

Incorporating psychological variables in models of farmer behaviour: does it make for better predictions?

Gareth EDWARDS-JONES*

Ian DEARY

Joyce WILLOCK

*Rural Resource Management Department

SAC, West Mains Road, Edinburgh, EH9 3JG Scotland UK

Tel.: (+44) 0131667 1041 – Fax : (+44) 0131 667 2601 – E-mail: ESA020@ed.SAC.ac.uk

Abstract

The potential for integrating psychological variables in predictive models of farmer behaviour is examined. Traditionally such models have been based on the assumption that farmers behave as if maximising profit. The Edinburgh Study of Decision Making on Farms is used as an example of a study which has demonstrated the complex relationship between the psychological, social and agricultural variables which actually determine farmer behaviour. On the basis of the results of this study it is postulated that little benefit may arise from integrating economic and psychological variables in models for national level land-use assessment. However, as the geographic scale of the model decreases, and/or the focus of the model moves towards predicting small scale behaviours then the inclusion of psychological variables would seem to offer greater benefits. Before such models can be developed three main areas of work need to be addressed. First, the representation of groups of farmers in typologies based on psychological variables needs to be explored. Second, the relationship between the psychological make-up of farmers and the different levels of financial gain available subsequent to their behaviour requires clarification, and third the computational form of any integrated model remains to be determined.

Keywords: farmer behaviour, decision-making, modelling, psychology, adoption dynamics

Résumé

Modèles de comportement des agriculteurs : l'inclusion de variables psychologiques permet-elle d'améliorer les prévisions ? Le présent article examine les possibilités d'intégrer des variables psychologiques dans des modèles de prédiction du comportement des agriculteurs. Classiquement, ce type de modèle fait l'hypothèse que le comportement de l'agriculteur a pour objectif la maximisation des profits.

Les auteurs ont utilisé les résultats d'une étude conduite par l'Universit   d'Edimbourg, intitulée « Edinburgh Study of Decision Making on Farms » pour mettre en évidence la relation complexe entre variables psychologiques, sociales et agricoles qui déterminent le comportement de l'agriculteur.

A partir des résultats de cette étude, les auteurs postulent qu'intégrer des variables économiques et psychologiques à des modèles grande échelle d'utilisation des sols n'apporterait pas d'avantages notables. Mais pour des échelles plus fines il apparaît que l'inclusion de variables psychologiques est intéressante pour prédire des effets de petite ampleur. Avant de pouvoir mettre au point ces modèles il sera nécessaire de poursuivre les recherches dans les trois domaines suivants: a) la représentation des agriculteurs selon des typologies basées sur des variables psychologiques; b) l'étude de la relation entre le portrait psychologique de l'agriculteur et les gains financiers associés à son comportement; c) la structure informatique    donner à un modèle int  gr  .

Mots-Cl  s : comportement des agriculteurs, décision, modélisation, psychologie, dynamique d'adoption

Introduction

Traditionally models seeking to predict the adoption of policies and technologies by farmers have combined a variety of biological, physical variables, e.g. farm size, farm type, soil type, agro-ecological zone, with some financial variables, e.g. market prices, availability of credit, asset:debt ratio (Harvey and Rehman, 1989). These models have not generally been strong in representing the social side of farming systems. Rather they tend to represent all the complexity of the social aspects of farm households within one objective function. That is, they assume that farm households are utility maximisers, and they assume that an acceptable proportion of household utility can be represented by considering financial matters, particularly profit. Whilst such approaches may be acceptable for simulating business decisions within a market situation there is a considerable body of evidence which suggests that very few farmers behave as profit maximising businessmen. For example, it is well known that socio-economic variables such as age, education and stage in family cycle may impact adoption decisions (Akinola, 1987; Dewees and Hawkes, 1988; Gasson and Potter, 1988; Voh, 1982). It is perhaps less well recognised by agricultural economists, that a suite of psychological and socio-cultural variables may also impact on farmers' decision-making and behaviour (Sing and Ray, 1980; Salamon and Davis-Brown, 1986; Fishbein and Ajzen, 1975; Bentler and Speckart, 1979; Gorsuch and Ortberg, 1983; Locke *et al.*, 1978).

In this paper we seek to examine the contribution psychology can make to understanding and modelling farmer behaviour¹. In particular we seek to examine whether or not the inclusion of

psychological variables in models concerned with predicting farmer behaviour is possible and practicable. In order to achieve this aim we will reflect on the experiences gained during a four-year study undertaken in Edinburgh, the Edinburgh Study of Decision Making on Farms (ESDMF), which brought together agricultural economists, modellers and psychologists in an effort to understand and model the interaction between personological (the combination of socio-economic and psychological variables) and observed farmer behaviour. The paper will proceed with a brief review of the methods utilised and results gained in the ESDMF, and will continue with a discussion of the advantages and disadvantages associated with utilising psychological methods within the policy assessment context. It must be stressed that the results of the ESDMF presented here are only summary in nature, and are presented in order to aid later discussion. Further details of the results are available in McGregor *et al.* (1995, 1996), Willock *et al.* (1994, 1995, in press).

1. The Edinburgh Study of Decision-Making on Farms (ESDMF)

1.1. Aims and Data Collection

The Edinburgh Study of Decision Making on Farms was a four-year study which sought to understand and model the general process of farmer decision-making. In particular it sought to examine the importance of the interaction between psychological variables (such as personality type, intelligence, attitudes and objectives) with behaviour. A review of the data collected as part of the study is presented below. These data were collected via questionnaires which were mailed to a random sample of 718 farmers in the eastern part of Scotland between January and June 1994. Respondents were asked to complete initial questionnaires prior to attending an evening meeting where a further set of questionnaires relating to

¹ The definition of the notion of "behaviour" we adopt is that : Behaviour is the actions actually carried out by an individual, as opposed to the actions which they state they would carry out. Thus, the behaviour of a farmer is defined as those actions which they have actually undertaken on their farm. In an environmental sense this may mean the recreation of habitats, the reduction in pesticide use etc. Thus, the outcomes of behaviour are verifiable through observation.

farming attitudes, objectives, behaviour and personal characteristics was administered. In order to gain information on the psychological characteristics of the farmers, they were also asked to complete a range of psychological tests. These are discussed further in section 1.3.

1.2. Analytical methods

As it was the intention of the study to develop quantitative models relating behaviour to a range of personological variables, it was necessary for the relevant data to be collated on reliable scales in order to be indexed. While many scales existed for some psychological variables (e.g. Intelligence Quotient), none existed for measuring farmer attitudes, objectives and behaviour. For this reason it was necessary to devise and test suitable quantitative scales on which farmer attitudes, objectives and behaviour could be identified and measured (Willock *et al.*, in press). Using these scales required farmers to complete an extensive questionnaire where they scored their response to various statements on a five point Likert scale (e.g. 1 = strongly agree, 3 = no opinion, 5 = strongly disagree)². Multivariate analysis of these results enabled farmers' attitudes, objectives and behaviour to be classified into one of several domains (see Willock *et al.*, in press for more details on this process). For example, four domains of behaviour were identified (production oriented, environmentally oriented, stressed and emergent behaviour). The degree of expression of each behaviour was defined by the scores assigned to a series of activities that defined each behaviour (further details in Appendix 1). Measuring attitudes, objectives and behav-

iour in this way had the advantages of being quantifiable and replicable, whilst also enabling statistical analyses and numerical modelling.

Having decided on how the data would be collected it was necessary to identify the type of modelling which would be conducted in order to explain the relationships between the dependent variable (farmer behaviour) and the independent variables (personological and farm structural variables). This required identification of both the type of conceptual model which would be used, and the statistical technique to be used in modelling. One well-known conceptual model used in social science, the Fishbein Ajzen expectancy-value model of reasoned action, provides a theoretical framework for examining the influence of attitudes and goals on volitional behaviour. Fishbein and Azen (1975) proposed that attitudes affect behaviour indirectly through the mediation of the intention to act and/or through the influence of significant others on that intention. Although widely used, critics of this approach suggest that the theory is inadequate in three areas. First that some attitudes may directly influence behaviour (Bentler and Speckart, 1981). Second, that there is a « crossover » effect between attitudes and significant others, i.e. they may have common antecedents, for example the cognitive aspect of the attitude may already include the expectations of significant others (Oliver and Bearden, 1985). Third, the model can be improved by including other variables such as a moral norm, habit, or personality or environmental variables known to influence behaviour (Fazio, 1990).

An alternative framework which avoids some of the shortcomings associated with the Fishbein Ajzen model is the transactional model of behaviour which has its origins in systems and stress research (Lazarus and Folkman, 1984). In this model attitudes are considered to influence behaviour directly as well as to mediate behaviour through goals and objectives. In a transactional model the transaction is between an individual's response to the problem and that individual's environment, where the independent variable(s) can be either

² This approach has the advantage of permitting respondents greater flexibility of response whilst also providing a suitable range of responses to permit meaningful statistical analysis. The disadvantages of a Likert scale over a more simple response structure (e.g. Yes or No) is that it requires more time to develop and to complete. In long questionnaires this may lead to potential respondent fatigue. However, overall we believed the advantages of a Likert scale to greatly outweigh any disadvantages.

psychological or environmental (Deary *et al.*, 1996). The effect of the antecedent variables are mediated by the cognitive response of the individual and the outcome of the transaction is the resulting behaviour. In this fashion a model based on traits (stable characteristics of the individual) or states (temporary conditions) may be developed. Generally, transactional models are assessed for fit by the correlation values between the measured variables and the variables' contribution in a multiple regression analysis, but it is argued that a more valid test of the model is the use of structural equation modelling (Bentler 1995; Valerand *et al.*, 1992). Structural equation modelling allows a pre-stated hypothesis to be tested using a mixture of factor analysis and multiple regression. In doing this the method estimates a series of separate but interdependent, multiple regression equations simultaneously. The likelihood of the model hypothesised actually occurring is then tested by the programme for its goodness of fit to the covariance matrix of the measured variables using a number of testing procedures. Obtaining a well-fitting model is not necessarily proof that the hypothesis is correct and it is equally likely that another model will fit just as well. For this reason it is necessary to postulate and test a few competing models then the best-fitting one may be used to confirm the specific hypothesis. When undertaking such a modelling process it is necessary to be aware of potential model selection bias, and further that the goodness of fit indices may be biased by this process.

1.3. Review of psychological variables collected from farmers

In addition to the easily documented aspects of a person, such as sex, age and education, decades of research in differential psychology have identified a series of other stable aspects of the person that have strong predictive validity with regard to job success and other important life outcomes. As many of these variables as possible were collected in the survey, in order to enable

their ability to explain farmer behaviour to be assessed. A brief description of the more important psychological variables included in the survey is given below.

The first variable assessed was mental ability, or intelligence. This has a proven association with occupational success and impinges on decision-making in many ways (Neisser *et al.*, 1996). It was decided to assess two of the key aspects of intelligence, namely fluid and crystallised intelligence. To assess fluid intelligence, a non-verbal measure is necessary. Therefore, Ravens Progressive Matrices (RPM) were employed (Raven *et al.*, 1992). It is well known that the RPM achieves about as well as can be done in a single test, a good approximation of fluid general intelligence. Results on the RPM are markedly affected by age, with young people performing better than older people. Generally speaking, scores on the RPM - and fluid intelligence - age like any other physical ability. The second type of intelligence which was assessed is known as crystallised intelligence. To assess this the national adult reading test was used (Nelson and Willison, 1991). Importantly, crystallised intelligence does not age in the way fluid intelligence ages. Generally speaking it is highly stable with age until about the 60s or 70's. It is often taken to represent concepts such as acquired knowledge, wisdom and higher level things such as acquired strategies. In an occupation such as farming, it was recognised that both of these types of intelligence might be important. Fluid intelligence would help with novel problems where previous knowledge would not help; however, it was also recognised that many farming problems are more easily dealt with if one has seen them several times before and had a stored series of strategies with which to meet them.

A further set of variables pertained to the personality of the farmer. In the last decade there has been much converging consensus regarding the number and type of personality dimensions which are most important in influencing behaviour (John, 1990). This has come together in what is known as the five-factor model of personality (Costa and McCrae, 1992). Therefore, human

temperamental variation is seen to express itself principally along five dimensions. The first is neuroticism, a tendency toward negative emotions such as anxiety, depression and guilt. The second is extroversion, a tendency either to be outgoing and sociable or to be more introverted and solitary. The third factor is openness, a tendency toward or against the embracing of new ideas, cultures and so forth. The fourth dimension is agreeableness; on the one hand this indicates a tendency towards affection and co-operativeness and on the other hand towards independence and hostility. The last of the five dimensions is conscientiousness which contrasts a tendency towards planfulness and tidiness versus a tendency towards disorganisation. It was conceivable that many of these variables would have importance in farming. For instance, it is well known that farming is a stressful occupation. Therefore, one might expect individual differences in farmers' neuroticism levels to have an impact on the degree of stress felt with regard to farming. To take one more example, one might expect the farmers' level of openness to influence the degree to which they were embracing new ideas in farming.

The coping skills of farmers were also assessed. Again, theories of coping have coalesced recently in an agreement that there are two or three major coping strategies along which people vary. These are 1) task-oriented coping, a way of coping which involves planning and implementing ways to alleviate the stressful situation; 2) emotion-oriented coping, a tendency to express emotion such as anxiety, grief and anger in response to stress; and 3) distraction-oriented coping which involves indulgence in activities unrelated to the alleviation of the stressful situation. The instrument used to assess these coping strategies was the Coping Inventory for Stressful Situations (Endler and Parker, 1990). As with personality, one can easily foresee ways in which various coping strategies would be important in dealing with decisions in farming. For instance, it might be seen as more dysfunctional to engage in emotion-oriented coping with regard to the stressors involved in farming.

The above variables are all very general, with none of them devised specifically for the farming or business situation. This is both a strength and a weakness. It is a strength because, if they were to be successfully included in models of farmer behaviour it would indicate that the most general aspects of the person were important in specific activities. It is a weakness, because it is quite conceivable that more specific aspects of the person would have a more proximal and powerful association with some of their business-oriented behaviours. Therefore, it was decided that some aspect of a person's business decision-making should be involved. In a changing business like farming it was thought to be important to assess the degree to which each person was innovative in their processes or whether they tended to work with what was to hand and put up with and adapt rather than innovate. The scale which best assesses these tendencies is the Kirton Adapter-Innovator inventory (Kirton, 1987).

The final psychological variable collected was an outcome rather than an antecedent or mediating variable. This was the General Health Questionnaire (GHQ), which assesses non-psychotic psychological distress. In particular, the GHQ assesses mild to moderate degrees of anxiety and depression (Goldberg and Williams, 1991). This scale was assessed because, apart from specific farm business behaviours, we also attempted to model the process of farm stress and the GHQ provides a widely-validated assessment of generalised stress (McGregor *et al.*, 1995).

It is well known that farmers hold attitudes on a number of farm-related topics (Cougheneur and Swanson 1988, Schroeder *et al.*, 1985). There is also some evidence which suggests that farmers espouse a number of goals related to their farming, only one of which is economic success (Gasson 1973, 1974, Gilmore, 1986). Both attitudes and objectives may be important factors in decision-making and behaviour and it was necessary to collect information on them during the survey. This was done through the construction of a number of novel questionnaires designed to elicit relevant information on these variables.

Variable	Farmer Sample			Normed population	
	Mean	Std Dev	N	Mean	Std Dev
Personality					
Neuroticism	17.35	6.79	246	17.60	7.46
Extraversion	26.57	5.25	246	27.22	5.85
Openness	22.54	5.44	246	27.08	5.82
Agreeableness	28.52	5.10	246	31.93	5.03
Conscientiousness	32.96	5.43	246	34.1	5.95
Coping with stressful situations					
Task coping	60.52	7.74	246	58.56	9.96
Emotion focused coping	39.11	9.39	246	39.21	11.54
Avoidance coping	37.34	10.50	246	38.10	9.59
Distraction coping	16.15	5.53	246	17.53	5.51
Social diversion coping	14.11	4.12	246	13.31	4.13
Adaptor/Innovator Personality					
Kirton Adap- tor/Innovator Inventory (KAI)	94.80	11.98	242	95	17.9
Intelligence					
(NART) Verbal Intelli- gence	33.94 (av- erage of 16 errors)	9.97	216	22 errors	
(Raven std matrices) Non-verbal Intelligence	34.71	8.45	222		

Table 1: A comparison of the results from the personality tests undertaken with the sample of farmers in Scotland with results from a normed population in the UK

Farming Attitudes Scale Factors (EFAS)	Farming Objectives Scale Factors (EFOS)	Farming Implementation Scale Factors (EFIS)
1. Attitude geared towards achievement and moti- vation	1. Business objectives	1. Production oriented behaviour
2. Attitudes towards legis- lation	2. Environmental objectives	2. Environmentally friendly behaviour
3. Pessimism regarding the future of farming	3. Quality of life objectives	3. Stress behaviour
4. Openness to new farming ideas	4. Status objectives	4. Developing or « emerging » farmers
5. Financial risk taking	5. Off-farm employment goals	
6. Attitude towards chemi- cal use		
7. Attitude towards policy decisions		

Table 2: Factors derived from the Edinburgh Farming Attitudes Scale (EFAS), Edinburgh Farming Objectives Scale (EFOS), and Edinburgh Farming Implementation Scale (EFIS) which represent domains of attitude, objective and behaviour held by the sample farmers.

These were termed the Edinburgh Farming Attitudes Scales (EFAS) and the Edinburgh Farming Objective Scale (EFOS) and measured attitudes and objectives respectively (Willock *et al.*, in press).

In addition to collecting information on potential explanatory variables, data on the outcome variable, namely farmer behaviour, was also needed. Information on the behaviour of the farmers was obtained through the use of a third questionnaire, The Edinburgh Farming Implementation Scales (EFIS) (Willock *et al.*, in press).

2. Results

The analysis sought to examine relationships between personological and farm structural variables with actual farmer behaviour (as measured with the Edinburgh Farm Implementation Scale (EFIS) described earlier). Prior to presenting some exploratory models relating behaviour and personological variables a brief summary of the psychological profile of the sample is presented.

2.1. Psychological Profile of Farmers compared with the General Population

The psychological profile of farmers in this survey only differed from that recorded from a normal population for one variable, and that was intelligence (Table 1). The population of farmers in the survey had a slightly higher than average intelligence as estimated by the NART test than the normal adult populations tested to date (Nelson and Willison, 1991)

One aspect of farmers' psychological profile which has been given much attention recently is that of stress, and it was widely reported that farmers had higher suicide rates than other professions (Jones, 1994). However, in the group surveyed here only 10 % (26) of the sample were psychologically distressed according to General Health Questionnaire evaluation. In the UK

studies have found 22 % of the population would appear to be distressed by these criteria. Most of these will be transient and only about 12 % have persistent high scores, so it appears that stress levels in farmers are similar to those in the general populace.

2.2. Attitudes, objectives and behaviour

The three farming-related questionnaires (EFAS, EFOS and EFIS) were analysed by multi-variate analysis and it was discovered that farmers held seven types of attitudes, they had five types of objectives and expressed four types of behaviour (Willock *et al.*, in press). Each of these factors is explained by the score given to between 6 and 12 individual items relating to the general theme named by the factor on the relevant questionnaires. The factors derived from EFAS, EFOS and EFIS are presented in Table 2 and the items which defined these factors are presented in Appendix 1.

2.3. Correlations between personological variables and farmer behaviour

Analyses of the interrelation between the variables revealed significant correlations between achieving attitudes, business, quality of life and status objectives and business behaviour (Table 3). Similarly, environment-oriented behaviour was significantly correlated with an attitude towards chemical use, environmental objectives, status and off-farm objectives. Stressed behaviour was related to *not* being business-oriented, having a pessimistic attitude and a poor response to legislation. The relationship between the behaviours and farm structural and demographic variables is presented in Table 4.

Production-oriented behaviour was correlated with a range of structural and demographic variables including education, amount of training, having an arable farm, and larger revenue (Table 4). In addition, the correlations between

Factor	Production Behaviour	Environmental Behaviour	Stressed Behaviour
Attitude geared towards achievement and motivation	0.20**	0.04	0.18**
Attitude towards legislation	0.07	0.03	0.16*
Pessimism regarding future of farming	0.06	0.04	0.21**
Openness to new farming ideas	0.43**	0.26**	0.01
Financial risk taking	-0.14*	0.00	0.09
Attitude towards chemical use	0.11	0.19**	0.08
Attitude towards policy decisions	0.11	0.08	0.04
Business objectives	0.18**	0.12	0.05
Environmental objectives	0.16*	0.22**	0.00
Quality of life objectives	0.30**	0.12	0.05
Status objectives	0.14*	0.16*	0.05
Off-farm employment goals	0.14*	-0.35**	0.04

Table 3: Correlation between the domains of attitude and objectives held by the sample farmers and three behaviours exhibited by the farmers. * indicates significance at 0.05 level; ** indicates significance at 0.01 level

Variable	Production Behaviour	Environmental Behaviour	Stressed Behaviour
Acres	-0.07	0.22**	-0.11
Age	-0.05	-0.03	0.13
Assets	0.08	0.22*	0.08
Debt	-0.01	-0.06	0.31**
Diversification	-0.06	0.52**	-0.13*
Education	0.25**	0.18**	-0.07
Farm Type	0.03	0.04	0.02
Full-time employees	0.14*	0.15*	-0.12
gfm/acre	0.09	0	0.02
Land type	0.33**	-0.16*	0.07
Liabilities	0.17	0.06	-0.16
No. of children	-0.08	-0.01	-0.04
Other on-farm work	0.08	0.06	-0.16*
Other off-farm work	0.03	0.04	-0.04
Own off-farm work	-0.11	0.18**	-0.22**
No. Partners	0.01	0.06	-0.07
Part-time employees	0.00	0.26**	-0.01
Revenue	0.21**	0.05	-0.04
Size change	0.11	0.15*	0.04
Subsidies	-0.12	0.10	-0.10
Succession	-0.06	-0.05	0.05
No. supported	0.03	-0.07	0.02
Training	0.18**	0.15*	-0.02
Variable costs	0.10	-0.01	-0.09

Table 4: Correlation between three behaviours exhibited by the sample farmers and a range of farm structural and family demographic variables. * indicates significance at 0.05 level, ** indicates significance at 0.01 level.

this behaviour and the psychological variables would suggest that production-oriented farmers are generally conscientious, open-minded, gregarious individuals, who regularly assess information derived from a variety of sources (Table 5). This is in contrast to environment-related behaviour which is correlated with the structural variables farm size, assets, diversification, education and being within a less favoured area (LFA), having off-farm work and part-time employees (Table 4) and the psychological variables extroversion, task coping, intelligence, information gathering and an open and innovative personality (Table 5).

