA, département SAD, 78 850 Thiverval-Grignon, France

Contact :

Tél 01 30 81 59 62

Fax 01 30 81 54 25

Courriel : bertrand@grignon.inra.fr

#### INTRODUCTION

Les pratiques agricoles qui faisaient naguère partie de la sphère privée de l'agriculteur, sont aujourd'hui objets de controverses publiques, supports de transactions commerciales, matières à réglementation. Le consommateur veut savoir comment est produit ce qu'il mange ; les pouvoirs publics subordonnent les soutiens financiers aux pratiques qu'ils veulent encourager (gel des terres, mesures agri-environnementales, Contrats d'Agriculture Durable, écoconditionnalité...) et taxent ou interdisent les pratiques jugées néfastes à l'environnement.

En grande culture (céréales, oléo-protéagineux,...), le panorama général est en évolution très rapide. Le modèle d'agriculture intensive est mis en accusation sans que des solutions techniques ou politiques claires se dégagent. Sur le plan économique, les marchés de masse, marqués par une forte concurrence internationale, restent dominants ; les agriculteurs continuent à y répondre en cherchant à maximiser la production par hectare, sans avoir, faute de références utilisables, réellement intégré la très forte baisse des prix des produits agricoles qui devrait les pousser à désintensifier.

La problématique est complexifiée par l'accroissement des exigences des filières concernant la qualité des produits. Concilier qualité des produits et de l'environnement n'est pas toujours aisé : de nombreux choix techniques favorables à la qualité ont des conséquences néfastes pour l'environnement (traitements fongicides, fertilisation azotée pour céréales riches en protéines...).

Le besoin de nouveaux systèmes de culture, plus économes, répondant aux demandes du marché, favorables à l'environnement, est aujourd'hui exprimé par l'ensemble des acteurs. Les travaux menés autour de l'expérimentation « Systèmes de culture durables » de Versailles illustrent une des manières dont les chercheurs de l'INRA abordent la question de la mise au point de nouvelles manières de produire innovantes, et de l'évaluation de leur impact sur l'environnement.

#### OBJECTIF SCIENTIFIQUE DU DISPOSITIF

L'objectif général de cette expérimentation de longue durée est de concevoir et d'évaluer des systèmes de cultures économiquement viables tout en préservant l'environnement (nitrates, pesticides,...). Dans ce cadre, nous avons eu pour objectifs d'aborder également la conception de systèmes en rupture nette par rapport à l'existant. Le fonctionnement de l'agrosystème dans ces situations étant largement méconnu, il en résultait une indisponibilité de modèles pouvant servir de support à la conception de systèmes de culture. En conséquence, la voie de l'expérimentation a été privilégiée.