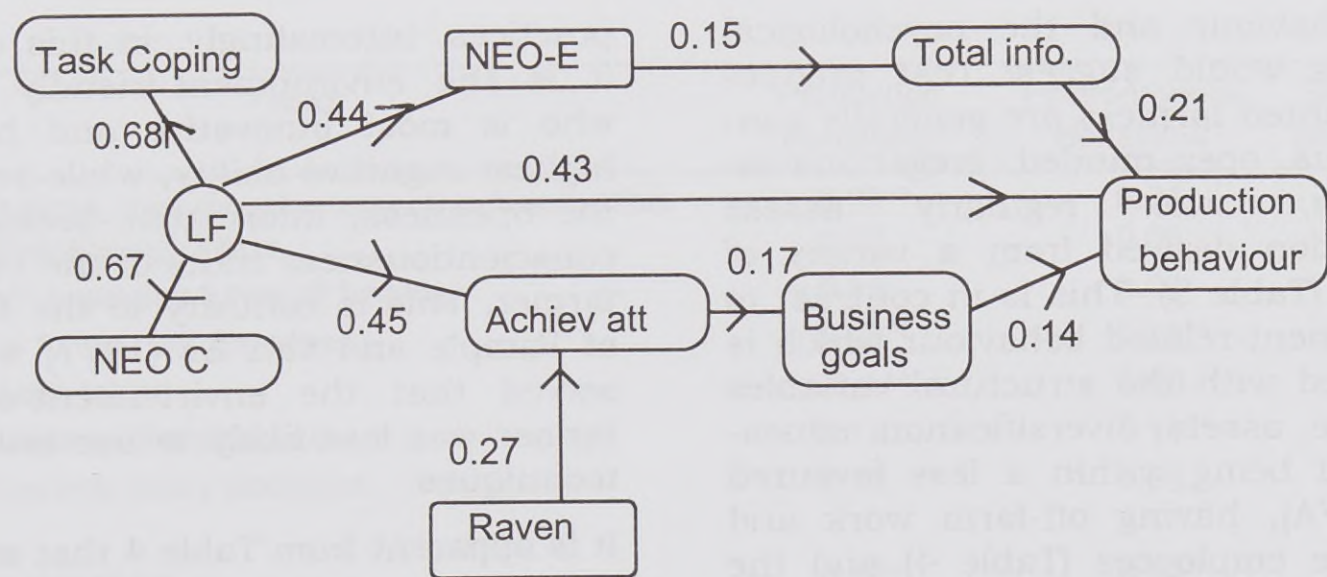
Education and personality were important in affecting both production and environmental behaviours. Personality traits are also shown to be strong contributors to farmers' behaviour. The business-oriented farmer is an outgoing information seeker, open to new ideas, who conscientiously applies business

practices. Interestingly, in this sample, it is the environment-friendly farmer who is most innovative and has the highest cognitive ability, while retaining the openness, information-seeking and conscientiousness traits of the business farmer. This is contrary to the findings of Pample and van Es (1977) who observed that the environment-oriented farmer was less likely to use innovative techniques.

It is apparent from Table 4 that stressed behaviour was strongly correlated with debt, the absence of diversification or off-farm work, and from Table 5 with the psychological variables neurotic personality, emotion focused coping and psychological distress. These results suggest that the « financially stressed » farmer typically has a neurotic personality, uses emotion focused coping, and is likely to be psychologically distressed. Whether this is due to an unusually high level of debt, or personality type would have to be determined separately.

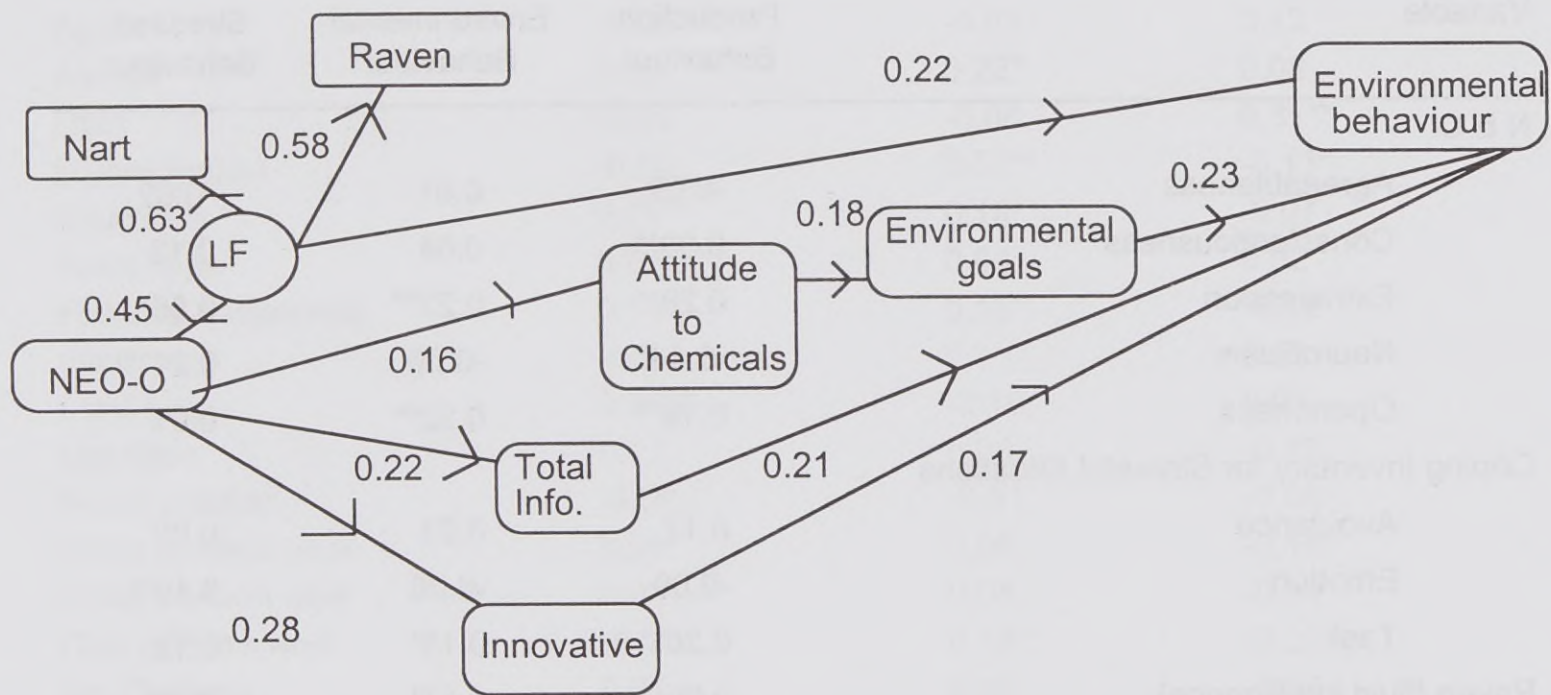
Variable	Production Behaviour	Environmental Behaviour	Stressed Behaviour
NEO			
Agreeableness	-0.09	0.01	-0.02
Conscientiousness	0.30**	0.04	0.12
Extraversion	0.28**	0.22**	0.06
Neuroticism	-0.14*	-0.09	0.21**
Opennness	0.19**	0.22**	0.01
Coping Inventory for Stressful Situations			
Avoidance	0.12	0.03	0.02
Emotion	-0.09	-0.06	0.19**
Task	0.26**	0.15*	0.12
Raven (fluid intelligence)	0.09	0.17*	-0.05
Nart (crystalised intelligence)	0.09	0.13	0.06
General Health Questionnaire - Innovator	-0.10	-0.05	0.31**
Kirton Adaptor Inventory	0.10	0.25**	-0.00
Total Info.	0.24**	0.22**	-0.03

Table 5: Correlation between three behaviours exhibited by the sample of farmers and the scores obtained by the farmers for various psychological variables. * indicates significance at 0.05 level, ** indicates significance at 0.01 level.



NEO E = score on the extraversion personality factor, NEO C = score on the conscientiousness personality factor, Task coping = score on Coping Inventory for Stressful Situations, Raven = measure of fluid intelligence, Achiev. Att. = item score from attitude questionnaire for achieving attitude, Business goals = item score for business-oriented objectives, Total info. = total amount of information gathered and used by farmers, LF = latent factor. This is a hypothesised variable relating four real variables (achieving attitude, task coping, NEO C and NEO E). It signifies some relationship between the measured variables which was not captured in the data analysis. The inclusion of latent factors in SQM may increase the goodness of fit of the model, and also highlights knowledge gaps. Production behaviour = independent variable relating to the self reported behaviour characterised as being oriented towards increasing production

Figure 1: A structural equation model relating a range of independent psychological variables to the dependent variable, production-oriented behaviour. Lines indicate a relationship between variables. Arrows indicate the hypothesised direction of the interaction. The numbers alongside the pathways indicate the standardised residuals solution as calculated by the EQS programme, the square of this value represents the proportion of variance explained by the two variables.



NEO O = score on the openness personality factor, Raven = measure of fluid intelligence, NART = measure of crystallised intelligence, Attitude to chemicals = item score from attitude questionnaire, Environmental goals = item score for environmentally related goals, Total info. = total amount of information gathered and used by farmers, Innovative = score on Kirton Adaptor Inventory, LF = latent factor. This is a hypothesised variable relating three real variables (Raven, Nart and NEO-E). It signifies some relationship between the measured variables which was not captured in the data analysis. The inclusion of latent factors in SQM may increase the goodness of fit of the model, and also highlights knowledge gaps. Environment behaviour = independent variable relating to the self reported behaviour characterised as being oriented towards enhancing the environment.

Figure 2: A structural equation model relating psychological variables to environment-related behaviour. Lines indicate a relationship between variables. Arrows indicate the hypothesised direction of the interaction. The numbers alongside the pathways indicate the standardised residuals solution as calculated by the EQS programme, the square of this value represents the proportion of variance explained by the two variables.

2.4. Development of models

As described earlier, models developed within a structural equation modelling programme (Bentler, 1995) were developed to test a range of hypotheses concerning the interaction of psychological, structural variables and behaviour. Two of the models developed are described here. The first of these models relates the contribution of personological variables to production-oriented behaviour (Figure 1), and the second to environment-friendly behaviour (Figure 2). These models are presented here as examples of potential types of analyses which integrate psychological variables and farming behaviours. However, it is interesting to note that the personological variables explain between 20-30 % of the variation in the farming behaviours examined. Further information on these and other models is available in Willock (1998).

3. Advantages and disadvantages of incorporating psychological variables in models for *ex ante* policy assessment

Previous sections have discussed the methods and results of the Edinburgh Study of Decision-Making on Farms, which sought to incorporate psychological variables in explanatory models of observed farmer behaviour. The current section draws on the experience gained in this project and presents a theoretical consideration of the advantages and disadvantages of utilising psychological variables in future models which seek to predict the rate of adoption of a voluntary practice or policy, and/or a new technology amongst a population of farmers.

3.1. Are traditional models of farmer behaviour adequate?

If models which include psychological variables are to be useful in applied situations, then their utility needs to be proven. One measure of this utility would be if they explained either a larger amount of variation in observed behaviour (the dependent variable) than other models, or alternatively they explained some of the variation not explained by other models. The descriptive models developed by the ESDMF explained a relatively large amount of the variation, between 20 and 30 %. Clearly however a large amount of observed variation remains unexplained by these models. Comparing the explanatory power of these models with that of traditional models aimed at predicting farmer behaviour is not a simple task, largely because traditional linear-programming based models are extremely difficult to validate. However, evidence from Norton and Scheifer (1980) and Moxey *et al.* (1995) suggest that linear programming based policy assessment models have a percentage absolute deviation (PAD) of between 0 and 14 % (Table 6) (PAD is defined as the average absolute deviation between the predicted and the observed areas divided by the average actual value (Norton and Schiefer, 1980). This would suggest that there may be a role for incorporating other variables within these models in order to increase their explanatory powers. Support for the inclusion of psychological variables in these models comes from Norton and Scheifer (1980) who state that some of the principal causes of errors in regional or sectoral models include:

- 1) aggregation over a large number of producers
- 2) errors in the specification of the objective function
- 3) errors in the specification and estimation of commodity demand functions
- 4) errors in the treatment of factor markets

- 5) insufficiently detailed seasonality of input specification
- 6) other omissions of behavioural and technical constraints
- 7) errors in production coefficients and estimated resource availabilities and other technical parameters.

In theory, the inclusion of psychological variables within such models should reduce errors associated with 2) and 6), and depending on the model structure perhaps in 1).

So in summary, traditional models for predicting farmer behaviour do not explain all of the observed variation in

farmer behaviour, and at least two of the reasons for this could be related to the exclusion of psychological and socio-cultural variables. However, even though the integration of psychological and economic models appears theoretically advantageous, actually assessing the potential of such an integration is difficult, if not impossible, to undertake given existing data sets. It is possible, however, to make some suggestions as to the situations where including psychological variables in models of farmer behaviour may be more or less useful. One way to examine this is through a consideration of the spatial scale addressed by the model.

Model name	Country	References	Concept	PAD
CHAC	Mexico	Bassoco & Norton (1975)	Production	13.4 %
-	Philippines	Kunkel <i>et al.</i> , (1978)	Acreage	9.1 %
-	N. E. Brazil	Kutcher & Scandizzo (1979)	production	8.2 %
MOCA	Costa Rica			7.0 %
	El Salvador			12.0 %
	Guatemala	Cappi <i>et al.</i> , (1978)	production	7.1 %
	Honduras			9.3 %
	Nicaragua			8.7 %
NELUP	U.K.	Moxey <i>et al.</i> , (1995)	land use	10 - 14 %

Table 6: The percentage absolute deviation (PAD) for a range of linear programming models developed for agricultural policy assessment. Partly derived from Norton & Scheifer (1980)

**3.2. Spatial scale
and the importance
of psychological variables
in models of farmer behaviour**

There may be little benefit in integrating psychological variables in models which seek to predict land use at a gross scale (such as the Land Use Allocation Model, Harvey and Rehman, 1989) because at the national scale there is a large difference in financial return available from all possible enterprises, and in many situations enterprise choice may be constrained by bio-physical conditions. Here it is probable that the financial variables and the constraints of land use may dominate any decisions farmers could make. Linear programming (LP) probably allows for these constraints to be represented relatively accurately, and by applying the law of large numbers, the economists' view

that utility can be modelled through the proxy of profit maximisation is probably a workable assumption.

However, consider the converse situation to a national scale model, where two identical sized farms (or parcels of land) are located close together and are subject to similar bio-physical conditions. If these farms were given to separate managers who had access to the same financial resources, then traditional LP programmes would predict similar land-uses for these farms. However, it is debatable if this is what would be observed. While both hypothetical farmers may, on the basis of financial returns, adopt an arable based enterprise, the exact details of the farms may vary in terms of crops, varieties, rotations, inputs and other aspects of land management such as the condition and extent of hedgerows, woodland, conservation headlands and the creation of

pasture for horses and other « companion » and « hobby » animals. Here it may be suggested that differences in the management of the land would be related largely to socio-cultural and psychological variables. One example of a real situation similar to this is the relationship between people and their gardens. Within housing developments in almost every town a wide range of land uses is evident in gardens, ranging from the wholly grass-based garden, through flowers to vegetables (or some combination of all three). This is despite the individuals who own these gardens sharing similar bio-physical conditions and having broadly similar access to resources.

So in theory, when considering the management of land parcels which are similar in terms of bio-physical conditions and where their managers have access to similar resources, two hypotheses may be postulated. First, traditional LP-based models would not predict any differences in land use between the parcels. Second, any observed differences in actual land use and management would be due to the psychological and socio-cultural make-up of their managers. If the above arguments are accepted as true, then the integration of psychological variables within models of farmer behaviour would probably bring greatest benefits when either the analyst is interested in homogenous resources managed by different people, and/or in relatively small scale changes in land management. A good example of such a situation which contains elements of both of these situations would be the uptake of an agri-environment policy within a region, eg Environmentally Sensitive Areas in the UK. Indeed, studies have suggested that psychological variables are important in the adoption of agri-environment schemes (Gasson and Potter, 1988).

3.3. Appropriate modelling scales: groups or individuals?

One of the major advantages of modelling farmer behaviour is the potential to extrapolate from a sample to the whole population. A pre-requisite of such ex-

trapolation is that farmers be grouped according to some relevant characteristic, and that farmers within a group be more similar to each other than to farmers in other groups. While economists generally group farms on the basis of physical and structural variables, it remains unclear if meaningful typologies of farmers can be developed on the basis of sociological and psychological variables. Several sets of discriminating variables may be suggested as inputs to any farmer classification scheme. These range from the relatively common and familiar « age », « education », « stage of family cycle » through to the less familiar, « Intelligence Quotient » (IQ), « degree of innovativeness », « personality type » and attitude. However, to date there has been no agreement as to which variable, or group of variables, is most important in determining different farmer behaviours. It may be argued that to date agricultural economists have been utilising variables such as « age » and « education » as proxies for more fundamental psychological variables such as « openness », « intelligence » and « innovativeness ». If this is the case then typologies based on the fundamental psychological variables may be more meaningful and robust than any based on proxies. Indeed, having accepted the requirement to include non-financial variables in predictive models of farmer behaviour, one of the main advantages of utilising psychological variables is that they remove the need for less reliable « proxy variables ». The only point for debate here is whether or not collecting the fundamental data is cost-effective. Assessing farmer age is cheap and easy, and if this proves to be a good proxy for « openness », or any other psychological variable, which is complex and expensive to assess, then the continued use of proxy variables may be justified.

Much work remains to be done in this area, and while in theory it may be possible to represent individual farmers in relatively small-scale models which could be overlaid onto maps of the land they manage, this may not be either cost-effective or ethical. For example, within the ESDMF a significant and positive correlation was discovered between farmers' score on IQ tests and

gross farm income per hectare (gfm/ha) (McGregor *et al.*, 1996). Regardless of other differences, individuals with higher gfm/ha may be expected to respond differently to a change in circumstances, such as a change in policy, than individuals with lower gfm/ha, and IQ may be a good indicator of this response. Calculating IQ is relatively simple, and could easily be done at a local and regional scale. But would collecting and representing such data on computer models be ethical? Recent debates in psychology about cultural and racial differences in IQ suggest there is a broad field for dispute in this area (Herrnstein and Murray, 1995, Neisser *et al.*, 1996).

3.4. Moving from descriptive to predictive models

One issue of concern for agricultural scientists relates to the actual structure of any predictive model of farmer behaviour. The types of models developed as part of ESDMF are descriptive in nature, they seek to explain patterns in data rather than predict changes in some output variable. As such the ESDMF models reflect much of the work undertaken to date on the relationship between socio-cultural variables and farmer behaviour, nearly all of which is descriptive in nature. This body of work is in contrast to many economic and biological models which explicitly seek to predict change in output variables according to changes in inputs.

In this situation where farmer behaviour is a function of complex interactions between a wide range of variables ranging from the financial to the psychological, it is debatable whether or not standard linear programming is an appropriate modelling paradigm. Rather a simulation technique may be more appropriate, where for each farmer (or group of farmers) a distribution is derived which represents the probability of displaying any given behaviour, e.g. the adoption of a certain policy. Given the nature of the data to be manipulated by such a model, a rule-based approach has been suggested as being one possible structure for such models (Edwards-

Jones and McGregor, 1994) and a prototype of one such model has been developed (Edwards-Jones *et al.*, 1998). However, much more work remains to be undertaken in this area.

4. Discussion

This paper sought to investigate whether or not benefits would accrue from incorporating psychological variables within models which seek to predict farmer behaviour. Four main points have arisen in the discussion so far. Firstly, psychological and socio-cultural variables appear to play an important role in determining the behaviour of farmers, and personological variables explained between 20 % and 30 % of observed variation in environment-oriented behaviour of Scottish farmers. Secondly, LP models of farmer behaviour are not often tested in a rigorous manner, but those for which data are available suggest they leave a relatively large proportion of the observed variation unexplained. Some of the reasons for these errors may pertain to the absence of psychological and socio-cultural variables being present in the model. Thirdly, socio-economic variables traditionally collected and used by agricultural economists may not be fundamental, rather they may be indicators of relationships which can be explained at a more fundamental and robust level by the collection and use of psychological variables. Fourthly, there is probably an interaction between the financial gains which accrue from a behaviour and the psychological variables related to that behaviour. Thus if the financial rewards are large enough, all farmers, regardless of psychological profile, may well adopt that behaviour. For this reason, the inclusion of psychological and socio-cultural variables in large scale models which seek to predict gross changes in land use may not be overly beneficial. However, as the geographic scale of the model decreases, and/or the focus of the model moves towards predicting small scale behaviours then the inclusion of psychological variables would seem to offer greater benefits.

The Edinburgh Study of Decision Making on Farms has proved that relevant data can be collected from farmers in order to develop models of behaviour based solely on psychological and social variables. More work is needed on the integration of such psychological models with economic-based modelling approaches. Areas on which particular attention needs to be focused centre around three main issues. First, the necessity and practicality of developing typologies of farmers for inclusion in large scale models. Second, the relationship between the psychological make-up of farmers and the likelihood that they will adopt a certain behaviour at different levels of financial gain. Finally, the computational form of any integrated model itself needs to be addressed. It has been suggested that a simulation approach may be more appropriate than an LP for the implementation of such models.

Acknowledgements

We would like to thank SOAEFD for funding our work in this area, and all of the farmers who gave so willingly of their time.

References

- Akinola A.A.**, 1987. An application of probit analysis to the adoption of tractor hiring service schemes in Nigeria. *Oxford Agrarian Studies*, 16: 70-82.
- Bassoco L.M. & Norton R.D.**, 1975. A quantitative approach to agricultural policy planning. *Annals of Economic and Social Measurement*, 4: 571-594.
- Bentler P.M.**, 1995. EQS. *Structural Equations Program Manual*. Multivariate Software Inc., Encino, California, USA
- Bentler P.M. & Speckart G.**, 1979. Models of attitude-behaviour relations. *Psychological Review*, 86: 425-464.
- Bentler P.M. & Speckart G.**, 1981. Attitudes "cause" behaviours: A structural equation analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 11: 271-278.
- Cappi C., Fletcher L., Norton R., Pomareda C. & Waiver M.**, 1978. A model of agricultural production and trade in Central America. In: W. Clive and E. Delgado (Eds.) *Economic Integration in Central America*, Washington DC, The Brookings Institution.
- Costa P.T. & McCrae R.R.**, 1992. *NEO-NFI Test Manual*, Psychological Assessment Resources, Inc. Florida.
- Coughenour M.C. & Swanson E.**, 1988. Rewards, values, and satisfaction with farm work. *Rural Sociology*, 53: 442-459.
- Deary I.J., Blenkin H., Agius R.M., Endler N.S., Zeally H. & Wood R.**, 1996. Models of job-related stress and personal achievement among consultant doctors. *British Journal of Psychology*, 87: 3-29
- Deweese C.M. & Hawkes G.R.**, 1988. Technical innovation in the Pacific coast trawl fishery: the effects of fisherman's characteristics and perceptions on adoption behaviour. *Human Organisation*, 47: 224-234
- Edwards-Jones G. & McGregor M.J.**, 1994. The necessity, theory and reality of developing models of farm households.. In: J B Dent and M J McGregor (Eds.): *Rural and Farming Systems Analysis - European Perspectives*, CAB, Wallingford, UK. pp 338-352.
- Edwards-Jones G., Dent J.B., Morgan O. & McGregor M.J.**, 1998. Incorporating farm household decision-making within whole farm models. In: Tsuji G (Ed.) *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer: A systems approach to research and decision-making*. Kluwer Academic Press (in press).
- Endler N.S. & Parker J.D.A.**, 1990. *Coping inventory for stressful situations (CISS): Manual*. Toronto: Multi-Health Systems.
- Fazio R.H.**, 1990. Multiple processes by which attitudes guide behaviour: The MODE model as an integrative framework. In: M.P. Zanna (Ed.): *Advances in experimental social psychology* (Vol 23, pp 75-109). San Diego, CA: Academic Press.
- Fishbein M. & Ajzen I.**, 1975. *Belief, attitude, intention and behaviour. Introduction to theory and research*. Reading MA: Addison-Wiley.

- Gasson R.**, 1973. Goals and values of farmers. *Journal of Agricultural Economics*, 24: 521-524.
- Gasson R.**, 1974. Socio-economic status and orientation to work: The case of farmers. *Sociology Ruralis*, 14: 127-141
- Gasson R. & Potter C.**, 1988. Conservation through Land Diversion: A Survey of Farmers' Attitudes. *Journal of Agricultural Economics*, 39, (3):340-351.
- Gilmore D.A.**, 1986. Behavioural studies in agriculture: Goals, values, and enterprise choice. *Irish Journal of Agricultural Economics and Rural Sociology*, 11: 19-33.
- Goldberg D. & Williams P.**, 1991. *User's guide to the General Health Questionnaire*. NFER-NELSON.
- Gorsuch R.L. & Ortberg J.**, 1983. Moral obligation and attitudes: Their relation to behavioural intentions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 44: 1025-1028.
- Harvey D.R. & Rehman T.**, 1989. Environmental change in the countryside: the development and use of a policy model in England and Wales. In: A. Dubgaard and A. Hjordshøj-Nielsen (Eds.): *Economic aspects of environmental regulations in agriculture*, Proceedings of a European Association of Agricultural Economists seminar, Copenhagen.
- Herrnstein R.J. & Murray C.**, 1995. *The Bell Curve*, Free Press NY.
- John O.P.**, 1990. The 'Big Five' taxonomy: Dimensions of personality in natural language and in questionnaires. In: Pervin, L.A. (eds): *Handbook of Personality Research*. Guildford Press, NY.
- Jones P.**, 1994. Setting the scene: the background to stress in the rural community, causes, effects and vulnerable groups. Conference on Rural Stress: Positive Action in Partnership, Stonleigh Park, UK.
- Kirton M.**, 1987. *Kirton Adaption Innovation Inventory Manual*. Occupational Research Centre, Hatfield: UK.
- Kunkel D.E., Rodriguez Jr. G.R., Gonzalez L.A. & Alix J.C.**, 1978. Theory structure and validated performance of MAAGAP: A programming model of the agricultural sector of the Philippines. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 8: 1-25.
- Kutcher G.P. & Scandizzo P.L.**, 1979. A partial analysis of share tenancy relationships in north east Brazil. *Journal of Development Economics*, 3: 343-354.
- Lazarus R.S. & Folkman S.**, 1984. *Stress, appraisal and coping*. New York: Springer.
- Locke E.A., Mento A.J. & Katcher B.L.**, 1978. The interaction of ability and motivation in performance: An exploration of meaning of moderators. *Personnel Psychology*, 31: 269-280
- McGregor M.J., Willock J. & Deary I.**, 1995. Farmer Stress. *Farm Management*, 9: 57-65.
- McGregor M.J., Willock J., Dent J.B., Deary I., Sutherland A., Gibson G., Morgan O., & Greive B.**, 1996. Links between psychological factors and farmer decision making. *Farm Management*, 9: 228-239.
- Moxey A.P., White B. & O'Callaghan J.R.**, 1995. The economic component of NELUP. *Journal of Environmental Planning and Management* 38: 21-34.
- Neisser U., Boodoo G., Bouchard T.J., Boykin A.W., Brody N., Ceci S.J., Halpern D.F., Loehlin J.C., Perloff R., Sternberg R.J. & Urbina S.**, 1996. Intelligence: Knowns and Unknowns. *American Psychologist*. 51 (2): 77-101.
- Nelson H.E. & Willison J.**, 1991. *National adult reading test (NART): Test Manual*. NFI-NELSON.
- Norton R.D. & Scheifer G.W.**, 1980. Agricultural sector programming models: a review. *European Review of Agricultural Economics*, 7: 229-264
- Oliver R.I. & Bearden W.O.**, 1985. Cross-over effects in the theory of reasoned action: A moderating influence attempt. *Journal of Consumer Research*, 12: 324-340.
- Pample F. Jr & van Es E.J.**, 1977. Environmental quality and issues of adoption research. *Rural Sociology*, 42: 57-71.
- Raven J.C., Court J.H. & Raven, J.**, 1992. *Standard Progressive Matrices Manual*. Oxford Psychologists Press: England.
- Salamon S. & Davis-Brown K.**, 1986. Middle range farmers persisting through the agricultural crisis. *Rural Sociology*, 51: 503-512.
- Schrueder E.H., Fliegel F. & van Es J.C.**, 1985. Measurement of the lifestyle dimensions of farming for small scale farmers. *Rural Sociology*, 50: 305-322.
- Sing S. & Ray J.J.**, 1980. Modernisation & development among Indian farmers. A modern proof of some old theories. *Economic Development and Cultural Change*, 509-521.

Vallerand R.J., Deshaies P., Currier J.P., Briere N.M. & Pelletier L.G., 1992. Toward a multidimensional definition of sportsmanship. *Journal of Applied Psychology*, 6 (1): 69-101.

Voh J.P., 1982. A study of factors associated with the adoption of recommended farm practices in a Nigerian village. *Agricultural Administration*, 9: 17-27.

Willock J., 1998. *Understanding and modelling farmer decision making*. Unpublished PhD Thesis, University of Edinburgh.

Willock J., Deary I., McGregor M.J., Sutherland A., Dent J.B. & Greive R., 1994. Decision-making on family farms. Paper presented at XXXVIII seminar of the European Association of Agricultural Economists, Copenhagen, 1-3 October 1994.

Willock J., Deary I.L., McGregor M.J., Sutherland A., Dent J.B., Greive R., Morgan O., Edwards-Jones G., Gibson G. & Austin E., The Edinburgh study of decision-making on farms: Farmers attitudes, goals and behaviours. *Journal of Vocational Behaviour* (in press).

Willock J., Deary I.L., McGregor M.J., Sutherland A., Dent J.B., Grieve R., Gibson G. & Morgan O., 1995. Edinburgh study of decision-making on farms: Modelling the relationship between personal characteristics, attitudes and behaviour: a model for stress. *43rd European Association of Agricultural Economists Seminar. Farmers in small-scale and large-scale farming in a new perspective; objectives, decision-making, and information requirements*. Woudschoten (The Netherlands) 16-18 October. p 208-217.

Appendix

Items from the questionnaire which define the factors for attitudes, objectives and behaviours presented in Table 2.

Attitude Factors

Seven domains of attitude were identified in the ESDMF. These domains were defined in accordance with an individual having high scores on a set of items on the Edinburgh Farmer Attitude Scale (EFAS). The items in the questionnaire that defined each domain of attitude are given below.

1. Achievement/Motivation

It is important to have the best livestock / crops / pastures.
Farm production is the thing to take most pride in.
It is important to read about farming practices.
It is important to pay attention to market prices.
Farm land should be fully productive.
It is important to keep up with new farming policies.
It is important that farmers be respected in the local community.
A farm is a business to be run efficiently.

2. Legislation

Legislation in farming involves too much paperwork.
Farming policy changes are not easy to understand.
The Government interferes too much in farming.
There is too much paperwork in farming.
Filling-in grant forms is anxiety-provoking, because errors can be penalised.

3. Pessimism regarding the future

It would be nice to give up farming.
Young people should not be encouraged to farm.
Farmers in Britain are demoralised.
Other employment would be better than farming.
Prices of crops and stock are bound to fall in the future.

4. Openness to new ideas in farming

It is important to have the occasional member of the public visit the farm.
It is important to keep up with new farming policies.
New machinery/ideas in farming have not improved upon traditional techniques.
Modern record-keeping systems are unimportant in farming.
It is important to visit other farms to look at their methods.

5. Financial risk taking

Successful farmers take financial risks.
In starting a new farming venture one should be willing to take out a loan for most of the capital required.
It is appropriate to take financial risks in farming.

Short-term loans are a good thing for farming.
To farm successfully one must be in debt.

6. Attitude towards chemicals

It is important to reduce nitrogen application by using non-chemical methods.
It is important to reduce pest control chemicals by using effective rotations.
« Green » groups are useful.
Organic farming is not a fad.

7. Policy

There is insufficient information on policy changes.
There is no clear overall strategy in agricultural policy.
Even advisors can't tell you what the current legislation is.
Farmers are sometimes informed about legislation too late to put it into practice.

Objective Factors

Five domains of objective factors were identified in the ESDMF. These domains were defined in accordance with an individual having high scores on a set of items on the Edinburgh Farmer Objective Scale (EFOS). The items on the questionnaire that defined each domain of objective are given below.

1. Business-oriented goals

It is important to utilise your resources.
It is important to have the best livestock / pastures.
It is important to make the largest possible profit.
Keep buildings/fences/dykes in good repair is important.
It is important to keep debt as low as possible.
Having up-to-date equipment and machinery is important.
It is important to try new varieties of livestock / crops.

2. Environment-oriented goals

Improving the quality of the farm generally is important.
It is important to use chemicals sparingly.
It is important to leave the land as good as you received it.
It is important to prevent pollution.
It is important to get all you are due from current legislation.

3. Quality of life values

Improving the living standards of family life is important.
Improving the quality of my life is important.
It is important to have other interests outside farming.
It is important to spend time with the family.
It is important to plan for retirement.

4. Status values

It is important to stay in farming whatever happens.
It is important to pass on the farm to a member of family.
It is important to have the respect of other farmers in the community.
It is important to enter and win at shows.

5. Off-farm employment goals

It is important to have other skills outside farming.
Off-farm work is necessary to stay in farming.
Having a successfully diversified farm is important.
It is important to have investments.

Behaviour

Four types of behaviour objective were identified in the ESDMF. These domains were defined in accordance with an individual having high scores on a set of items on the Edinburgh Farmer Implementation Scale (EFIS). The items on the questionnaire that defined each behaviour are given below.

1. Production-oriented behaviour

Do you monitor farm business performance?
Do you use targets in managing the farm?
Do you keep production records?
Do you use new farming methods?
Do you keep financial records?

2. Environment-oriented behaviour

Do you use fertilisers, sprays, chemicals?
Do you manage the farm business to maximise profit, above all else?
Do you regularly control vermin on the farm?
Have you taken any active conservation measures in the last five years?
Have you ever considered joining a conservation group?
Do members of the public occasionally visit your farm?
Have you inserted / replaced fences / dykes / hedges / etc. in the past five years?
To what extent have you diversified the farm business?

3. Stressed behaviour

Is it difficult to meet your farm business financial commitments?
Is it difficult to meet your personal financial commitments?
Is it easy to manage the farm business to suit yourself?
Has farm business debt changed in the last five years?
Is it difficult to find time to meet friends and family?

4. Developing farming behaviour (not discussed in this paper)

Do you have any definite plans to change the size of the farm business in the next five years?
Has the number of acres farmed for the farm business changed in the last five years?
What change has your income from the farm business shown over the last five years?
Have you made any large investments in the farm business in the past five years?
Do you discuss new farming policies with family?

Simulation of crop choice dynamics: an application of nested Master-Equation models

Nick WINDER
Paul JEFFREY*
Mark LEMON

*International Ecotechnology Research Centre, Cranfield University, Cranfield. Beds. MK43 0AL. UK.
T  l. : (+44) 01234 750111 - Fax: (+44) 01234 750163, Email: p.j.jeffrey@cranfield.ac.uk

Abstract

One of the most intractable problems faced by decision-makers is the possible effect of policy tools on the decisions of actors operating within the environment of interest. The paper contributes to the study of this issue by reporting a novel modelling approach to the analysis of farmer - environment - policy interactions, that of using nested Master Equations. The model simulates a multi-function assessment of various economic, technological and environmental constraints affecting farmers in the Argolid region of southern Greece. We obtain an approximate *eigenvector* of a dynamically variable transition matrix of infinite dimension. This *eigenvector* represents a probability density function in thirteen dimensions that governs crop choice behaviour on a theoretical representation of the Argolid Plain. Regularities observed in the model's output resonate clearly with observations from sociological and anthropological fieldwork which were not knowingly integrated at the design phase, thus providing an independent empirical check on the work. The output from the simulation model is compared with observations from the field, and the technique is discussed in terms of its novelty and significance as a micro-simulation tool.

Keywords: crop choice, modelling, master equation, simulation.

Résumé

Simulation de la dynamique des choix de culture. Modélisation à base d'Equations Maîtresses hiérarchisées. Un des principaux problèmes auxquels sont confrontés les décideurs tient à la difficulté d'apprécier les conséquences possibles des nouvelles réglementations politiques sur les décisions des acteurs visés. Cet article apporte une contribution à ce débat en présentant une technique originale de modélisation pour l'étude des interactions agriculteur - environnement - réglementations politiques, celle de l'utilisation d'Equations Maîtresses hiérarchisées. Le modèle, basé sur les données d'une enq  te sociale dans la région d'Argolid en Gr  ce, simule les décisions de choix de cultures sur la base d'une évaluation multi-fonctionnelle de diverses contraintes économiques, technologiques et environnementales. Cette approche permet la définition d'un *eigenvector* dans une matrice de transition dynamique à dimensions infinies. Ce vecteur représente une fonction de la densité de probabilité dans les 13 dimensions supposées jouer un rôle dans le comportement de choix de cultures, ceci sur une représentation théorique de la plaine d'Argolid. Les régularités observées dans les résultats de la simulation vont clairement dans le même sens que les observations sociologiques et anthropologiques effectuées sur le terrain, et qui n'ont pas été intégrées au modèle. Les résultats du modèle de simulation sont comparés avec les observations de terrain, et la technique est discutée du point de vue de sa nouveauté ainsi que de sa signification en tant qu'outil de micro-simulation.

Mots-clés : choix des cultures, modélisation, équation maîtresse, simulation.

Introduction

This text presents results from an ongoing study of the Argolid region of Southern Greece. One of the study's objectives is to understand the determinants of changes in farming practice in the area and this involves interdisciplinary collaboration between researchers from a range of disciplines including anthropologists, sociologists, hydrologists and computer modellers. In many ways the nature of collaboration is unique. Unlike the vast majority of co-operative cross-disciplinary ventures where the social sciences are used as data generation engines for modellers, this project has promoted a symbiotic relationship. The formats of the contributions are not comparable at the level of data compatibility, but they are mutually informative in terms of knowledge. Considered together, the findings provide a richer picture of agricultural development in the study area.

We begin with a description of the contemporary farming landscape, highlighting the key role played by the use of, and access to, water. We then present a summary of data collated from field work (surveys, documentary evidence etc.) which describe those factors which can be seen to influence crop change. This material provides a framework for interpreting the results of a computer model designed to investigate aspects of farmer behaviour with regard to crop change. The computer model itself is then described in some detail and its output discussed with reference to issues of crop change. Finally, we discuss some of the methodological issues associated with the use of simulation models in this context.

Water has been a preoccupation in the Argolid Valley since ancient times when the area was characterised as *polidip-sion* (very thirsty) or *anhydron* (lacking water). Greek mythology refers to this relationship in the killing, over water, of Hydra by Hercules near the spring of Lerni. Historical records of the area convey a picture of rain-fed farming and grazing with salt marshes along some of the coastal strips. Throughout the Turkish occupation, agriculture in the

Argolid valley was varied (olives, rice, cereals, tobacco, vegetables, melons and grazing). Very little irrigated farming was undertaken and the main perennials, vines and olives, were also rain fed. In the 1930's and 40's one farmer recalls that *« the valley was all stubble, some olive trees and pear trees. All the fruit trees you see now have been planted since 1960. Everything started after the bore holes and the access to water »*. The coastal area had relatively little agricultural activity because of wetland areas and poor soils with high salt levels.

Since the late 1950's there has been a movement of irrigated agriculture outwards from the plain to the foothills. The irrigated area of the Argolid Valley expanded from 5,500 hectares with 45 million cubic metres of water being applied in 1945 to 19,500 hectares with 145 million cubic metres in 1990. This expansion has been supported by the increased use of water pumps and bore holes. Where previously irrigation water was hand or animal drawn from wells or supplied from the spring at Kefalari in the West of the plain, there are now eight thousand electric pumps in use for water raising. The Greek Government provided support for agricultural technologies, and thereby irrigation, between the 1960's and 1980's, providing subsidies of up to 20% of total cost for the installation of sprinkler systems and bore holes. This funding role has since been taken over by the European Community.

The Argolid Plain is now characterised by a carpet of lush green vegetation, with a profusion of citrus trees, and by the sight and sounds of the water technologies that have been introduced to support their production. These include concrete irrigation canals ranging from six metres in diameter to small channels which skirt individual fields with metal sluice gates for supplying « flood » irrigation to the crops. Elsewhere, irrigation pipes snake through the orchards taking water from the crudely built brick bore-hole housings to the sprinkler irrigation systems that are also used in winter to protect the crops against frost. Adjacent to some of these

housings can be found the old surface wells that were animal driven.

Increasing use of irrigation has been accompanied by a decline in the condition of the ground water in both qualitative and quantitative terms. Salination in the central plain has occurred through sea water intrusion as aquifer levels have dropped. The peripheral areas have experienced an even more pronounced lowering of aquifers, to below 450 metres in places, with increased uncertainty about finding water when existing bore holes have run dry. An early belief in the ability of technology to determine the course of nature has given way to a resigned acceptance that it offers the only possibility of managing a degraded system and of generating an income from agricultural production.