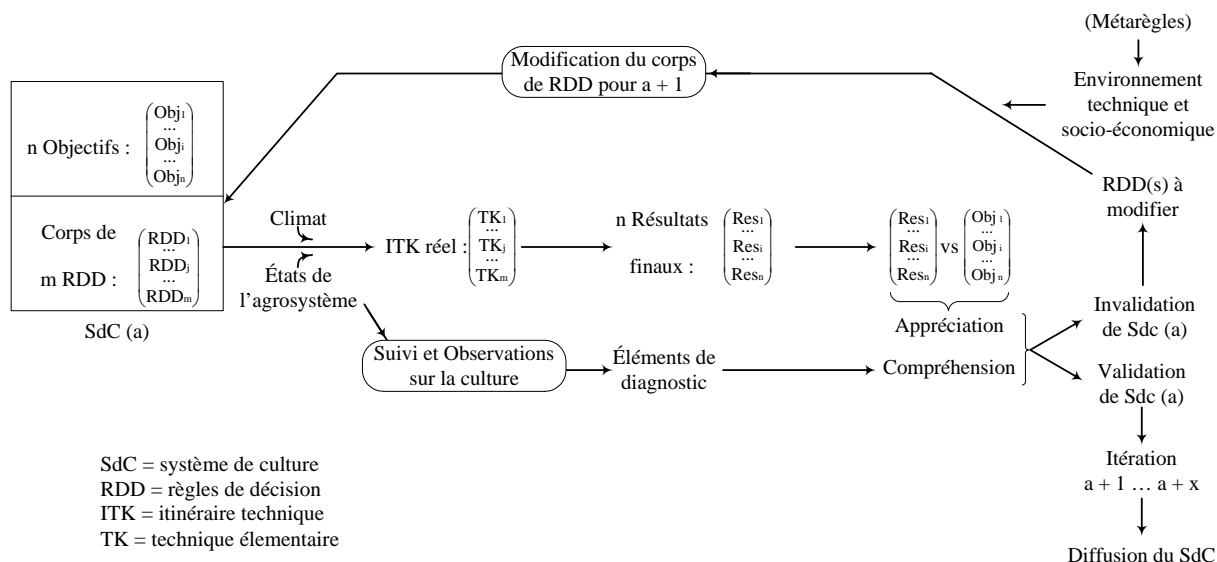
L'expérimentation a été mise en place en 1997 pour une durée supérieure à dix ans afin (i) d'obtenir une série de résultats agronomiques, économiques, et environnementaux tenant compte de l'aléa climatique, (ii) de laisser au milieu le temps de se différencier en fonction des différents systèmes et de tendre vers un nouvel équilibre des caractéristiques physique, chimique, et biologique, à partir duquel on peut juger de la durabilité d'un système de culture dans le milieu qu'il a lui-même contribué à générer et (iii) de mettre en évidence d'éventuels effets cumulatifs de ces systèmes de culture.

Entre les différents systèmes de culture, les itinéraires techniques sont décrits, mis en œuvre, et évalués, non pas comme une succession de couple date et type d'intervention effectuée, mais comme un corps de règles de décision dans lequel chaque intervention est définie sous une forme *SI tel état du milieu ALORS action 1 SINON action 2*, afin d'obtenir un objectif identifié<sup>1</sup>. Cette description de l'intervention technique unitaire ne retire rien au caractère logique et ordonné de la succession d'opérations culturales mises en œuvre dans l'itinéraire technique. Dans ce cadre conceptuel chaque système de culture se voit assigné des objectifs agronomiques, économiques, et environnementaux dont

<sup>1</sup> Par exemple dans le cas du semis d'un colza d'hiver, l'objectif de peuplement levé sera de 50 pl.m<sup>-2</sup> et la règle pourra s'écrire **SI** lit de semence hétérogène **ALORS** densité semée = 80 graines.m<sup>-2</sup> **SINON** densité semée = 60 graines.m<sup>-2</sup> (graine de petite taille pour laquelle le contact terre-graine est prépondérant).

découlent les corps de règles de décision correspondant aux itinéraires techniques appliqués à chaque culture (et interculture) de la rotation. L'évaluation se fait sur la confrontation entre les objectifs fixés au démarrage et les résultats réellement obtenus, en fonction des conditions de l'année. De cette confrontation peut découler une modification d'une ou plusieurs règles qui s'avèrent inopérantes. De même l'évolution du contexte technique (variété, molécules disponibles...), économique (prix des intrants et des produits) et environnemental (réglementation) peut faire évoluer les corps de règles de décision<sup>2</sup>. Le schéma 1 illustre cette démarche en « boucle de progrès ».

**Schéma 1 : Représentation de la démarche de "boucle de progrès" utilisée pour la mise au point des systèmes de culture**  
**Conception / Évaluation d'un SdC : l'échelle annuelle (un cycle de culture, année a)**



Le dispositif est localisé à Versailles (15 km à l'ouest de Paris), sur des parcelles ayant un long passé de grandes cultures labourées. Le sol est un limon profond assaini par un drainage ancien, de texture moyenne en surface (argile, 17%, limons, 56% et sables, 27%). Ses caractéristiques physico-chimiques en font un sol assez fragile, sensible à la battance, mais à fortes potentialités agronomiques (près de 100 q/ha de blé, plus de 100 q/ha de maïs sans irrigation). Le climat est de type tempéré, avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 700 mm.

Quatre systèmes de culture sont expérimentés. Ils sont tous de type production végétale en grande culture sans animaux et sont orientés vers une production de blé tendre meunier, si bien que cette culture est présente une année sur deux dans la rotation de chaque système.

## PRESENTATION DES QUATRE SYSTEMES DE CULTURE EXPERIMENTES

### Système de culture « Productif »

Ce système est, dans l'esprit, relativement proche des pratiques agricoles actuelles.

L'objectif est d'atteindre la production potentielle permise par l'ensemble "sol – climat". Pour atteindre cet objectif, on utilise les produits les plus performants pour réduire au minimum les facteurs limitants du rendement, et on intervient souvent avant l'apparition des symptômes réels d'attaque d'un bioagresseur (stratégie d'assurance). La variété est choisie parmi les plus régulièrement productives dans la région Ile de France. Pour le blé, elle doit posséder de bonnes qualités boulangères. On recherche une structure du sol la plus favorable possible au bon fonctionnement du système racinaire. Le labour est donc pratiqué tous les ans sauf derrière la culture du pois (si le sol n'a pas été dégradé lors de la culture). La rotation est inchangée depuis le début de l'essai : colza – blé – pois – blé.

### Système de culture « intégré »

La rotation retenue est identique à celle du système productif, mais l'objectif de ce système est de limiter au minimum les nuisances environnementales, en particulier en réduisant les intrants sur l'ensemble du cycle, et de maintenir la marge en compensant la baisse de production par un plus faible recours aux intrants. Pour cela, on se fixe un objectif de rendement réduit par rapport au système "productif", et on intervient contre les parasites et maladies si le seuil de

<sup>2</sup>Par exemple les variétés et produits phytosanitaires ont évolué depuis la mise en place de l'essai.

nuisibilité est dépassé. En outre, le choix du produit est basé conjointement sur sa propriété à respecter l'environnement et sur son rapport efficacité / coût.

Les variétés sont choisies pour leur résistance aux principales maladies, et, concernant le blé, pour leur qualité boulangère.

Le labour est pratiqué un an sur deux dans ce système, avant pois et colza, pour assurer une structure du sol favorable au bon fonctionnement du système racinaire et pour limiter les risques parasitaires et de maladies.

#### Système de culture sous couvert végétal (SCV)

La gestion de ce système est identique à celui du système intégré, sauf en matière de travail du sol : aucun travail du sol, même superficiel, n'est effectué et les cultures sont implantées en semis direct. En outre, pour protéger le sol, une couverture du sol est assurée en permanence par les cultures de vente et/ou des cultures de "couverture" (association avec la culture de vente ou culture intermédiaire). La rotation pratiquée est la suivante : maïs – blé – pois – blé. La culture commerciale est implantée dans la culture de couverture après que celle ci ait été supprimée par voie chimique ou simplement déprimée temporairement en fauchant ou en utilisant un herbicide à faible dose.