1. Influences on crop choice - field evidence.

The number of different crops grown in the region has clearly decreased over the last 100 years. The main reasons cited by farmers for the emergence of less varied agriculture (although not necessarily for the expansion of irrigated land), are the internal support for production prior to the 1980's and, alongside the saturation of the internal market, the arrival of EEC price support and subsidies after Greece's accession in 1981. There are two forms of crop related policy instruments to take into account to help explain this. The first is concerned with the level of price support made available for specific crops (e.g. oranges). The second is based upon subsidies that are paid to encourage changes in the existing crop balance, in response either to a diminishing market for a crop or to the presence of a disease or virus to which a crop is vulnerable.

A key consideration in the farmers' decision as to which crop to grow is clearly the anticipated price which could be secured for the produce. Although certain crops tend to be sold through particular markets (oranges through co-operatives, olives through dealers, vegetables through local markets), these are not

exclusive. Where choice is exercised by farmers it is strongly influenced by two central factors; the social formation of the farm household and the capacity to spend more time selling the crop at a higher price, and the propensity of farmers to deal with risk and the willingness to forsake a lower guaranteed price for crops with price support in favour of the possibility of a higher price on the open market.

Price support has been introduced since accession to the EEC and those that are relevant to the Argolid mainly relate to citrus crops, although there is also a complicated guaranteed pricing procedure for olive oil. Unlike the majority of subsidies (which apply to individual farmers), support for citrus crops is generally only provided when certain production criteria are met and representation is made through co-operative marketing structures. The EEC guaranteed price is central to farmers' decision-making because it provides the benchmark by which they can estimate their income for the following year from citrus fruit. The price support paid for oranges extends to the dumping (burying) of excess fruit, to its use in fruit processing, particularly for juice, and to its distribution for welfare purposes (i.e. to schools in areas of special need).

Whereas price support is in effect a market guarantee, subsidies are a way of restructuring agricultural land use in response to concern about the market potential of a crop or its vulnerability to disease or a virus. Before accession to the EEC the Greek government subsidised the planting of new crops, mainly Merlin oranges, but also grapefruit, clementines and satsumas. Since 1981 a number of restructuring measures have been introduced. Some of these were designed to extend agricultural production through the year (i.e. the replacement of Merlin oranges with other citrus crops) whereas other programmes were intended to uproot and replace existing crops. Subsidy take-up for uprooting has generally been high. However, the second phase of these programmes, which provide support for planting suggested replacement crops, has often been less successful. A number of reasons have been cited in

explanation of this. For example, the crops may have been untried in the area and farmers are not prepared to « risk » or « champion » their introduction (i.e. pistachio nuts were recommended as a response to the removal of apricot trees but had an extremely low take up rate).

Where the adoption of suggested crops has been more successful, it has tended to be with citrus crops (i.e. the replacement of Merlin oranges and common mandarins with other mandarin varieties such as clementines). This has had two significant and related effects. Firstly there has often been a weak correlation between replacement crops and the existence of a « real », as opposed to an artificial or guaranteed, market. Secondly, and of particular relevance to the Argolid, has been the fact that adopted crops have tended to be heavily water dependent and as such have exacerbated the degradation of that resource in the area.

The initial impact of irrigation technologies on crop was to provide agronomic options that previously did not exist. However, profitable citrus crops have a low labour requirement (predominantly related to the picking period) so that irrigation changed the nature of farming and land owners who otherwise may not have farmed have entered the industry. This is especially evident in the central Argolid Plain where many orange producers are part-time farmers.

2. Conservatism, time and money: simulating crop choice on the Argolid plain.

There are two principal difficulties that must be addressed when modelling crop choice. The first is that the population of farmers is not a single unit but a large group of actors spread across the landscape. Each actor is capable of making isolated decisions and it is the collective dynamic generated by all the actors that impinges on the terrestrial ecosystem. Modelling crop choice as if the Argolid were a single unit requires

us to take account of the many, potentially independent agents that make up the Argolid farming community. The second problem is that the cognitive mechanisms underpinning crop choice are poorly understood. It is clearly possible to recognise certain predispositions among farmers either by traditional elicitation methods or by sophisticated mathematical analysis but it is impossible to simulate, or even to observe the cognitive processes involved.

Modelling the dynamics between the behaviour of individual farmers or communities of farmers on the one hand, and land use, technique adoption and resource management on the other, is an emergent domain of enquiry. However, impetus to research in this area has recently been provided by contributions which have highlighted the advantages to be gained from an integrated analysis of farm / environment dynamics, e.g. Dent *et al.* (1995). As has been the case with many other fields of research, the problem of how to represent human behaviour at various scales is to the fore. In agricultural focused research, they have been both theoretically and formally considered as rationally acting utility maximisers (Amir *et al.*, 1991). Two recent contributions are typical of this type of approach. For example, goal programming has been used to disaggregate optimisation strategies into multi-objective functions (Sumpster *et al.*, 1997) and a logistic regression model was used by Cary & Wilkinson (1997) to show the influence of perceived profitability and technical feasibility on farmers' conservation practices. However, although recent work has illustrated the variety of factors which influence decisions on the farm (e.g. Gasson & Errington, 1993), approaches which capture the diversity of behaviour of a community of farmers have been hindered by methodological difficulties.

We would point out that the types of model discussed above are primarily focused on the individual farmer, either trying to make sense of the reasoning behind specific types of behaviour, or seeking to derive generalisable functions which can be used to represent or predict changes in behaviour (decision-

making). Generating prescriptive frameworks which optimise behaviour, (and through behaviour, production) is the objective of such research. The modelling approach adopted in this text is significantly different in that it does not address the question « what is the best way to achieve situation x? » Rather it seeks to explore how a particular sequence of observed trends and events could have evolved given our understanding of the relationships between various phenomena. Formal representations (equations) are used to capture the dynamics of change at the community level rather than some equilibrium point at the level of the individual. In terms of alternative contemporary approaches we draw attention to the work of Gremillion (1996) on crop adoption and MacFarlane (1996), who uses a GIS based methodology to investigate farm adjustment to policy change.

It is important, therefore, to be clear about the nature of the modelling problem being addressed. Each farmer can be represented as looking at the current range of crops grown, monitoring their profitability, grubbing out and replacing unprofitable crops, drilling boreholes and abstracting water in the expectation of future profits. Clearly, the problems we must address with regard to the perception of environment are not insignificant. We can make some fairly basic generalisations as follows.

Suppose a farmer has one profitable crop. If he decides to grow that crop on one plot, he will get one unit of profit, if it is grown on two, he will get two units and so on. The more he grows, the more he earns, up to the number of plots he holds. Consider two crops. The farmer now sits on a sort of landscape in which « altitude » actually represents profit. Every point on that landscape will correspond to a given mix of crops (x plots of crop 1 and y plots of crop 2). Each point will have its own altitude (profitability). The farmer cannot travel an infinite distance across this landscape because he is constrained by the number of plots he holds. Given 100 plots, 80 of which are under crop 1, the most plots he can put under crop 2 is 20. We can reasonably think of crop choice as the process of searching this landscape for

hills to climb. The summit of the highest hill represents the most profitable mix of crops to grow but there may be many hills, some higher than others, some out of reach because the farmer does not hold enough plots of land to locate them. Personal predispositions and starting position may mean that the farmer will never locate the best solution to his problem. Note that we are not describing the cognitive processes of a real farmer but a conceptual model of those processes. The model suggests that it might be useful and interesting to think of crop choice as the process of searching some constrained and intricate landscape for high places (profitable configurations).

Eleven crops (representative of those grown in the Argolid in recent times) were selected for use in the model, including a « null » crop. Those crops selected were Apricots, Oranges, Lemons, Cereals, Olives, salt tolerant vegetables, non salt tolerant vegetables, Tobacco, Pistachios, Vines and a Null crop. A plot under « null » is representative of an abandoned parcel of land. This means that this particular conceptual model of an Argolid farmer is of an actor exploring a constrained 11-dimensional landscape where humps and hollows represent good and bad places to be located. According to this conception, a farmer is simply an assembly of plots each of which is a dynamic system in its own right. The plot lives in an attribute space of eleven points and, at every time step, the plot has the opportunity to hop from one point to another. It may hop or it may stay still. Additionally, there will be some conditional probabilities that determine the transition rates between different points and, if we can generate transition rates for the plot, we can put an assembly of plots together and call it a « farmer ». By this conception of crop choice the Farmer's behaviour can be understood in terms of a *Master Equation* of the plot.

To define a Master Equation, we represent the assembly of plots at time t by a vector, $|A_t\rangle$ whose i th element, $A_t(i)$ contains the probability that a plot is under crop i at time t . If we believe all the plots are carrying one crop (crop j , say) we put 1.0 in the j th element of

$|A_t\rangle$ and 0.0 in all the others. After a single time step actors will make transitions and our probability densities will need to be redistributed accordingly. We can write an equation for this redistribution;

$$A_{(t+\Delta t,i)} = \sum T_{(i,j)} * A_{(t,j)} \dots\dots(1)$$

or, in the more compact notation of matrix algebra

$$|A_{t+\Delta t}\rangle = T|A_t\rangle \dots\dots(2)$$

where Δt is a small time step and $|A_t\rangle$ is a vector whose i th element gives the proportion of plots under crop i at time t . Equation (2) is a dynamic system. It maps an n -dimensional co-ordinate vector (of probabilities) onto itself. The equation describing the evolution of these probabilities is the Master Equation. At first glance, the Master Equation appears to be a linear dynamic system. As t tends to infinity, the assembly, $|A_t\rangle$ will tend to a fixed point with a constant probability assigned to each state. Note that at this fixed point, the individual plots will still be making transitions, but the probability flow out of a given crop will be perfectly balanced by counter-flows in. The steady-state distribution corresponds to the principal eigenvector of a matrix. This matrix is called the *propagator* (T) of the Master Equation. In practice, however, the propagator may itself be dynamically variable. As T changes, the dynamic system represented in Equation (2) will tend towards different steady states. For example, a farmer who drills a borehole will have free access to water and consequently different attitudes to irrigated crops than one who has no borehole or whose borehole has dried up. As circumstances change, the propagator will change and this dynamic may introduce non-linearities into the Master Equation which can, under certain circumstances, generate irreversible change and spontaneous self-organisation. (see Allen *et al.*, 1983; Prigogine & Stengers, 1987 for reviews of these processes)

The advantage of the Master Equation formalisation is that the process of navigating on an intricate 11-dimensional surface can be seen to consist of the collective behaviour of an assembly of

plots, each hopping from one of eleven points to another in accordance with some incompletely understood deterministic rules that have potentially knowable probabilistic implications. In order to capitalise on this advantage we must write down expressions for the 121 transition probabilities in the propagator and link these dynamically to the availability of water and so on. These probability expressions are the *equations of motion* for the individual plot. Of course, the probability distribution among crops is not the same as the number of plots each farmer has under those crops; a probability is not a frequency. However, the latter can be generated from the former by means of a *Monte Carlo Simulation* which uses a random number generator to make decisions consistent with the Master Equation. This process will be discussed further in the final section of this paper. For present purposes, it is useful to use what we already know about the constraints a farmer is operating under because these can help specify the general « shape » of the propagator.

If a farmer has olives on a given plot, he must grub them up to plant oranges and that is expensive. If he has wheat, grubout costs are negligible so oranges may be more attractive. The route by which a plot approaches a crop may determine its likelihood of getting there. Similarly, if the farmer has a well with freshwater, crops that need irrigation are attractive. If there is no well, he must consider the cost of the borehole and that makes them less attractive. Wheat planted this year will bear next, olives will not. Infra-structure costs, lead-in times and grub-out costs must somehow determine the shape of the eleven dimensional cost-benefit landscape the farmer explores by changing the transition rates of the individual plots. As if this were not sufficiently complicated, different farmers will have different predispositions to change. In terms of the profitability landscape discussed above, some farmers will be able to see across small valleys while others will be reluctant to move through tiny hollows to reach a large peak on the other side.

All these factors must be considered when specifying transition rates for the individual plot. It is possible (though unlikely) that each farmer is using decision rules that can be simulated mathematically, but even if this were so, no elicitation method currently available would enable us to specify the equations and parameters needed to replicate it. We simply cannot simulate what real farmers actually do when they make decisions. This stark fact is the principal reason many social scientists are skeptical about the usefulness of dynamic and mathematical models in social research. If we cannot simulate socio-natural dynamics in the real world, what is the point of using mathematical and simulation methods in social science? Part of the answer to this query is that we can sometimes build simulation models that are consistent with well-defined theories about socio-natural dynamics and, by simulating these, learn something about the range of behaviours consistent with those theories.

3. A model farmer

We know that we cannot model a farmer's decision processes exactly. However, it should be possible to create a Master Equation model that decides between crops in a coherent and rational way using fairly well defined cost-benefit data. We start by giving each farmer a nominal 100 plots of land carrying a selection of crops including small amounts of oranges and lemons, together with wheat, olives and vines. This configuration approximated the typical crop mix we would have expected from a pre- 1950s farmer. No farmer has access to water but some have the potential to get water (at a cost). The farmer looks at each plot in turn and calculates the likely value of the crop standing on that plot, the cost of removing it and the likely value of all the other crops that could be grown. In doing this he takes account of the loss of profit while waiting for the crop to mature and yield, and any loss or gain of earned income facilitated by moving from a high labour crop to a low labour

crop or vice versa. Information concerning cost-benefit data, grubout and labour costs, infrastructural requirements and lead-in intervals were elicited from farmers and agronomists in the Argolid as part of the study carried out by sociologists and anthropologists reported above.

The next step is to generate a crude set of conditional probabilities of crop change. The simulated farmer is effectively asking the question « what is the probability of changing to crop i given that I currently grow crop j ? » These probabilities are obtained using a multinomial model of the form;

$$P_{(i,j)} = k * e^{\beta * C_B(i,j)} \quad \dots\dots(3)$$

Where k is a normalisation constant that ensures all conditional probabilities sum to 1.0, $C_B(i,j)$ is the projected cost-benefit of replacing crop j with i , e is the exponential constant and β is a small constant determined by the need to avoid overflow errors in the exponent.

The absolute size of β is, in practice determined by the currency unit chosen. If a small currency unit (the Drachma, for example) is used, β must be very small to keep the exponent of $C_B(i,j)$ within manageable bounds. Conversely, if profits were evaluated in Sterling or ECU, the numbers returned for $C_B(i,j)$ would be smaller and the selected value of β could be somewhat larger.

At this stage of model definition, farmer decision-making is represented by the Master Equation of a small unit of territory, the plot. Each plot explores an attribute space of 11 points (one for each crop) and Equation (1), articulated with cost-benefit data specifies the transition rates for moving from one crop to another. A farmer is an assembly of 100 plots and its decision behaviour is determined by the propagator of the Master Equation of an individual plot. As noted above, the situation is a little more complicated because a farmer who decides to grow an irrigated crop will be forced to drill a borehole. As soon as this decision is taken, the cost of the hole is deducted from his bank balance *whether he finds water or not*. If he finds

water, irrigated crops will be more attractive because their infrastructural costs have been met and the water is available. If he does not find water, irrigated crops will fail. The cost of drilling a borehole will recur in the cost-benefit computation that underpins the decision process until he has been successful. Every time he decides to change to or persist with an irrigated crop, that cost will be deducted from his bank balance until he has been successful. As soon as he has been successful, he is free to grow irrigated crops on *any* of his plots without incurring any further infrastructural costs.

A good borehole will change the propagator by obviating the need to drill any more holes. The plots (of which this model is the Master Equation) are instances of a *split system* (Winder, 1995). Such systems can, on occasion, make critical transitions, which in this context represent a move from traditional to irrigated agriculture. The reader should note that research currently underway will integrate this model with a dynamic model of the Aquifer itself. This will facilitate critical transitions in the opposite direction as water supplies dry up or become salinised and will permit us to investigate the full range of human ecodynamics in a much more sophisticated way as the collective behaviour of a population of farmers alters the hydrology of the Plain which in turn modifies the farmer's decision space.

Individual farmers may modify the propagator in one of two obvious ways. Firstly, they may exhibit a tendency to resist or encourage changes of crop. This can be simulated by giving each farmer a numerical attribute representing their propensity to change crop or Jumpiness (call the variable « Jump ») which takes on a value between 0.0 and 1.0. If Jump = 0.0 the farmer is highly conservative and all transitions to new crops are suppressed. If Jump = 1.0 the farmer never grows the same crop on the same plot two years running. An intermediate value will have an intermediate effect. Thus if Jump = 0.3, for example, 30% of the probability will be spread among transitions away from the current crop in proportion to their relative attractiveness, while 70% is con-

centrated on the probability of staying with the current crop. The effect of Jumpiness is to determine the extent to which the probability density in the propagator is concentrated on the diagonal (conservative, Jump = low) or off the diagonal (changeable, Jump = high).

The second factor that may modify the propagator is the time horizon over which cost-benefit calculations are made. Clearly a farmer who considered cost-benefits one year ahead is very much less likely to contemplate transitions with high grubout costs and long lead in times than one who spreads these costs over several years. Each farmer is attributed a time horizon value (called « Timeframe ») between 1 and 50 years. Different values of Timeframe will produce different cost-benefit calculations and, by implication, different propagators. The propagator of the plot is determined by substituting the equations of motion into Equation (2) above where the i th element of T is

$$T_{(i,j)} = \frac{\beta(C_B(i,j, \text{timeframe}))}{1/10^{*}(\text{JUMP})^k * e} \quad \dots(4)$$

when i is not equal to j and;

$$T_{(j,j)} = (1 - \text{JUMP})^k \dots(5)$$

Equations (4) and (5) are the equations of motion for the plot. Note that $C_B(i,j, \text{timeframe})$ is the projected cost-benefit of the transition from j to i evaluated over the given timeframe and k is a normalisation constant. The choice of Equation (4) to underwrite the Master Equation of the plot has theoretical implications that should be clearly appreciated. The transition rates are obtained by the manipulation of cost-benefit data mediated by the predisposing factors Jump and Timeframe. Human decisions seldom reduce perfectly to questions of profit and loss but in this case, we had sufficient testimony from the farming community itself to justify the simplification. Note that $C_B(j, j, \text{timeframe})$, the cost-benefit of the standing crop, is never negative or zero because all infrastructural costs have been met for this crop. $C_B(i, j, \text{timeframe})$ may be positive or negative because the farmer must incur grubout and infrastructural costs. If the cost benefit term is negative, crop i will be

relatively unattractive so that $T(i,j)$ will be small and positive. If however, it is positive, crop i will be more attractive and $T(i,j)$ will be a larger positive number. The more profitable crop i appears relative to j , the larger will be the number associated with $T(i,j)$ subject to the constraint that $T(j,j)$, the probability of retaining crop j must equal 1.0-Jump.

We have already seen that each farmer's decision strategy represents the Master Equation of the individual plot. Each farmer is, in effect, 100 micro-models. We must now begin to model a large population, an assembly of farmers. For this we need to be able to specify the Master Equation of the Master Equation of the plot. The nested Master Equation which represents a population of farmers cannot be specified by analysis from first principles, each individual plot is exploring a split system, the transition surface may change as water is sought and different farmers will have different values of Jump and Timeframe which, in turn, modify the crop-choice landscape being explored. At our present state of understanding, the only way we can handle a Master Equation of the Master Equations of the plots (which is what the assembly of Argolid farmers constitutes) is by simulating it on a computer. The computational problems that must be addressed when building this sort of simulation are non-trivial though not of any particular interest in the context of the present study. It is sufficient to note here that the model was run on a 166 MHz Pentium with the source code written in Fortran 90. The program allowed the simulation of 29,420 farmers (2,942,000 plots).

4. Model output

The 29,420 farmers with values of Jump rectangularly (i.e. uniformly) distributed between 0.0 and 1.0 and values of Timeframe with an independent uniform distribution between 1 and 49 years were created and allowed to select crops in the manner described above. Two major simulations were effected, one over 100 years and the other over 200 years. The results described below were

from the 200 year simulation which resembled those from the 100 year simulation in every respect, a result which we took to indicate that a steady-state solution had been found. Each farmer was given an initial bank balance (set to zero) and awarded a salary for every plot untenanted or set to a low-labour crop. Farmers also received income from their crops (after the initial lead-in period), less the cost of all infrastructure (principally boreholes). At the end of 200 cycles some farmers, presumably those making better decisions, were in credit at the bank. Others had made enormous losses. A histogram of their final bank balances (in millions of notional Drachma) is presented in Figure 1.

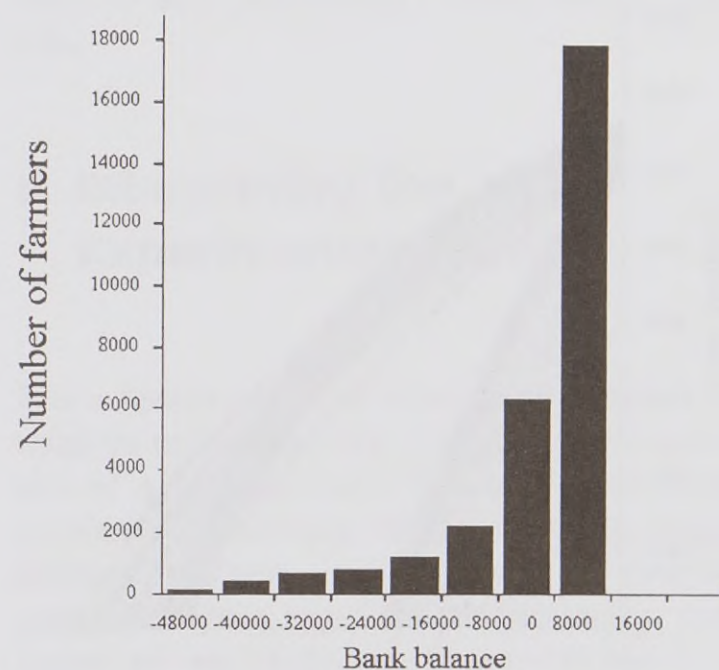


Figure 1: Final bank balances for farmers at end of simulation.