#### Système de culture "Biologique"

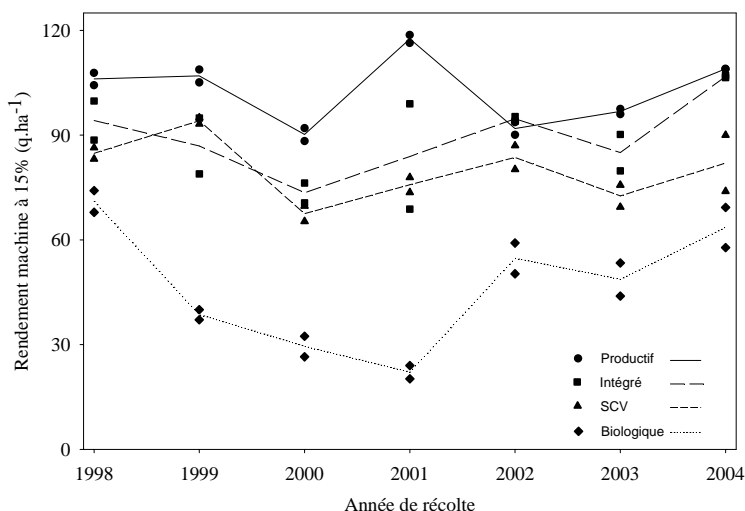
Ce système a pour but de fournir un produit répondant au cahier des charges de l'agriculture biologique où aucun intrant chimique de synthèse (engrais minéral ou phytosanitaire) n'est utilisé. La rotation adopte les mêmes bases que dans les autres systèmes (blé un an sur deux). La protection contre les maladies est fondée sur l'utilisation de variétés résistantes, et des stratégies d'évitement (date de semis décalée...). La lutte contre les mauvaises herbes utilise le travail du sol (herse, binage). On étudie dans ce système le moyen d'associer des légumineuses de couverture à différents moments de la rotation pour assurer un bilan azoté équilibré. On ne fait que très ponctuellement appel à des engrais organiques de couverture qui du fait de l'absence d'effluent d'élevage à proximité ont des coûts à l'unité fertilisante quasiment prohibitifs (guano, farine de plume).

Le dispositif général comprend les quatre systèmes de culture répétés sur deux situations côte à côte. Les parcelles de chaque système de culture sont divisées en deux et cultivées avec un décalage d'un an dans la rotation : le blé étant présent une année sur 2 dans toutes les rotations, cela permet sa présence chaque année sur le dispositif, pour chaque système de culture. Au final, chaque parcelle élémentaire a une surface voisine de 0.5 ha.

### **PRINCIPAUX RESULTATS TECHNIQUES, ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX**

#### Résultats techniques

La figure 1 présente l'évolution des rendements du blé, présent chaque année pour les 4 systèmes.



**Figure 1** : Evolution des rendements du blé d'hiver enregistrés sur les quatre systèmes de culture

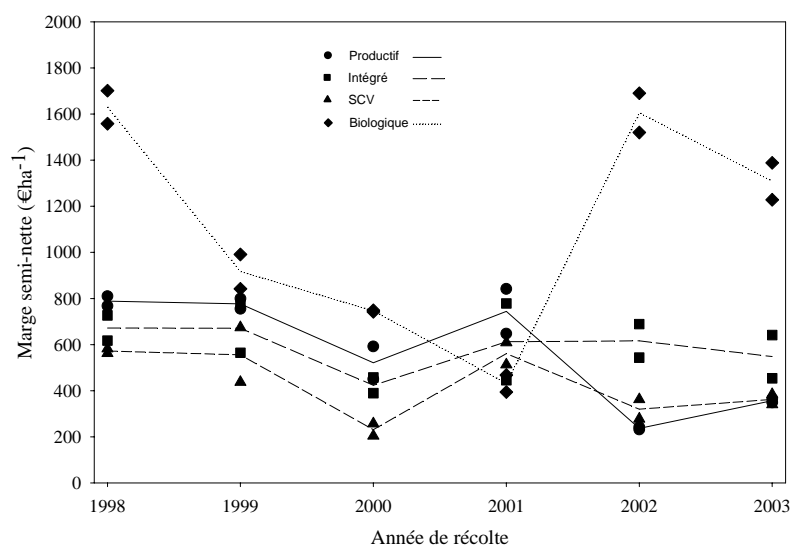
Les objectifs de rendement visés sont différents entre systèmes, ce qu'on retrouve dans les résultats : le productif dépasse l'intégré et le SCV, eux-mêmes supérieurs au biologique (respectivement 103, 89, 80 et 47 quintaux/ha en moyenne sur 7 ans). Cela étant, sauf pour certaines années dans le système biologique, les objectifs de rendement fixés à chaque système de culture sont atteints chaque année sur l'essai.