It is natural to ask whether there is any systematic relationship between Timeframe, Jump and final bank balance at the equilibrium state. In Figure 2 we see the relationship between Jump and bank balance. (Each point plotted on this and subsequent figures represents the final situation of a single farmer). The result is a very interesting pattern. Two striated swathes of farmers can be seen on this graph. The leftmost (poorer) swathe, corresponds to those who have no access to water while the rightmost swathe have access to water. In fact almost all the farmers who can reach water have drilled boreholes and moved into irrigated agriculture. Clearly, very Jumpy farmers are generally poorer than their conservative neighbours though this effect is much less marked

in farmers with access to water. Clearly, decision-making strategies that lead to financial disaster are not likely to survive and we can safely ignore as unviable those farmers who ended up with overdrafts at the bank. Space precludes a detailed consideration of all the farmers who survive this basic « viability test » so we will try to impart the flavour of the simulation results by concentrating on the subset of viable farmers who have access to water. The first thing to note is that although we started with a population whose values of jump and timeframe were uniformly distributed, the viable sub-population at equilibrium exhibit a strikingly patterned distribution of these values.

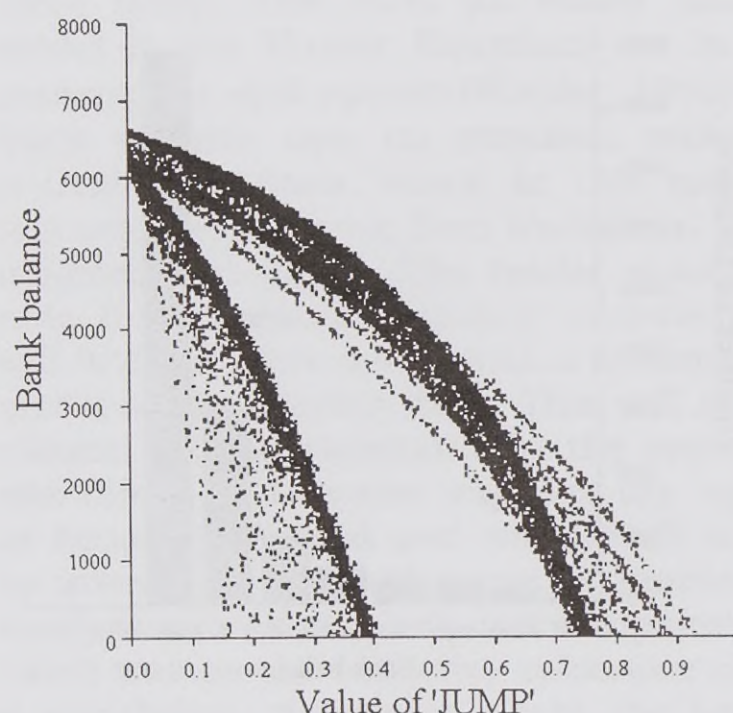


Figure 2: Influence of propensity to change crop (Jump) on final bank balance

Figure 3 plots timeframe against bank balance for the most jumpy, viable farmers. These are farmers who have Jump set between 0.9 and 1.0 and so change their crops very frequently. As noted in Figure 2 jumpy farmers tend to be relatively poor. Note that the richest of these jumpy farmers is using a Timeframe of about 4 years. Interestingly, 4 years is the lead-in period for tree crops. It seems likely that the only Jumpy farmers who break even are those who, by dint of their short-term view, never contemplated planting additional tree crops. These Jumpy farmers would have been restricted to cereal and vegetable crops which would have been abandoned or rotated most years.

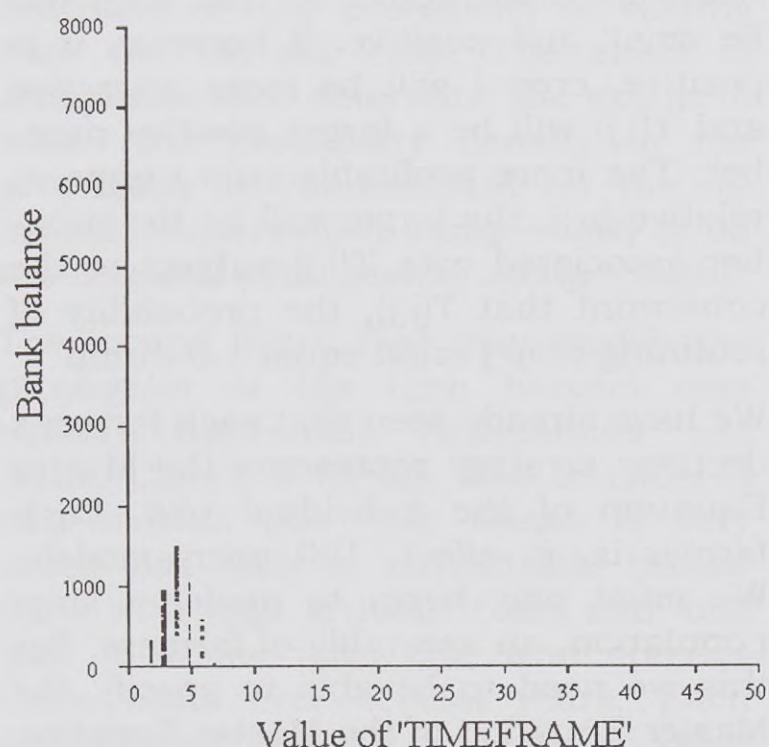


Figure 3: Influence of planning horizon (Timeframe) on final bank balance for farmers with Jump = 0.9 to 1.0.

In Figure 4 we present a similar plot for farmers with Jump between 0.3 and 0.4. These moderately conservative farmers are generally richer than their highly jumpy neighbours. The peak at 4 years is still visible but 4 years is no longer the optimum timeframe. It is possible for farmers to be wealthier still if they are both moderately conservative and use a timeframe in excess of 18 years.

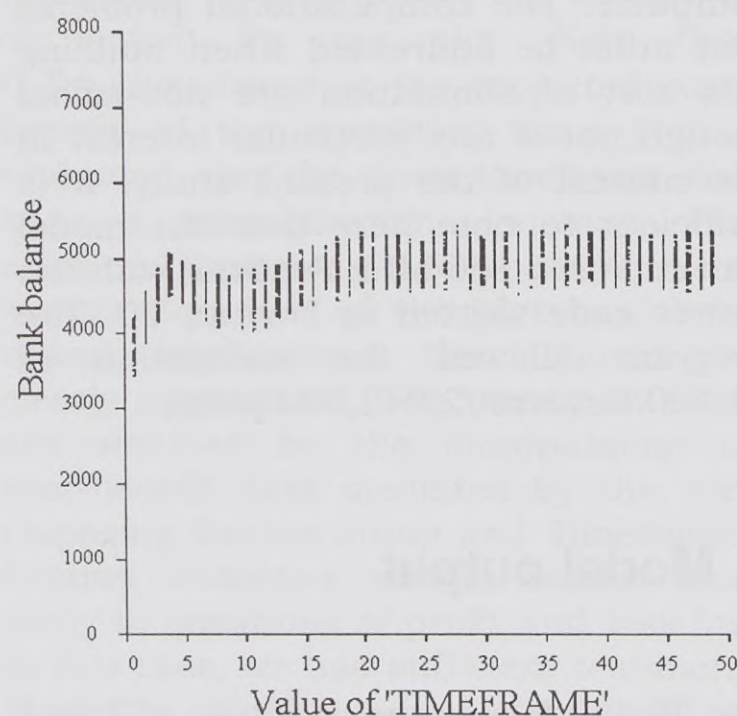


Figure 4: Influence of planning horizon on final bank balance for farmers with Jump = 0.3 to 0.4

In Figure 5 we have the most conservative and richest group of all; those with jump less than or equal to 0.1. Note that the local optimum at 4 years has now almost disappeared. The highest

probability of being very rich is associated with conservative farmers who calculate cost-benefits over an extremely long timescale. However, note the small scatter of conservative farmers who have healthy bank balances and yet take a very short term view. These have jump set so close to zero they hardly ever change their crops. The fact that they base their judgements on a short timeframe cannot damage them because they hardly ever act on these judgements and so have stuck with the initial, viable starting configuration.

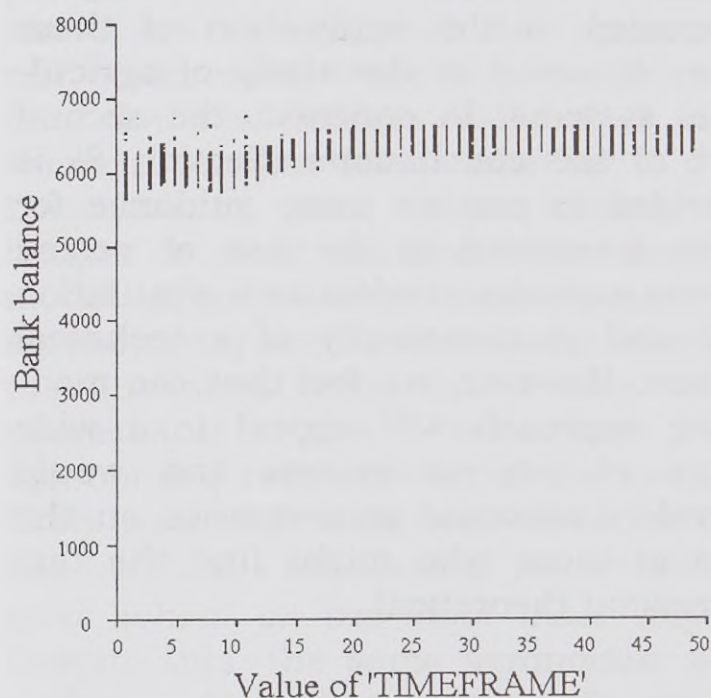


Figure 5: Influence of planning horizon on final bank balance for farmers with Jump = 0.0 to 0.1.

Finally, we close with a brief consideration of the crop types under cultivation. Perhaps surprisingly, successful farmers (in terms of their final bank balance) were more or less indifferent to all crops except apricots. Figure 6 depicts the relationship between final bank balance and percentage of a farmer's total holding which is under apricots.

There are two fronts on this plot, the lower front corresponds to farmers without access to water and the higher front to those with water. Note that very many of the successful farmers have almost all their holdings under apricots.

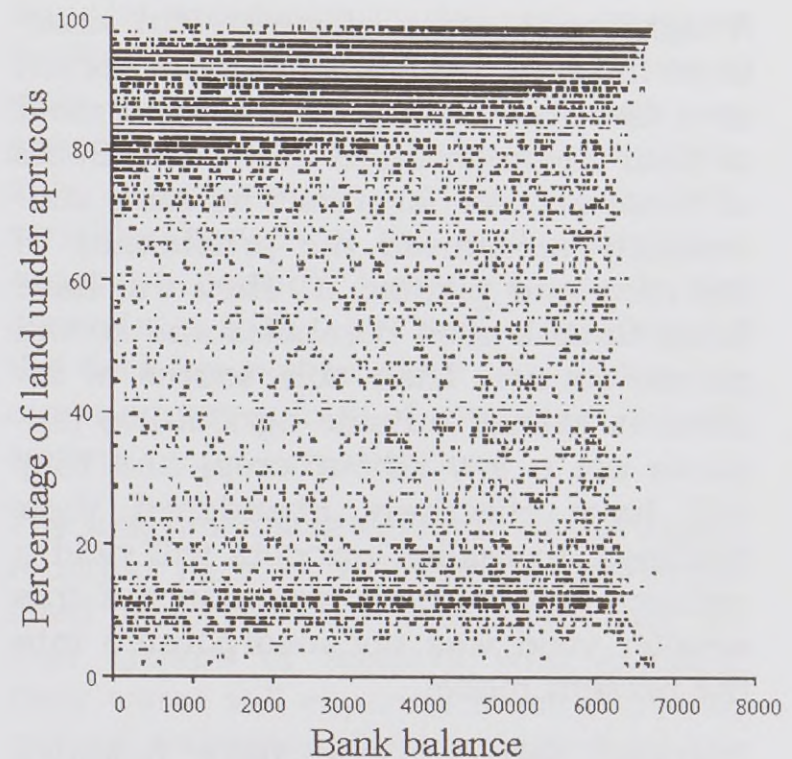


Figure 6: Relationship between final bank balance and percentage of farm under apricots.

5. Interpreting the experimental results.

The « farmers » just described cannot be said to represent the true decision process of a real farmer. However, the more successful among them exhibit regularities in their crop choice and predispositions that resonate so strongly with those of real farmers that it is hard to avoid describing them as if they were farmers. Indeed, the crop choices made by the farmers as represented in the computer model are characteristic of those made in the contemporary Argolid in several respects. Farmers cultivating perennial crops with a long lead-in time and high grubout costs must take a long-term view and will be reluctant to remove those crops. Farmers who like to change crops regularly must concentrate on annual crops, some of which are labour intensive and may sometimes neglect part or all of their holding to take a salary. Such farmers cannot afford to take a long-term view because their tendency to change crops means tree crops will probably not last long enough to break-even. It is possible to grow trees without irrigation but many annuals need extra water. Rapid crop rotation is less profitable in areas where water is inaccessible.

A significant group of successful simulated farmers has recognised the apricot as a favoured cash crop and have most of their holdings under this fruit. Some of these are dry farmers who have successfully recognised the profitability of the crop and planted it. They will have failed to sink good boreholes and so will get no return. Their sole source of income is earned outside agriculture (apricots are a low labour crop) and they will have effectively abandoned their holdings. In reality, apricots will yield a reduced crop without irrigation but this smaller yield was not incorporated into the present model.

Irrigated farmers who have holdings under apricot are receiving both a salary and an income from apricots. Many of the most successful farmers have values of Jump and Timeframe so configured as to be able to benefit from this opportunity. If financial success is the principal determinant of crop choice, this model suggests that the Argolid Plain should be covered with apricots when in fact it is covered with citrus. However, this was not always the case. When irrigated agriculture first started on the Plain, an important crop was, indeed, the apricot which was grown for the canning industry. Eventually, so much of the Plain was covered with apricots that a virus disease (Sharka) was able to proliferate through the crop, reducing yields and profitability. EC subsidies were provided to uproot the apricots and this land was then put under citrus (the next most profitable crop). Initially lemon was favoured until this too fell prey to disease and gave way to oranges.

All these facts were well known to agronomists, hydrologists and sociologists working in the Argolid. Furthermore, the necessary relationship between Jump and Timeframe which is patent *a posteriori* was not recognised *a priori* as a determinant of economic success. Sociologists working in the region were repeatedly informed that the biggest source of difficulty experienced by citrus farmers was coping with the unpredictable effects of EC policy on markets. The model illustrates graphically why this should be so. Farmers who are dependent on this type of crop need to

look eighteen or more years into the future to get the right cost-benefit figures. Markets that change every year must be a serious worry.

To conclude this contribution we would make two sets of observations concerning the use of nested master-equation models. The following two sections examine the significance of the approach firstly in terms of the Argolid case study, and secondly in terms of micro-simulation modelling. Section 7 is written in accessible terms and is of particular relevance to readers who may be interested in the application of these types of model to the study of agricultural systems. In contrast, the second part of the conclusions (Section 8) is intended to provide some guidance for those interested in the use of nested master-equation models as a simulation tool and is necessarily of a technical nature. However, we feel that the modelling approach will appeal to a wide range of interest groups and would therefore advocate perseverance on the part of those who might find the text somewhat theoretical.

6. Nested master-equation models; significance for investigating farming systems

The nested Master Equation model described above is not a support model but a process model. It is presented as a test-bed for *theories* about the way the socio-natural world works, not as a test-bed for *policies*. It was never suggested, for example, that the modified exponent of the cost-benefit as represented in Equation 4 (above) really is a constant multiple of the transition probability *in the real world*. Rather it is proposed that the rank order of these terms is the same as that of the transition probabilities that would have been obtained from almost any rational cost-benefit analysis modified by certain personal predisposing factors. The largest term in Equation (3) corresponds to the most profitable crop, the second largest to the second

most profitable crop and so on. Equation (3) is *consistent* with our understanding of the crop choice strategy but is not an inevitable *consequence* of it. This is an important methodological point, often skated over in the mainstream modelling literature, particularly in policy-relevant research. When we simulate Equation (3) we will obtain results that *could* follow from the given theory but we cannot argue that they *would* follow from it.

We would suggest that the manifest imperfections of the model as presented above are strengths of this approach, not weaknesses. None of us would pretend that real farmers really use a multinomial term to decide whether to drill boreholes or plant crops. Indeed, attempts to elicit decision rules for the model directly (either from farmers or agronomists) were unsuccessful because the questions being asked were often nonsensical. One informant (an agronomist) refused even to discuss the likely transition rate from wheat to citrus because « *no sensible farmer would grow wheat on the Plain these days* ». Despite this, the same agronomist was perfectly clear that cost-benefit was a key factor in crop choice. Equation (3) enables us to take simple cost-benefit data and build a consistent set of rules that would hold over the whole decision space explored by the individual plot.

It is significant that the patterns generated by the resulting program resonate clearly with those observed in the real world. It was not foreseen that the relationship between agriculture, irrigation and personal perceptions of time would be thrown into such clear relief. Furthermore, in predicting the crop favoured by farmers in the early 1960s (apricots), the model focused our attention on possible embellishments that would make it much more realistic. For example, simulating the effect on cost-benefit of rare, density-dependent diseases would allow the model to represent the onset of the Sharka virus in apricots, of Coryphoxera in lemons and, within the last few months, the threat of the Adromycosis fungus which attacks the roots and trunk of orange trees. Each of these diseases changes the cost-benefit landscape in an irreversible

way by imposing a delayed negative feedback on economic success. Once a crop is widely adopted, conditions are generated which will make it unsustainable at some stage in the future. Irreversible changes of this sort generate a range of possible histories which are consistent with our understanding of the decision process and so supplement our understanding of the (real world) system under investigation.

The long-term strategic aim of the study reported here is to integrate the simulated farmers with local hydrology so that groups of farmers who exhaust their water will experience the converse critical transition from irrigated to dry farming. Only then will we have captured a simple analogy of the underlying tension between the socio-economic system which drives farmers to use more water and the hydrological system which sets limits on the quantity of sweet water available. Although we still have some distance to travel before this composite model can be built, our intuitive understanding of the model output presented above has actually changed our perception of human eco-dynamics in the Argolid Plain.

Apricots are a well established Mediterranean crop and will produce a usable crop under rain-fed agriculture in many regions. When the Greek Government decided to promote this crop by subsidising the canning industry, it provided incentives for irrigation which would improve the quality of the crop. However, the process was to some extent reversible *as long as apricots were grown* because water abstraction was not a prerequisite of this crop. When the Sharka virus struck, the system could have been left to crash but a political decision was made to subsidise the removal of apricots. Land previously under apricots was put under citrus and the Argolid Plain was, for the first time, locked in to irrigated agriculture. Citrus growers need water to control frost and provide a high yield of uniform, saleable fruit. Every time disease or salination became a problem, funds were allocated to « solve » it. Lemons were replaced with oranges, the Anavalos Canal was built to provide sweet water, aquifer recharge was attempted and so on.

However, none of these strategies will proof the system against density-dependent epidemic disease so further crashes are to be expected *as long as the cost-benefit landscape is so configured as to favour irrigated monocropping*. The energy and resources of politicians seem to have been geared towards facilitating an unsustainable agricultural system which emerged as an unforeseen consequence of policies designed to provide an income for Argolid farmers in the late 1950s and early 1960s.

7. Nested master equation models; significance as a research tool.

It has been our intention in writing this paper to present the substantive insights gained from the modelling exercise without labouring the details of model construction and implementation. However, this paper would be sadly incomplete without an appendix to explain the nature of the computational problems solved to date and the prospects for further work in this field. The Master Equation approach comes from the physical sciences, particularly such fields as Quantum Mechanics and Thermodynamics. There is now a small but valuable body of literature (e.g. Haken, 1978; Nicolis, 1995) encouraging natural and social scientists to consider these methods. Unfortunately, this literature is necessarily difficult and the solution methods recommended often employ simplifying assumptions that are difficult to justify in biological and sociological applications. The technique of micro-simulation can get us past these obstacles but we need to develop a clear, business-like competence in these methods if they are to be used more widely. Furthermore, the application and further development of this type of modelling approach is partially dependent on the integration of knowledge from the social, historical and anthropological sciences with formal mathematical and algorithmic representations of behavioural dynamics. In this respect, investigations such as those carried out

by, for example, Hossain & Crouch (1992), Beus & Dunlap (1994), Cerf (1996), Battershill & Gilg (1997) and Backus *et al.* (1997) are significant.