La variabilité des rendements est plus importante dans le système biologique qui peut présenter des rendements faibles certaines années.

### Résultats économiques

La figure 2 présente l'évolution des marges semi-nettes du blé, présent là encore chaque année pour les 4 systèmes. Ces marges semi-nettes tiennent compte des charges opérationnelles et des charges de mécanisation.

On observe des moyennes et des variabilités nettement différentes de celles de la figure 1. Le classement privilégie le biologique (moyenne = 1110 €ha<sup>-1</sup>) devant le productif et l'intégré (respectivement 570 et 590 €ha<sup>-1</sup>) suivi enfin par le SCV (430 €ha<sup>-1</sup>).



**Figure 2** : Evolution des marges semi-nettes sur blé d'hiver pour les quatre systèmes de culture

On note que le système biologique se dégage nettement des 3 autres systèmes, avec une opposition entre 2 situations : celles où le rendement est faible et où la marge est similaire à la marge des autres systèmes, et celles où le rendement est satisfaisant et la marge très nettement supérieure. Cela résulte conjointement d'un très faible niveau de charges, et d'un prix de vente très nettement supérieur au blé « conventionnel ». Ce résultat est à nuancer si on passe à l'échelle de la rotation : en effet, dans ce système, des problèmes de maîtrise d'adventices nous ont conduit à introduire dans la rotation une luzerne non directement valorisable sur le plan économique chez des céréaliers.

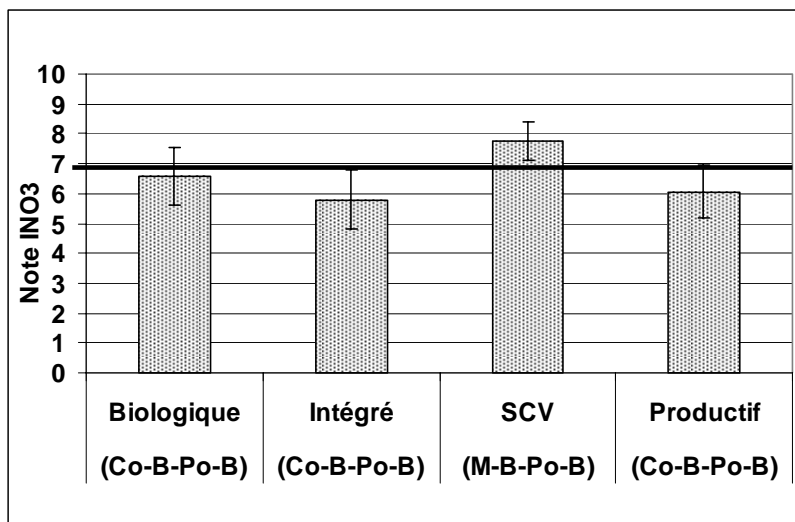
Les objectifs de marges, similaires dans les trois systèmes de culture (productif, intégré et SCV) sont donc globalement atteints pour la culture du blé, et de manière « durable » puisque aucun décrochement notable n'est à signaler en 7 ans.

### Résultats environnementaux

L'évaluation de l'impact environnemental des systèmes de culture est présentée suivant deux critères (azote et pesticides). Elle est réalisée par la mise en œuvre des indicateurs agroécologiques de la méthode Indigo<sup>®</sup> (Bockstaller *et al.*, 2000), calculés sur une rotation quadriennale entière. On rappelle que cette méthode consiste à affecter une note entre 0 (niveau de risque inacceptable) et 10 (risque nul), la valeur 7 correspondant à une référence jugée « acceptable ».

#### Azote

La figure 3 présente les valeurs de l'indice INO3 (Bockstaller *et al.*, 2001) pour la rotation conduite sur la période 1999 à 2002.