At the heart of the Master Equation approach is some small object (in physics it may be a gas particle, in this case study it is a field plot) which explores some *phase space* in accordance with deterministic rules that are either unknown or present insuperable analytical difficulties. Our first step is to subdivide the phase space into a number of mutually exclusive and exhaustive classes which we will call *states*. We decided, for example, that the plot could carry one of eleven crops. We could have made other decisions, distinguishing tomatoes from courgettes, aggregating oranges with lemons and so on. At some level, the Master Equation approach always entails an act of classification.

Once we have a number of mutually exclusive and exhaustive states, we then invoke an equation like equation (2) above. Anyone who has ever attended a course of lectures in theoretical ecology or advanced statistics will have encountered equations like this before. For example, the Leslie matrix used to investigate population dynamics, or the Markov processes used to investigate stratigraphic sequences both imply the existence of such an equation. Equation (2) is a linear dynamic system and there is a large body of textbook literature dealing with this. So by classifying phase space, we have embedded our analytically intractable microsystem in a tractable metasystem (the Master Equation) which can sometimes be handled quite neatly.

Our next stage is to focus attention on the propagator, T , and to generate some equations of motion that give us transition probabilities either directly or by implication. Sometimes this is simply a matter of thinking hard and writing down a simple stochastic model like equation (3). In physics it may require truly inspired guesswork. Of course, every classification of phase space implies a different propagator and it is perfectly proper to choose a classification likely to correspond to a propagator whose equations of motion we can reasonably generate. Finding the right

propagator is part of the art of dynamic modelling and it gets easier as practice enhances competence.

The final stage of work is to investigate the evolution of the probabilities associated with each state. This is usually easy in familiar random walk problems with small, finite propagators because these tend to well-defined equilibria. The problem can be hideously complicated for Master Equation systems where the propagators are dynamically linked to external and internal factors. Non-linear perturbations may, under certain circumstances, generate surprisingly complicated dynamics which can be very difficult to handle analytically. In this paper, we have suggested an alternative approach. By constructing very many Monte-Carlo microsimulations we can track the distribution of micro models through phase space. Our simulation involved 29,420 farmers or 2,942,000 plots, all running in parallel on a single micro computer. After a large number of cycles, the distribution of these micro systems through phase space can be taken as a proxy for the distribution of probability that would have been obtained from an analysis of the Master Equation. The graphs presented as Figures 2 to 6 of this paper are each 2-dimensional projections of the 13-dimensional probability density function implied by the Master Equation of the farmer.

The use of nested Master Equation models as described above actually enhances the power of the method dramatically. The object that was of primary interest to us in this study is not the field plot but the farmer. The farmer, as we have already suggested, lives in a phase space of 13 dimensions (11 crops plus Jump and Timeframe) with 12 degrees of freedom (once the probabilities associated with 10 crops are given, that of the 11th is determined). To get a Master Equation for the farmer, we need to subdivide the 12-dimensional phase space into states and build a propagator for those states. We could have arbitrated, simply carved the phase space into a largish finite number of states but this would have been problematic. We would have needed to generate equations of motion that give

the probability of moving from one arbitrary chunk of phase space to another when we know that small variations in, for example, Jump or Timeframe may have a profound impact on the behaviour of the farmer. We would have had no grounds for believing that any arbitrary chunk of phase space could be taken as probabilistically uniform. The only rigorous way of generating the Master Equation of the farmer was to define a unique state for every possible point in phase space but this would require us to generate an n -dimensionally infinite classification. Our Master Equation would have as a propagator, a transition matrix of n -dimensionally infinite dimension.

Our solution was to represent each farmer by two real variables (Jump and Timeframe) and an assembly of 100 plots. The propagator for each plot was merely 11-dimensional but was dynamically linked to the availability of water, to Jump and Timeframe. By executing nearly 3 million Monte Carlo simulations of plot behaviour, we were able to generate probability density distributions through the 13-dimensional phase space explored by the farmer. The local density of simulated farmers in this phase space was taken as a proxy for the probability density that would have been obtained from the analysis of the Farmer's Master Equation. In this way we were able to characterise an eigenvector of a dynamic propagator of infinite dimension whose equations of motion we could not specify from first principles.

It is remarkable that the probability density distributions generated by the model are readily interpretable in the context of data obtained by traditional elicitation techniques and we take this resonance between model output and empirical data as an encouraging sign. Although our nested Master Equation is still in a relatively early stage of development, we believe this approach to be novel and potentially of widespread applicability.

Acknowledgement

The work reported in this paper was funded by DG XII of the European Commission as part of the « Environmental Perception & Policy Making: Cultural and Natural Heritage and the Preservation of Degradation-Sensitive Environments in Southern Europe » project (Contract # EV5V-0486).

References

- Allen P., Engelen G. & Sanglier M.**, 1983. Self-Organising Dynamic Models of Human Systems. In Frehland D. (ed), *From Microscopic to Macroscopic Order*. Berlin, Springer-Verlag.
- Amir I. Puech J. & Granier J.**, 1991. ISFARM: An Integrated System for Farm Management: Part I - Methodology. *Agric. Syst.*, 35., 455-469
- Backus G.B.C. Eidman V.R & Dijkhuizen A.A.**, 1997. Farm Decision Making under Risk and Uncertainty. *Neth. J. Agric., Sci.* 45 (2): 307-328.
- Battershill M.R.J. & Gilg A.W.**, 1997. Socio-economic Constraints and Environmentally Friendly Farming in the Southwest of England. *J. Rural. Stud.*, 13 (2): 213-228.
- Beus C.E. & Dunlap R.E.**, 1994. Agricultural Paradigms and the Practice of Agriculture. *Rural. Sociol.*, 59 (4): 620-635.
- Cary J.W. & Wilkinson R.L.**, 1997. Perceived Profitability and Farmers' Conservation Behaviour. *J. Agric. Econ.*, 48 (1): 13-21.
- Cerf M.**, 1996. Knowledge Used by Farmers in the Planning and use of Cultivation Devices. *Trav. Hum.*, 59 (4): 305-333.
- Dent J.B. Edwards-Jones G. & McGregor M.J.**, 1995. Simulation of Ecological, Social and Economic Factors in Agricultural Systems. *Agric. Syst.*, 49 (4): 357-351
- Gasson R. & Errington A.**, 1993. *The Farm Family Business*. CAB International. Wallingford, UK.
- Gremillion K.J.**, 1996. Diffusion and Adoption of Crops in Evolutionary Perspective. *J. Anthropol. Archaeol.*, 15 (2): 183-204.
- Haken H.**, 1978. *Synergetics: An Introduction*. Berlin, Springer-Verlag.
- Hossain S.M.A. & Crouch B.R.**, 1992. Patterns and Determinants of Adoption of Farm Practices - Some Evidence from Bangladesh. *Ag Sys.*, 38(1): 1-15.
- MacFarlane R.**, 1996. Modelling the Interaction of Economic and Socio-behavioural Factors in the Prediction of Farm Adjustment. *J. Rural. Stud.*, 12 (4): 365-374.
- Nicolis G.**, 1995. *Introduction to Nonlinear Science*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Prigogine I. & Stengers I.**, 1987. *Order out of Chaos*. New York, Bantam Books.
- Sumpsi J.M., Amador F. & Romero C.**, 1997. On Farmers' Objectives: A Multi-criteria Approach. *Eur. J. Oper. Res.*, 96 (1): 64-71.
- Winder N.**, 1995. On the Feeding Behaviour of Computerised Goblins. In van der Leeuw (ed.), *Environmental Perception and Policy Making: Cultural and Natural Heritage and the Preservation of Degradation-Sensitive Environments in Southern Europe*. 1st Year Report to the EU. Contract # EV5V-0486.

An economic-environmental model of an organic dairy farm for an evaluation of sustainability in agriculture

Cesare G. PACINI
Concetta VAZZANA
Luigi O. ZORINI*

Dipartimento Economico Estimativo Agrario e Forestale-Università degli Studi di Firenze, P.le Cascine,
18-50144 Firenze, Italy – Tél. : (+39) 55 3288 240 – Fax : (+39) 55 368057
E-mail: lozorini@econ.agr.unifi.it

Abstract

The central issue of this study was to evaluate the economic and environmental sustainability of an organic dairy farm. We also endeavoured to provide technical information for future agricultural policies. We used a linear programming model to simulate the environmental, economic, technical and organisational farm results. We prepared two versions of the model, one for the present situation of the farm (organic version) and another for the situation prior to conversion from conventional to organic agriculture (conventional version). The objective function of the model optimises farm gross income. We present the general structure of the model and specify environmental aspects. In particular, we consider three main environmental components: nitrogen cycle into the agroecosystem, soil erosion and non-replaceable energy consumption. The results of the simulation show how the organic method achieves an economic efficiency level equal to the conventional one, due to the favourable price the farm could obtain for organic milk. Moreover the organic method generates some relevant environmental effects. We calculated the marginal and average production costs of environmental externalities through parametric linear programming. We suggest a new agricultural policy based on the costs of environmental externalities.

Keywords: sustainability, organic dairy farming, economic-environmental effects, agricultural policies, Linear Programming model.

Résumé

Une approche économique et environnementale de l'évaluation de la durabilité en agriculture. Le modèle d'une exploitation laitière biologique. L'étude a pour objet d'évaluer la durabilité économique et environnementale dans une exploitation laitière biologique. Le second objectif est de fournir un outil technique pour la politique agricole. Nous avons utilisé la programmation linéaire pour simuler les données économiques, écologiques et organisationnelles de l'exploitation. Nous avons comparé deux versions du modèle, l'une relative à la situation actuelle de l'exploitation (version biologique), l'autre à celle avant transformation (version conventionnelle). La "fonction d'objectif" du modèle optimise la marge brute de l'exploitation. Nous présentons la structure générale du modèle et donnons une description détaillée des variables environnementales considérées : cycle de l'azote, érosion des sols et consommation de l'énergie non renouvelable. Les résultats montrent que le modèle biologique, compte tenu du prix plus élevé obtenu par le lait biologique, permet un niveau d'efficacité économique comparable à celui du modèle conventionnel, et produit en outre toute une série d'avantages pour l'environnement. En utilisant la programmation linéaire paramétrique, à partir des résultats économiques et écologiques, nous avons pu évaluer les coûts de production moyens et marginaux des externalités positives liées au modèle biologique. Nous présentons en conclusion des propositions d'utilisation possible de ces données pour les interventions des politiques agricoles et du territoire.

Mots-clés : durabilité, production laitière biologique, effets économiques et environnementaux, politique agricole, modèle de programmation linéaire.

1. Introduction

1.1. The Multidisciplinary Approach applied to the Study of Sustainability in Agriculture

Over the last few years, the techniques used in agriculture as well as the rural way of life have experienced rapid evolution in terms of the increasing impact on natural resources.

In addition to the problems originating from « economic sustainability », for some time farms have also had to face new problems related to the environmental impact of the productive cycles and to the quality of life of society as a whole.

The task of experts has so far been to formulate sustainability (apparently a simple and immediate concept) into scientific parameters, which could allow a more thorough and accurate approach to these new problems. Consequently, the farm has begun to be considered not as a simple element of the food chain, but as a « rural cell » interacting on multiple levels within the anthropological and natural systems, generating a complex network.

The multidisciplinary and systemic approach of the present study stems from the necessity of keeping up with the complex nature of these relations. As a matter of fact, contributions from studies of economists, ecologists, soil science specialists and mechanical engineers were used to help achieve our objectives.

The results of the present study were obtained through the participation of professors and students from different departments of the University of Florence: in particular the Departments of Agricultural Economy, Agronomy and Crop Sciences and Agricultural Mechanical Engineering.

The systems approach coupled with the study methods from the different departments lead to an integrated analysis of those systems which constitute the real situation we intend to study and

which are: 1) *The socio-economic system*, which governs the choices of economic planning and policy; 2) *The productive system*, which has been analysed at farm level; 3) *The territorial ecosystem*, which is both a source of resources and a sink of pollutant outputs.

From the environmental point of view, we analysed the management of energy in the farm productive system, nitrogen cycles within the agro-ecosystem and erosion of the soil.

Specifically, our case-study farm is located in a mountain area which is particularly exposed to soil erosion, while the risks of pollution by nitrogen components coming from its animal production are not negligible.

The experimental model we used for this research is a mathematical model of Environmental Economics, i.e. a traditional linear programming model for income optimisation to which many « activities » (or « processes ») and constraints have been added, in order to achieve minimal environmental impact of the above mentioned variables. The characteristics of such a tool are well-suited to meet the requirements of our multidisciplinary approach.

1.2. Objectives

The priority objectives of the present study are: 1) to evaluate the technical and economic effects of the organic production system; 2) to quantify the positive environmental externalities brought about by the organic system; 3) to provide technical back-up for economic policy measures able to promote large-scale organic production systems.

Specifically, our focus was to provide and test a method for analysis and quantification of the production costs of « environmental services », expressed in terms of income reduction. Such a method should be able to provide the information necessary to create the conditions in which the private interests of the single producer coincide with public interests.

We are convinced that by offering effective technical support to the economic

policy and territory planning institutions, it is possible to achieve the economic sustainability of farms, as well as environmental and social sustainability for the whole community. Moreover, it must be stressed that this is only the first stage of this line of research, i.e. to provide and test a method on a pilot farm, which subsequently will be expanded to several farms representative of the different types.

Valid technical support will allow the development of more precise incentive programs, at both national and European levels (like those of the EEC 2078/92 Regulation). These programs should promote low-impact production systems also in small-size farms, which lack detailed data and for which specific chemical analyses are uneconomical (Deffontaines *et al.*, 1993).

2. Methods and Materials

2.1. Description of the Territory of Mugello and the Emilio Sereni Farm Co-operative

The farm that was tested using the Environmental Economic model is located in an area north of Florence called Mugello, in Tuscany.

From a social and economic point of view, Mugello can be defined as a marginal area. Yet it has a high environmental value in terms of natural resources.

Morphologically it is a lake basin (approximately 30 km in diameter) surrounded by mountains. About 90 % of the territory ranges from 300 to 800 meters in altitude; annual average temperature is 13.4°C, with monthly average temperatures equal to 4.2°C minimum and 23°C maximum. Average rainfall is around 1 047 mm per year.

As a consequence of these morphological and climatic conditions, Mugello is an area particularly subject to soil erosion.

The farm chosen to test our model is an organic dairy farm, the Cooperativa

Emilio Sereni at Borgo San Lorenzo, close to Florence.

The farm recently converted from conventional to organic production and it can be considered as representative of the Mugello area as to dimensions (362 ha, of which 166 ha is arable farm land), variety of crops (maize, grasslands, alfalfa, broad bean, barley, rye grass), and soil and climate characteristics.

Livestock consists of approximately 330 Friesian head (dairy cows, heifers and calves), with an annual milk production of 7 550 kg per head.

The farm soil is clayey or it presents a balanced proportion of clay, silt and sand.

As to management organisation, the interest of the farm in social sustainability is clear from its choice of a co-operative structure, whose primary goal is to promote employment opportunities.

2.2. Methodology

2.2.1. The General Structure of the Model

Our model was developed starting from the methodology suggested in the Netherlands for the construction of Environmental Economic models (Berentsen and Giesen, 1994)¹.

In order to formulate our model, it was necessary to determine a series of technical coefficients based on the specific characteristics of soil and climate, the rotations selected and the cropping methods. Particular attention was given to parameters originating from a few important environmental variables, such as consumption of non-replaceable energy, nitrogen balance of the farm and soil erosion.

Engineers from the Agricultural University of Florence formulated the energy parameters and agronomists worked out the coefficients of nitrogen cycle and soil erosion. The majority of parameters and

¹ The original Dutch model was subsequently stripped and rearranged in order to meet the different features of the Sereni farm and territory.

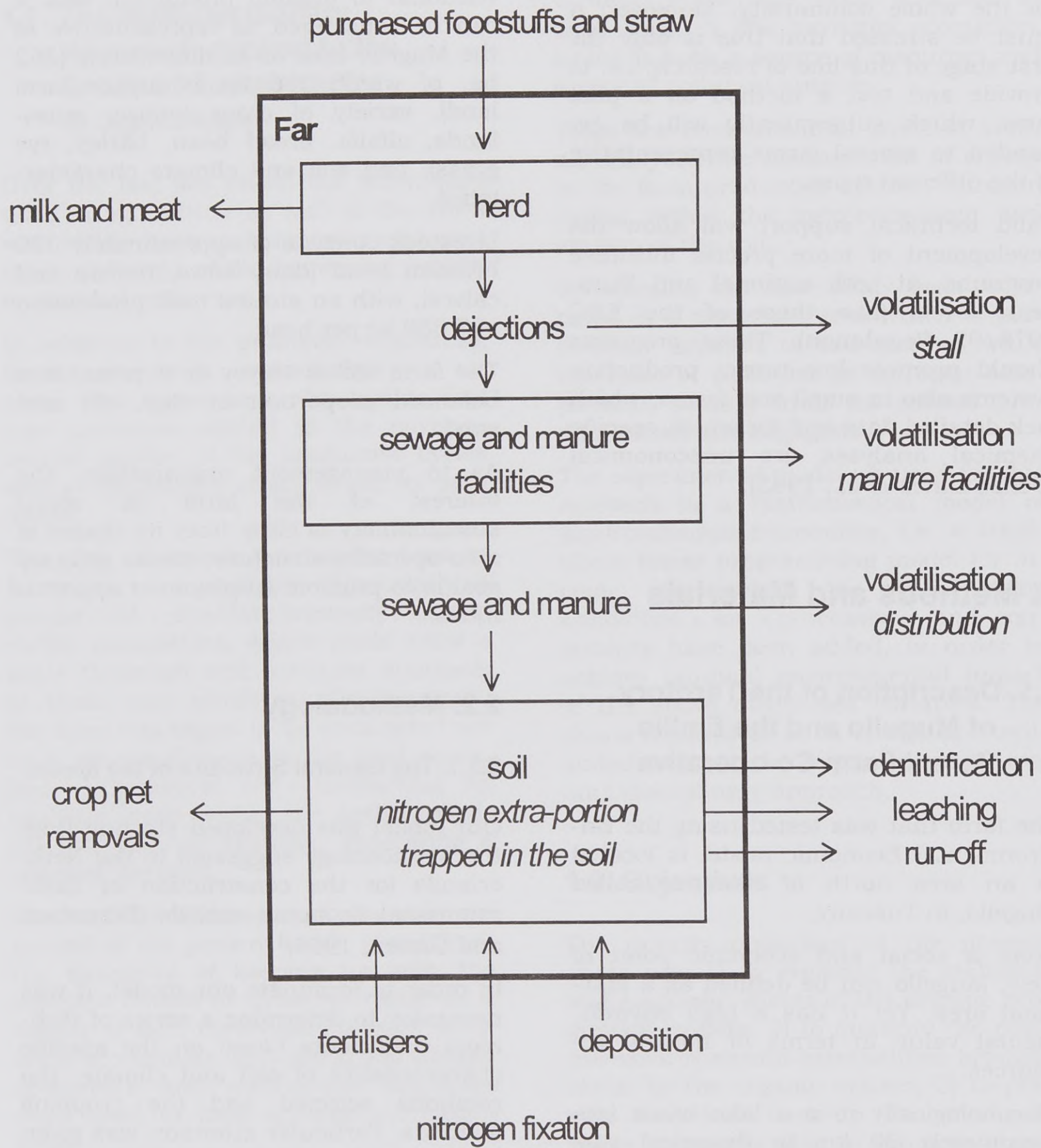


Figure 1: Nitrogen flow in the agroecosystem (modified from Leneman *et al.*, 1993)

coefficients stem directly from their research on the area under survey. Only in a few cases have these been found in literature, resulting from studies carried out on soil and climatic conditions similar to the case-study farm. These last are all average values referring to widely ranging variables. In this way, we satisfy the need to develop a valid method at the territorial level, instead of having to analyse specific cases and situations, individually.

The linear programming method has been applied to two different simulations of the Sereni farm model: the organic version referring to the actual situation of the farm, and the conventional version referring to the farm situation prior to its conversion to organic production.

In both cases optimal management of techniques (fertilisation and tillage in particular) is assumed as hypothesis.

The *objective function* of the model is represented by the farm gross income resulting from the total sum of the gross incomes of each productive process. The objective function maximisation bears out both prescriptive instructions for farm management at macroeconomic level and explanatory data useful for environmental policy measures at macroeconomic level.

The objective function is subject to three categories of *constraints* which are expressed by equations and inequations. Their known term is the maximum available quantity of a productive factor in the case of limiting resources, an agronomical rule in the case of technical constraints, and a normative imposition in the case of contractual and legal constraints. Furthermore, following the current formulation of the Environmental Economic models, we inserted environmental constraints and accounting rows, as well as environmental variables which have been added to the standard productive processes of crops and breeding activities.

In the following section environmental variables, constraints and accounting rows are illustrated in detail, together with the economic objective function, because they represent a methodological

innovation in the models of linear programming.

2.2.2. Model Specification: Environmental and Economic Characteristics

The group of *environmental variables* can be seen in Table 1. These represent the three environmental factors selected for the present study, i.e. nitrogen cycle, consumption of non-replaceable energy and soil erosion.

• dejections (kgN) • manure (kgN) • sewage (kgN) • nitrogen deposition (kgN) • ammonia emission by volatilisation (kgN) • denitrification (kgN) • nitrogen extra portion trapped in the soil (kgN) • actual leaching (kgN) • potential basis nitrogen leaching (Helping Activity) (kgN) • potential nitrogen leaching dependent on nitrogen fertilisation level (Helping Activity) (kgN) • non-replaceable energy consumption (GJ) • soil erosion (t) • nitrogen run-off (kgN)
--

Table 1: Environmental variables

From Table 1 it is evident that the selected environmental variables pertain mostly to the nitrogen cycle. In fact, we intended to investigate in depth this specific component of farm management, in view of all the urgent needs created in the animal sector by the nitrogen cycle. The area under study, in particular, is part of the basin from which the city of Florence receives its water supply. For the sake of clarity, Figure 1 shows the nitrogen cycle in the

agroecosystem specifying the flows at farm, herd and soil levels².

Amongst all the items included in the organic version of the model, those related to sewage, leaching and nitrogen run-off have the greatest impact on the environment. Moreover, inorganic synthetic fertilisers had to be added to the conventional version.

The complete list of environmental constraints and accounting rows is shown in Table 2 according to their order of insertion into the model.

- 1) Nitrogen needs (kg)
Accounting row of nitrogen in manure (kg)
Accounting row of nitrogen in sewage (kg)

2) Nitrogen balance at farm level (kg)

3) Nitrogen balance at herd level (kg)

4) Nitrogen balance at soil level (kg)

5) Accounting row of potential basis nitrogen leaching (kgN)

6) Accounting row of potential nitrogen leaching dependent on nitrogen fertilisation level (kgN)

7) Coupling between potential leaching and denitrification (kgN)

8) Coupling between potential leaching and actual leaching (kgN)

9) Aaccounting row of nitrogen run-off(kgN)

10)Ammonia emission by volatilisation (kgN)

11)Non-replaceable energy consumption (GJ)

12)Accounting row of soil erosion (t)

Table 2: Environmental constraints and accounting rows

² Since the primary objective of our study was to analyse the environmental-economic effects of different types of agricultural techniqueswith regard to the nitrogen cycle in the agroecosystem, we focused mainly on the evaluation of the total quantities of nitrogen inputs and outputs and on their forms (both mineral and organic), without taking into account the intermediate forms of nitrogen in the different phases of the cycle. However, these forms together with their transformation processes were considered during the elaboration of the coefficients used in the model.

2.2.2.1. Requirement of Nitrogen, Production of Nitrogen from Manure and from Sewage

Three constraints govern the fact that sewage and manure productions exceed or are equal to cultivation requirements and are therefore capable of meeting these last. Two of them are equal constraints (Table 2 - Group 1: accounting rows of nitrogen in manure and in sewage), and the third is a maximum constraint on the nitrogen demand. Both sewage and manure productions and the respective cultivation requirements are expressed in kgN.

Actually, the two equal constraints are represented by two accounting rows which calculate the total nitrogen content respectively in farm manure and sewage. These values are subsequently transferred to the constraint of cultivation requirements for sewage and manure.

As to the requirements constraint, it must be said that this is a real maximum constraint with a composite nature: in fact, it is both a constraint for restraining resources (sewage and manure) and also a technical constraint originating from the fertilising methods of the farm.

2.2.2.2. Nitrogen Balance at Farm Level

This accounting row calculates the variable « extra-portion of nitrogen into the soil » (Figure 1). This value is given by the difference between the sums of inputs and outputs of nitrogen balance at farm level, which in turn is divided into several balances concerning single cultivation sub-systems and animal productions. The input group consists of organic fertilisers for barley and maize; nitrogen fixation produced by the symbiotic crops of alfalfa and broad bean; purchasing of foodstuffs and straw; nitrogen deposition; chemical fertilisation (only in the conventional version). The outputs include the selling of meat and milk, nitrogen volatilisation, denitrification, leaching and run-off. Also the nitrogen extra-portion in the soil is considered as an output in the balance, although it is trapped into the soil and, therefore, in the farm system. This is included in the positive balance (out-

puts) because a relevant part of it will be dispersed in the ecosystem. Moreover, as a system variable it quantifies the input surplus which is not dispersed, in the short term, because of volatilisation, leaching, denitrification or run-off.

The values which correspond to the components of the nitrogen cycle are transferred to this row from the other computation rows of the system.

The formulation of this accounting row includes several parameters, such as average levels of nitrogen fixation for alfalfa and broad bean, which are respectively 165 kgN/ha (Follett, 1989) and 212,5 kgN/ha (Raso and Mattei Scarpaccini, 1994); a percentage of milk raw protein equal to 3,3 % (farm data); and a level of nitrogen deposition equal to 8,9 kgN/ha (Follett, 1989)³.

2.2.2.3. Nitrogen Balance at Herd Level

This accounting row calculates the nitrogen content in dejections (see Figure 1).

Inputs: foodstuffs and straw produced on the farm or purchased.

Outputs: milk, meat and dejections (unknown term).

One of the options of the model is the calculation of nitrogen content in dejections and this represents an important characteristic. This value, in fact, is influenced by several variables and its measurements through chemical analysis could be affected. Vice versa, the value resulting from the model is strictly dependent on feed ration and production output indicated by the optimisation of farm organisation. This value is

³ It must be remembered that an objective of the present study is to provide an evaluation methodology for environmental externalities which could be easily applied even by those farms which cannot produce all the required experimental data. A few parameters of our model are taken from international literature; a comparison of experimental data with those of other countries with similar soil and climate conditions allows us to verify them and to calibrate the model.

In particular, the data of Follett refer to tests carried out in the USA and those concerning the broad bean are taken from analyses carried out by the Agronomic Sciences and Territory Management Department, University of Florence, in the area under survey.

used to calculate the nitrogen titre in dejections.

The titre is then inserted in all the accounting rows and constraints that include it as unknown term, for example production of manure and sewage. The resulting elaboration of the coefficient is directly linked to the organisational management choices.

The nitrogen content in dejections is strictly related to the feed ration and the nitrogen outputs in dejections are computed by subtracting the nitrogen amounts in milk and meat from the foodstuff nitrogen inputs. Since the feed ration assessment results from optimisation, at the beginning of the iterative optimisation process the values of coefficients showing the nitrogen concentration in dejections are unknown. The solution of the problem is found by estimating the parameters before optimisation, checking the results afterwards and correcting them by repeating the optimisation procedure as many times as necessary.

In this way a verification system is achieved for both the technical coefficients and the model. From this point of view, the model can also be an alternative monitoring tool which can be compared with the common chemical analysis carried out on the farm. Obviously, the approximation level of model computations will increase in function of the availability of experimental data.

2.2.2.4. Nitrogen Balance at Soil Level

This accounting row calculates the run-off nitrogen pollutants (see Figure 1).

Inputs: nitrogen fixation, manure and sewage of single crops, nitrogen deposition.

Outputs: nitrogen removed from agricultural land by harvested crops, denitrification, extra-portion trapped in the soil, leaching, nitrogen pollutants run-off (unknown term).

The computed unknown variable refers to that portion of nitrogen which is removed from the farm agroecosystem because of run-off erosion, i.e. that portion which is washed away together with the soil particles.

In this case nitrogen is mainly organic since the percentages of N-NO_3^- and N-NH_3 carried away by run-off are very low and that of N-NO_2^- is negligible. With intense rainfall, in fact, when transportation of solid matter begins, the nitrogen contained in easily leached structures is already insubstantial, unless rain doesn't fall immediately after a fertiliser application (Zanchi *et al.*, 1995).

2.2.2.5. Accounting Row of Nitrogen Basic Leaching.

This accounting row calculates the nitrogen potentially leaching towards the water table in relation to the crop activity levels, with the chemical fertilisation level equal to zero (for this reason « basic leaching »).

To obtain actual leaching it is necessary to subtract the denitrification amount from this potential value.

In our model the coefficients of nitrogen leaching losses (« basic », « produced by chemical fertilisers » and « actual » leaching) have been obtained by calculation rules (Grossensen and Van den Ham, 1992); to do so the pedo-climatic and management parameters of the Mugello experimental farm have been taken into account. An evaluation of nutrient losses (N, P, K), performed in Mugello, on a soil with a texture very similar to the one from the Sereni farm (and obviously the same climate), and with different fertilisation levels, allowed us to verify the acceptability of the above coefficients (Zanchi *et al.* 1995).

The coefficient of the activity « rye grass + maize silage » stems from an elaboration which includes the relevant *trap crop* function of rye grass on nitrogen in maize silage.

2.2.2.6. Accounting Row of Leaching Produced by Chemical Fertilisers

Obviously this accounting row is present only in the conventional version. It is set up in a similar way to the previous one and calculates the potential leaching resulting from the use of synthetic chemical fertilisers.

The coefficient of the « rye-grass + maize silage » activity is obtained by the sum of the maize (-31 kgN/ha) plus the rye-grass (+30 kgN/ha), including its capacity as a *trap crop*.

2.2.2.7. Coupling between Potential Leaching and Denitrification

This accounting row is used to assess the amount of denitrified nitrogen on the farm. It enables us to connect the variable of potential leaching to the denitrification variable.

2.2.2.8. Coupling between Potential Leaching and Actual Leaching

The formulation of this constraint is complementary to the previous one; actual leaching is calculated as equal to the rate of potential leaching which is not imputed to denitrification.

Together with run-off nitrogen pollutants, actual leaching is the variable that is most dangerous for the environment. For this reason in the second phase of the research programme, when the Weighted Goal Programming (WGP) will be applied to the model, both variables will be used as environmental objective functions (Romero and Rehman, 1984).

2.2.2.9. Accounting Row of Nitrogen Run-Off Pollutants

This accounting row is part of a verification system of the model and uses the average values of nitrogen content resulting from the analysis of various samples from the surface layers of farm soil.

The final result of this accounting row is used to verify the corresponding value resulting from the nitrogen balance at soil level.

2.2.2.10. Ammonia Emission by Volatilisation

The calculation of this variable is obtained by multiplying the activity level of the variable «surface sewage» by a technical coefficient which includes N-NH_3 dispersion from open storage and during distribution and also in the period between distribution and incorporation of sewage into the soil.

2.2.2.11. Unreplaceable Energy Consumption

This accounting row can be used as an environmental objective function.

The value calculated in the model represents the sum of energy inputs which have been used, on the one hand, for crop production at farm level and on the other hand, for the production cycles relevant to the purchased foodstuffs. Energy inputs of breeding activities and purchasing of straw were not included in this calculation, because no quantitative nor qualitative difference could be registered between organic and conventional systems.

In the elaboration of coefficients the differences between the two methods have been highlighted. To calculate the technical coefficients of this accounting row experimental data were used (Spugnoli *et al.*, 1993).

Coefficients resulted from the above data. In the organic version, coefficients were obtained by subtracting an amount of energy equal to that normally used to produce fertilisers and pesticides from the conventional corresponding coefficients.

2.2.2.12. Accounting Row of Soil Erosion

Similarly to the non-replaceable energy consumption row, this row can also be used as an environmental objective function.

The calculated value shows annual soil losses due to run-off.

The technical coefficients have been taken from experimental tests carried out on the territory under survey (Zanichi, 1988).

The differences in the results of the two versions of the model do not depend on coefficients, which are equal for both versions⁴, but on the degrees of soil cover that vary according to the different farm plans. In the organic farm plan the crop rotation guarantees a larger cover of soil during the year; the con-

ventional farm plan, however, is not subject to any rotational constraint and is therefore determined by the activity levels of the crops which just reflect economic advantage.

2.2.2.13. Gross Income

This is the principal objective function of the Linear Programming model. The equation is the result of the sum of the terms calculated by the difference between the gross marketable production of each activity (or variable in general) minus its variable costs. The optimisation of the model is achieved when the total sum of all the gross incomes produced by the single variables is maximised.

As to the gross income per dairy cow, the difference between the two versions is given by the more favourable price of organic milk. The milk price agreed with the « Centrale del Latte di Firenze, Pisa e Pistoia » (Local Central Dairy) is 940 Lire/kg, while the *conventional milk price* is 820 Lire/kg.

3. Results

3.1. Technical-Economic Results and Environmental Policies.

The technical-economic results of the test have been reported in Table 3.

Activity levels of crops, purchased foodstuffs and straw. The rotational constraints were set up in such a way as to leave a 30 % variation as flexibility margin for model optimisation.

There is a remarkable difference between the organic farm plan and the conventional one. Besides the absence of whatever rotational constraint in the conventional version, the difference stems also from the legal constraints provided for by Regional Law (Tuscany) n° 54/95 on organic livestock farming, and in particular by the constraint on long-fibre foodstuffs which results in a limit to the optimisation of the objective function.

⁴ Actually in the long term the coefficients of the two versions are different. In our case, however, they are considered as equal because our analysis refers to a short period of time.

	Organic	Conv.
Barley (ha)	18	0
Set-aside (ha)	13,27	13,55
Grassland (ha)	18,28	0
Maize silage (ha)	40,45	90,35
Maize (ha)	7	0
Rye-grass + maize silage (ha)	8	0
Alfalfa(ha)	43	10,43
Broad bean/proteic pea (ha)	15	-
	(broad b.)	
Wheat (ha)	-	48,67
Purchasing soja bean (t)	15	0
Purchasing maize gluten (t)	15	0
Purchasing <i>Linum</i> residues (t)	15	58,525
Purchasing straw (t)	86,93	0
Dairy cows (head)	140	150
Dry cows (head)	28	30
Heifers (head)	60	65
Young heifers(head)	49	53
Female calves (head)	49	53
Male calves (head)	55	59
Selling milk (q)	10544	11325
Selling male calves (head)	55	59
Gross income (million Lire)	967,438	968,331

Table 3: Activity levels of technical and economic variables

By means of limitation on purchasing of foodstuffs and straw, a farm plan is defined, which makes it possible to reduce purchased foodstuffs by 80.3 %. Consequently, one of the technical-organisational objectives of the co-operative is substantially achieved. Decrease of straw purchasing is 68.8 %.

In the conventional version of the model, the total sum of the activity levels of the purchased foodstuffs is slightly higher than the value resulting from the organic version. The purchase of straw is zero because of the high quantity of straw produced by the wheat crop.

Activity levels for livestock farming. Owing to the tie rows among the different livestock categories, all of them depend on the activity level of dairy cows. Therefore, our comparisons will take this level as point of reference.

In the organic version the farm stall capacity has not reached saturation; the limiting resources for further growth of the herd and consequently of income are represented by foodstuffs and ultimately by the productive factor « land ». The test results show that the hectares of cultivated land are equal to the maximum available resource, while the purchased foodstuffs provide a quantity of raw protein and dry matter barely sufficient to satisfy the minimum food needs of the herd.

In the conventional version, the limiting resources increase. In addition to those already mentioned for the organic version (excluding « dry matter »), there are also stall capacity and, above all, labour availability which is insufficient during the first four months of the year.

As to availability of manure and sewage, both versions show that potential nitrogen greatly exceeds crop demand. Furthermore, in order to limit the excessive

costs for their disposal, manure and sewage have to be distributed on farmland. For these reasons particular attention was given to the environment-friendly management of these matters.

With regard to the *objective function of gross income*, its level is essentially coincident in both versions. From the results of our simulation, the Sereni farm was able to achieve the same gross income as prior to its conversion. This was possible thanks to the higher milk price the co-operative was able to obtain as an organic dairy farm and this result positively responds to the query about the economic sustainability of organic production.

Therefore, the economic success of the farm is evidently due to the more favourable price of organic milk. Consequently, it can be said that the Sereni production is marketed as an "elite" production, targeting a specific market niche. From the point of view of farm management *marketing*, this is surely satisfying; however, from the point of view of the whole organic sector, to produce exclusively for a market niche motivated to pay more for high quality products constitutes a real limiting factor for the diffusion of organic systems.

As said earlier, the milk price paid to the Sereni farm by the "Centrale del Latte di Firenze" is 940 Lire/kg, while the average price paid by the "Centrale" to other producers for conventional milk is 820 Lire/kg. Evidently, the market willing to pay this extra charge is quantitatively limited and a relatively restricted supply will be sufficient to overstock the market of organic milk in Tuscany.

This situation prevents the diffusion of the organic method on a large scale. Therefore, an *environmental policy* capable of overcoming these problems and widely promoting the diffusion of environment-friendly methods should lead to a price for organic milk equal to that of conventional milk, and also should provide for a monetary contribution for the environmental services produced. Such a contribution has been estimated as the difference between the actual income level and the level of income obtained with the milk price at 820

Lire/kg. The difference can be considered as an acceptable estimate of the production costs for the environmental services supplied by the farm.

Then this overall cost was disaggregated in the three environmental constituents by comparing the different economic outcomes resulting when single environmental constraints are applied to the conventional version to reach the same level of environmental impact as the organic optimised simulation.

From these estimates it follows that the costs calculated for the decrease of nitrogen pollutants, for the decrease of non-replaceable energy consumption and for reduced soil erosion amount respectively to 10 946 Lire/kgN, 12 701 Lire/ and 6 299 Lire/t.

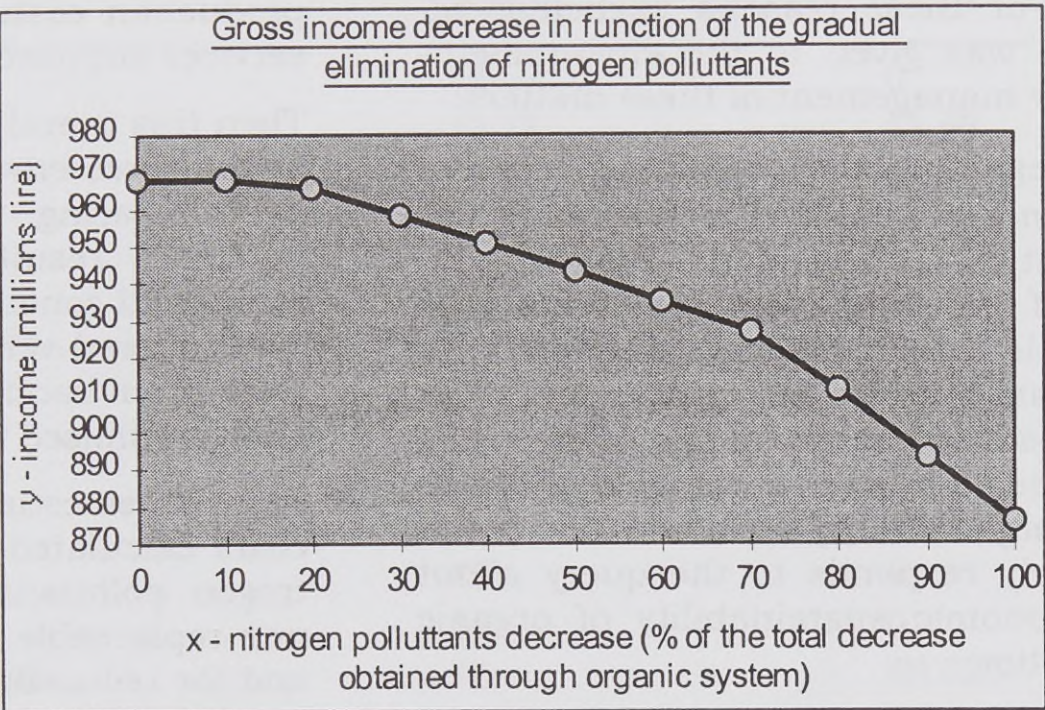
The trend of the production costs of environmental externalities has been compared with the decrease of each pollutant through the parametric Linear Programming and the results are shown in Figure 2.

The graphs show that the gross income decrease per unit of environmental impact reduction, i.e. unitary production cost of the environmental service, increases progressively with the progressive reduction of environmental impact. As to soil erosion, gross income in the conventional model hardly varies until the decrease in soil erosion covers at 60 % the overall decrease in the organic version. Even with the conventional method, therefore, it is possible to reduce soil erosion without any substantial decrease in farm gross income.

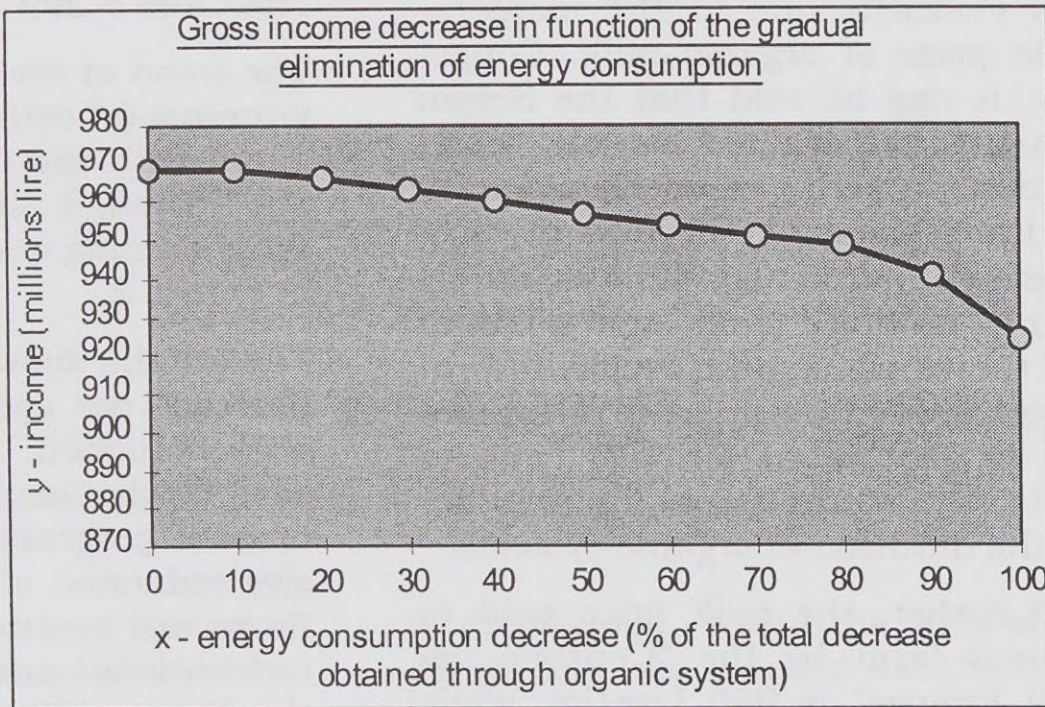
If the contribution provided by Community Regulation n° 1765/92 that the farm would receive under conventional management (751 225 Lire/ha per year) is compared with the contribution that the same farm receives in the organic simulation on the basis of Regulation 2078/92 (769 539 Lire/ha per year), it is evident that these values are substantially equal because of the different farm plans.