**Figure 3** : Comparaison des valeurs moyennes de l'indice INO3 pour les 4 systèmes de culture, sur la période 1999 à 2002 (entre parenthèses, rotations mises en œuvre : Co : colza, B : blé tendre, Po : pois de printemps, M : maïs grain)

On constate que seul le système SCV présente un niveau de risque acceptable (note supérieure à 7, équivalent à des pertes cumulées sur la rotation de 120 kg.ha<sup>-1</sup> de N). A l'opposé, les systèmes productif et intégré présentent des risques supérieurs (note de 6.1 et 5.9 respectivement, pour des pertes de 210 et 230 kg.ha<sup>-1</sup> de N sur 4 ans). Enfin, il convient de noter que le système biologique, bien que ne recevant pas d'engrais minéraux, a également une note inférieure à la recommandation (6.4) équivalent à un niveau de pertes de 145 kg.ha<sup>-1</sup> de N sur 4 ans.

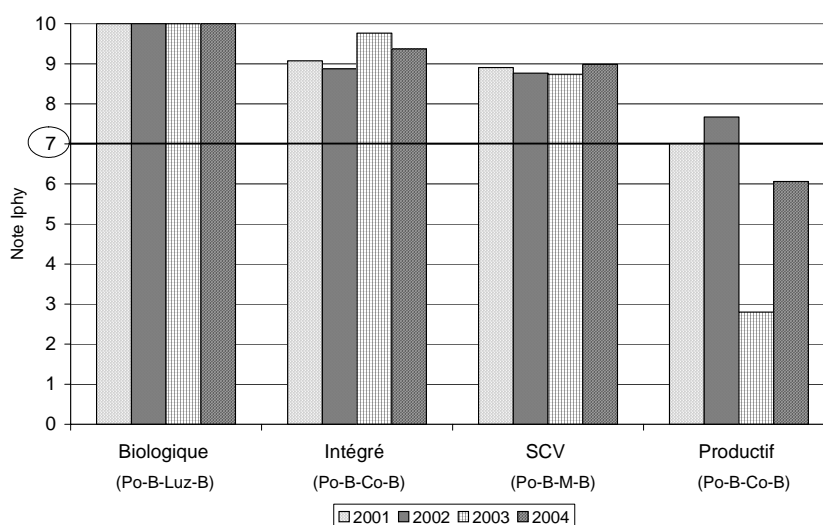
La présence en continu d'un couvert végétal dans le SCV s'accompagne donc d'une bonne performance environnementale pour l'azote.

La fertilisation des systèmes productif et intégré est raisonnée en utilisant la méthode du bilan prévisionnel et des outils de pilotage en cours de végétation. L'utilisation de ces outils ne garantit donc pas une bonne appréciation environnementale.

Enfin, sur le système biologique, l'absence d'utilisation d'engrais minéraux n'assure pas l'innocuité en ce qui concerne l'azote.

### Pesticides

La figure 4 présente les valeurs de l'indice IPhy (Bockstaller *et al.*, 2004) au cours de la rotation conduite sur la période 2001 à 2004.



**Figure 4** : comparaison des valeurs de l'indice I-Phy pour les 4 systèmes de culture, sur la période 2001 à 2004 (entre parenthèses, rotations mises en œuvre : Co : colza, B : blé tendre, Po : pois de printemps, M : maïs grain, Luz : luzerne)

Les valeurs maximales obtenues sur le système biologique découlent naturellement de l'absence d'utilisation de pesticides sur cette situation.

Les systèmes intégrés et SCV apparaissent très voisins sur ce critère (de 8.9 à 9.8 pour l'intégré et de 8.7 à 9.0 pour le SCV) et dépassent systématiquement la valeur recommandée.

A l'inverse le système productif est chaque année plus à risque que les 3 autres systèmes. Il présente en outre 2 notes inférieures à 7, dont une particulièrement basse (2.8). Compte tenu de ses objectifs, ce système se caractérise par une plus grande fréquence de traitement, avec des produits qui peuvent présenter un risque environnemental important. C'est par exemple le cas de l'année 2003 pour laquelle l'utilisation d'un produit herbicide à profil environnemental médiocre sur colza a dégradé le résultat global.

## CONCLUSION / PERSPECTIVES

Les premiers résultats de cette expérimentation de longue durée ont porté sur une appréciation de la durabilité économique et environnementale de quatre systèmes de culture. Leur dénomination ne doit pas faire oublier qu'ils ne sont qu'un exemple de grands cas de figures qui pourraient se décliner de multiples façons suivant les concepteurs. Par exemple le système intégré conçu à « La Cage » est seulement un exemple de ce type de système, caractérisé par ses règles de décision en matière de travail du sol, stratégie de protection phytosanitaire... Il n'est pas le système intégré représentatif de l'ensemble des systèmes intégrés en grandes cultures.

On constate des résultats contrastés suivant les critères utilisés.

Sur le plan économique, le biologique montre une moyenne nettement plus élevée pour la culture de blé, assortie d'une variabilité importante et de problèmes à l'échelle de la rotation, dont on ne peut exclure qu'ils puissent poser des problèmes sur la viabilité des exploitations.

Le productif et l'intégré présentent des marges similaires, conformément aux objectifs initiaux.

En revanche le SCV est un peu en retrait sur ce plan pour la culture de blé. Cette conclusion est renforcée à l'échelle de la rotation où s'expriment des problèmes de maîtrise technique en particulier sur le maïs.

Concernant les pertes d'azote, cet essai montre que la seule gestion raisonnée de la fertilisation azotée ne permet pas de garantir un niveau acceptable de pertes sur l'ensemble de la rotation. En effet, seul le système SCV avec une couverture permanente du sol obtient une appréciation environnementale satisfaisante pour ce critère.

Rappelons enfin que le système biologique n'apparaît pas complètement satisfaisant de ce point de vue.

Sur le plan de la pollution par les phytosanitaires, la hiérarchie des systèmes est conforme aux objectifs. La recherche d'une diminution des nuisances environnementales sur les systèmes intégré et SCV est apparemment atteinte.

Si l'on observe conjointement les différents critères évoqués ci-dessus pour les quatre systèmes de culture, on remarque qu'aucun système ne sort systématiquement en tête pour chaque critère. Cette remarque s'explique en partie par des niveaux de maîtrise technique variés suivant les systèmes de culture expérimentés. Ces quatre systèmes se distinguent par leur degré d'innovation : on disposait déjà en 1997 de références concernant les systèmes productifs et intégrés ; En revanche les systèmes biologiques sans effluent d'élevage et SCV dans cette zone géographique constituaient des situations neuves. Les résultats obtenus sur ces systèmes attestent bien du défaut de maîtrise technique en ce qui les concerne. La poursuite de l'expérimentation s'attachera en particulier à l'amélioration des ces 2 derniers systèmes, dans l'esprit de la démarche en « boucle de progrès » présentée en figure 1.

## Références :

Bockstaller, C. and Girardin, P. (2000). Agro-ecological indicators - Instruments to assess sustainability in agriculture. *Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialwissenschaft*. Härdtlein, M., Kaltschmitt, M., Lewandowski, I. and Wurl, H. Stuttgart, Erich Schmidt Verlag 15: 69-83.

Bockstaller C., Girardin P., 2001. « IN », an indicator to assess nitrogen losses in cropping system. In 11<sup>th</sup> N Workshop, Reims, INRA Ed. 419-420.

Bockstaller, C., 2004. Elaboration et utilisation des indicateurs. Exemple de I-Phy . In Estimation des risques environnementaux des pesticides, Barriuso E., INRA Ed, Un point sur..., 75-86

Saulas P., Meynard J.M., 1998, Production intégrée et extensification sont elles compatibles ? Cas des céréales à paille, Les Dossiers de l'Environnement, N° 16, 9-15.