Consequently, when applied to this case-study, the current regional and European environmental policies cannot be said to promote environment-friendly production.

X	Y
0	968.3
10	968.3
20	966
30	958
40	951
50	943
60	935
70	927
80	911
90	893
100	876



X	Y
0	968.3
10	968.2
20	966
30	963
40	960
50	957
60	954
70	951
80	949
90	941
100	924



X	Y
0	968.3
10	968.3
20	968.3
30	968.3
40	968.3
50	968.2
60	967.8
70	966.1
80	964.5
90	962.8
100	961.1

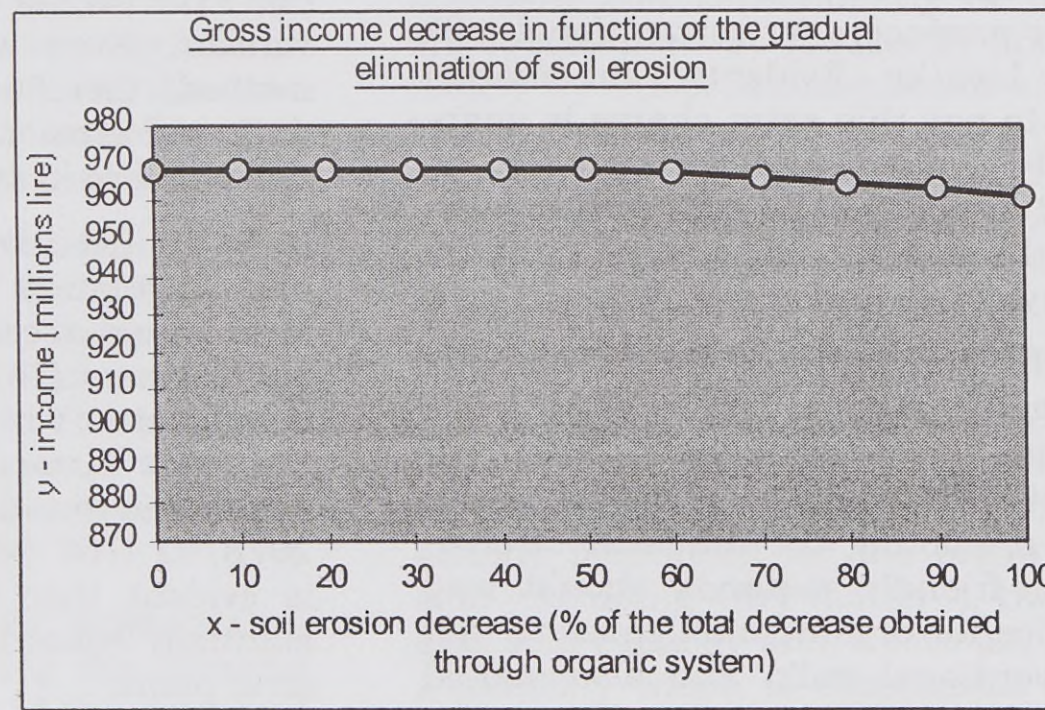


Figure 2: Gross income trend in function of the environmental variables

3.2. Environmental Results

Environmental results are shown in Table 4. The model simulation produced relevant information on environmental variables such as soil erosion, energy, nitrogen volatilisation, run-off, denitrification, etc. Owing to their immediate connection with the territory at both socio-economic and environmental lev-

els, the most remarkable data are those related with nitrate leaching towards the water tables.

As we could suppose, the differences relating to this data and others between conventional and organic production methods are considerable and demonstrate the environmental sustainability of the organic method.

	Organic	Conv.
Livestock density (head/ha)	1,4	1,5
Total nitrogen inputs (farm balance) (kgN/ha)	119,13	222,74
Fertilisers (kgN/ha)	18,92	183,41
Nitrogen fixation (kgN/ha)	63,07	10,56
Foodstuffs (kgN/ha)	19,41	19,92
Straw (kgN/ha)	8,88	-
Nitrogen deposition (kgN/ha)	8,85	8,85
Total nitrogen outputs (farm balance) (kgN/ha)	40,79	69,41
Milk (kgN/ha)	35,57	38,21
Meat (kgN/ha)	5,22	5,61
Wheat (kgN/ha)	-	25,59
Total nitrogen losses (farm balance) (kgN/ha)	78,34	153,33
Ammonia emission (kgN/ha)	25,12	27,73
Denitrification (kgN/ha)	7,99	20,45
Nitrogen extra-portion trapped in the soil (kgN/ha)	23,98	38,18
Run-off (kgN/ha)	9,35	25,03
Actual leaching (kgN/ha)	11,99	13,75
Actual leaching dependent on fertilisation (kgN/ha)	-	28,19
Enu - Nitrogen use efficiency (%)	34 %	31 %
Enp- Purchased nitrogen use efficiency (%)	86 %	34 %
Nitrogen content in dejections (‰)	5 ‰	5,19‰
Soil nitrogen content (‰)	0,88‰	1,25‰
Non-replaceable energy consumption (GJ/ha)	13,86	32,59
Soil erosion (t/ha)	10,571	16,748

Table 4: Environmental results

4. Conclusion

From the results illustrated in the previous section, we can conclude that in our test the organic method brought about a level of *economic efficiency* equal to that of conventional production.

Other important data concern the economic performance of the test, in par-

ticular the *production costs of environmental externalities* produced by the cooperative. The costs for the decrease of nitrogen pollutants, non-replaceable energy consumption and soil erosion can be calculated.

By applying Parametric Linear Programming to the model, it was possible to analyse the marginal costs trend of environmental services as a function of the percentage decrease in the

environmental impact of the three factors under survey.

As to the second objective, *environmental positive effects* are found in the organic production method: in particular, a 68 % decrease of nitrogen leaching and run-off (7438 kgN), a 57 % decrease of non-replaceable energy consumption (3053 GJ) and a 37 % decrease of soil erosion (1007 t). All values are calculated through a comparative analysis between the two versions of the model.

As regards the third objective of our study, in the case of the Sereni cooperative current agricultural policy does not promote the production method selected by the farm. In the organic simulation of the model, the farm reaches the same level of incentives as obtained under the conventional system.

Following the suggestions of many researchers, we may conclude that an *economic policy tool* is required in order to provide compensation for environmental services at least equal to the production costs of environmental externalities supplied by organic farms. This represents an imperative incentive for the diffusion of sustainable production activities. The method suggested by the present study would allow to quantify such a compensation.

References

- Berentsen P.B.M., Giesen G.W.J.**, 1994. Economic and environmental consequences of different governmental policies to reduce N losses on dairy farms. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 42-1 (1994): 11-19.
- Deffontaines J.P., Benoit M., Brossier J., Chia E., Gras F., Roux M.**, 1993. *Agriculture et Qualité des Eaux. Diagnostic et propositions pour un périmètre de protection*. Paris, Éditeurs scientifiques.
- Follett R. F.**, 1989. *Nitrogen management and ground water protection*. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V., 395 p.
- Grossensen, Van den Ham**, 1992. *Rekenregels voor het vaststellen van de nitraatuitspoeling*. Ede, The Netherlands.
- Leneman H., Giesen G.W.J., Berentsen P.B.M.**, 1993. Costs of reducing nitrogen and phosphorus emissions on pig farms in the Netherlands. *Journal of Environmental Management*, vol. 39: 107-119.
- Raso E., Mattei Scarpaccini F.**, 1994. *Fava*. In *Leguminose da Granella*. Firenze, Tipografia Effemme, 198 p.
- Romero C., Rehman T.**, 1984. Goal programming and multiple criteria decision-making in farm planning: an expository analysis. *Journal of Agricultural Economics*, 35: 177-189.
- Spugnoli P., Baldi F., Parenti A.**, 1993. L'analisi energetica per un miglior uso delle risorse nei processi agricoli. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 4: 225-233.
- Zanchi C.**, 1988. The cropping pattern and its role in determining erosion risk: experimental plot results from the Mugello valley (central Italy). In *Sediment Budgets*. Porto Alegre Symposium (Brazil), December 1988. Proceedings, IAHS Publ. 174, 139-146.
- Zanchi C., Giordani C., Pini G.C.**, 1995. Perdite di suolo e di nutrienti in funzione di diverse dosi di concimazione (estensiva ed intensiva) su terreni di differente tessitura. *Rivista di Agronomia*, 4: 533-543.

Contracts for regulating environmental damage from farming: a « principal-agent » approach

Andrew MOXEY
Ben WHITE

Department of Agricultural Economics and Food Marketing,
The University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU - UK.
T  l. : (+44) 0191 222 8607/6900 - Fax: (+44) 0191 222 6720 - E-mail: a.p.moxey@newcastle.ac.uk

Abstract

This paper is entitled « Contracts For Regulating Environmental Damage From Farming: A Principal-Agent Approach » and explores the use of agency theory in the procurement of environmental public goods. The voluntary participation basis of many European agri-environmental schemes, combined with heterogeneity in the farm population and policy makers' lack of information about individual farms, poses a contract design problem. In particular, undifferentiated payment contracts and contracts that are amenable to « cheating » by farmers can lead to inefficiencies. Agency theory can assist in the design of contracts to overcome this situation. This paper presents a simple theoretical two-producer model, together with a simulated numerical example, to demonstrate the potential advantages of using agency theory in this manner. The results indicate how over-payment to farmers can be reduced. The increasing policy and funding importance of agri-environmental objectives suggest that further research in this field is merited.

Keywords: Principal-agent, mechanism design, agri-environmental policy; nitrate abatement.

Résumé

Des contrats pour maîtriser les atteintes à l'environnement par l'agriculture : une approche par la théorie de l'agence. L'article étudie l'emploi de la théorie de l'agence dans les procédures administratives touchant à la fourniture de biens publics, ici l'environnement. La conception des contrats entre l'administration et les agriculteurs se heurte à trois facteurs : le principe de participation volontaire des agriculteurs qui caractérise un certain nombre de programmes agri-environnementaux européens, l'hétérogénéité de la population agricole, et le manque d'information disponible sur les exploitations individuelles. Deux types de contrats en particulier posent problème : ceux qui ne distinguent pas les différences entre agriculteurs et ceux qui permettent aux agriculteurs de « tricher ». La théorie de l'agence aide à formuler des contrats qui contournent ces difficultés. Les auteurs présentent ici un modèle théorique simple représentant deux types d'agriculteurs, et une simulation à partir d'un exemple numérique. L'intérêt potentiel d'une telle application de la théorie de l'agence est mis en évidence. En particulier, les résultats indiquent la possibilité de diminuer l'attribution de subventions excessives aux agriculteurs. L'importance grandissante accordée aux objectifs agri-environnementaux dans l'élaboration des politiques montre la nécessité de poursuivre des recherches dans ce sens.

Mots-clés: relations principal-agent, conception des mécanismes, politique agri-environnementale, réduction des nitrates

1. Introduction

1.1. The nature of EU agri-environmental policy

European Council Regulation 2078/92 (sometimes known as the « agri-environment regulation ») required member states to implement a programme of measures to achieve aims including: reduction in the use of agri-chemicals; promotion of extensive forms of crop and livestock production; diverting farmland from production for 20 years or longer; and managing land for public access and leisure (EC, 1992). To reflect differences in environmental conditions and farming structures, member states were allowed discretion in the design and implementation of their own agri-environmental programmes. This has resulted in a variety of schemes across Europe. Many are based around the original Environmentally Sensitive Areas (ESAs) scheme pioneered in England during the 1980s, but others include Nitrate Sensitive Areas (NSAs), Heathland and Moorland regeneration schemes, and aid to organic farmers (Umstätter & Dabbert, 1996; EC, 1997).

Despite variation in specific aims and prescriptions, the majority of schemes share a common feature in that they are based on voluntary participation: rather than *requiring* farmers to participate, farmers are offered financial inducements as an encouragement to participate. This is the case for all seven schemes currently administered by the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF) in England, and reflects considerable success by the farming lobby in avoiding the imposition of mandatory regulatory controls that many other economic sectors endure (Cox *et al.*, 1990).

Payments offered to farmers are calculated « on the basis of the undertakings given by the beneficiary and of the loss of income and of the need to provide an incentive » (EC, 1992). That is, in return for agreeing to adhere to prescribed management practices under an agri-environmental scheme, farmers are

offered payments as compensation for income foregone and costs, including some transaction costs, incurred. For example, farmers within an NSA have the freedom to choose whether or not to enter into a management agreement on their land. If they do enter into such an agreement, they must then adhere to specified agricultural practices in return for compensatory payments. If they decide not to enter a management agreement, they face no penalties. Moreover, constraints are typically binding only for a fixed period, not indefinitely. Thus, for example, management agreements run for a fixed period (usually five years) and are not automatically renewed, allowing farmers the option of withdrawing from the scheme after the initial period. This time-limited, voluntary framework poses a policy design problem since policy makers must balance the need to make schemes attractive, to entice farmers in, against the costs of compensatory payments, compliance monitoring efforts and administration.

1.2. Problems with voluntary schemes

Problems arise with these voluntary agri-environment schemes for two, related reasons. First, variation in factors such as farm size and structure, natural resource endowment, site history and site position lead to considerable heterogeneity in the farm population. This means that the cost (i.e. income foregone) of compliance with an agri-environment scheme may vary across farms, *and* that the environmental gains from compliance may also vary across farms (Moxey *et al.*, 1995a; Weaver *et al.*, 1996). In this situation, the use of a single, standard payment mechanism for all farms participating in a scheme leads to some (low cost of compliance) farms being over-compensated, whilst other (high cost of compliance) farms are not tempted into the scheme. This problem is categorised in the agency theory literature as the problem of adverse selection. Adoption of a differentiated payment mechanism could, potentially, address these problems by offering different payment levels to different farms and is appealing to policy

makers concerned with achieving budgetary efficiency and « tax-payer value for money » (Webster & Felton, 1993; Colman, 1994; Colman, 1997). Second, however, heterogeneity in costs of compliance is generally not directly observable by policy makers, at least not without the latter incurring considerable administrative costs. That is, information asymmetry exists such that farmers know more about their costs of compliance than the policy makers do. To date, this has led to a tendency to opt for the administrative ease of a standard, undifferentiated payment mechanism, even though it leads to the adverse selection problem, rather than engage in costly identification and monitoring of farm situations. Policy makers are, however, now rethinking their approach (e.g. EC, 1996), and consideration of mechanisms for payment differentiation is appropriate.

1.3. Scope for Differentiated Payments

In the extreme, differentiated payments would take the form of individually negotiated contracts with each and every farmer. This should ensure that all farmers in a given scheme receive exactly the payment level required to tempt them into voluntary participation. The administrative costs would, however, be very high. In some cases, this might be acceptable if the environmental good in question was highly site-specific, that is, had a scarce, discrete spatial distribution such that its protection or production could only occur on a limited number of circumscribed farms: the ecological feature is rare, its loss is irreversible and there are not clear substitutes. In these situations the farmer is effectively a monopoly supplier of the public good and the regulator a monopsonist. Here, the administrative costs of negotiation, monitoring and enforcement might be justified by the relative uniqueness of the environmental outcome.

Yet the majority of environmental gains sought by agri-environmental schemes are not entirely site-specific and potential exists for « substitution » between sites. For example, ESAs or NSAs

operate over a broadly defined geographical area and seek to achieve provision of environmental goods, such as landscape features or non-point pollution abatement, that have a less discrete, diffuse spatial distribution. Provided that, in aggregate, sufficient farms within the defined area participate such that the environmental good is provided adequately in total, the policy maker is not too concerned with the precise spatial distribution of farm participation. In this case, individually negotiated contracts may offer little benefit in terms of environmental good provision and the additional administrative costs incurred will probably outweigh any savings achieved through avoidance of over-compensation. Nevertheless, some degree of payment differentiation may be desirable given the unacceptable level of over-compensation associated with a single, standard payment mechanism. Clearly, there is a trade-off between the degree of differentiation offered in order to reduce over-compensation levels, and the additional administrative costs incurred.

Debates on the design of payment mechanism in the face of information asymmetries regarding individual producer type have been informed by theoretical developments in the new regulatory economics¹. In particular, agency theory has been suggested as a means of designing a range, or menu, of contract options in such a way that not only are producers enticed into voluntary participation, but that they also simultaneously reveal some of their hidden information (Spulber, 1988; Bourgeon *et al.*, 1992; Latacz-Lohmann & Van der Hamsvoort, 1997).

This paper explores further the potential for this approach to mechanism design for agri-environmental schemes by using a simple numerical example based on the abatement of agricultural nitrate pollution. The remainder of this section introduces agency theory and reviews the literature. Section 2 introduces the two producer type model. Section 3 gives a simulated numerical case study of the use of mechanism design to

¹ For an introduction to this area, see Laffont & Tirole, (1993) or Mas-Colell *et al.* (1995).

reduce the costs of environmental contracts for nitrogen abatement. Section 4 offers a discussion, including consideration of data availability, and draws some conclusions.

1.4. The Principal Agent Approach

Since its origins in labour economics, the principal-agent model, or agency theory, has become an important paradigm in the economics of procurement and contracting, notably in the defence (Wolfson, 1985) and energy sectors (Reichelstein, 1992). Agency theory recognises that the regulator is less well informed than the participating agent about some critical parameter set which defines the agent's type. Typically the hidden information concerns the cost of compliance with the regulators' contract. These are games of incomplete information where one player is unsure about the preferences of his opponent (see Fudenberg & Tirole, 1991, Chapter 6).

To avoid the complications of the principal and agent engaging in a complex signalling game, the solution for the equilibrium of games of incomplete information relies upon the revelation principle (Dasgupta *et al.*, 1979; Myerson, 1979). This states that if a game of incomplete information has an equilibrium solution it can be replaced by a direct mechanism which induces truth-telling: that is when faced with a set of contracts the producer chooses the contract intended for their type and thereby truthfully reveals their true preferences. In practice the direct solution is implemented by a policy which includes a combination of a performance parameter, for instance the level of abatement, and a transfer (compensation) payment.

1.5. Context and Assumptions

It is important to be clear about the context in which agency theory is applied. First it can be applied to contracts between an individual agent and the regulator (Laffont & Tirole, 1993) or a large number of agents and the regulator (Bourgeon *et al.*, 1992). The

contracts proposed in the next section are between an individual producer and the regulator, although, there is no reason why the regulator should not sign contracts with a large number of individuals collectively.

Individual contracts may be socially optimal when there are substantial differences between producers in terms of the social benefits of input abatement. This arises due to different spatial distributions of ecological habitats and, in the case of non-point pollution, different locations and physiographic features. Individual contracts may also be optimal when the transactions costs of establishing and monitoring a quota market are prohibitive. It is notable that the current UK agri-environmental policy is based upon individual contracts either negotiated, in the case of SSSIs, or fixed in the case of ESAs and NSAs.

It is also important to be clear what information is held by the regulator and by the producer. In the case of perfect information, the regulator knows the abatement benefit for a producer, the compliance cost function and observes the producer's actions *ex post*. All of this information is known costlessly. The only distinction between the perfect information and the asymmetric information case defined here is that, for the latter, the regulator only has a prior distribution for the parameter that determines producer type. In our example this parameter measures the producer's land productivity which, in turn, defines the compliance cost function. Although other definitions of producer type could be used², there are well-established methods of measuring land productivity in agriculture, offering a tractable approach to applying agency theory to the design of real agri-environmental contracts (Van Diepen *et al.*, 1991; Bourgeon *et al.*, 1992; Wu & Babcock, 1996). It is assumed that whilst the regulator knows the *range* of land productivity types and the compliance cost functions associated with these types, only an individual producer knows which compliance cost function applies to him. The validity of this approach,

² For example, Latacz-Lohmann & Van der Hamsvoort (1997) use attitude to risk.

and data constraints on its operationalisation, are discussed briefly in section 4.

Solutions to contracting problems may be of two forms. The first-best solution for the regulator is that where the producers only receive their compliance cost. This solution is only attainable under perfect information. The second-best solution applies where the regulator offers contracts which take account of the potential for a producer to declare himself to be a type other than their true type. The optimal second-best solution considered in the next section induces truth-telling, that is each producer selects a contract from a menu of contracts which is intended for their type.

The sequence in which contracts are offered and accepted is also critical. On the basis of information available, the regulator announces a menu of contracts which consist of different combinations of a transfer payment, b_i , and an input quota, x_i . Each contract may be intended for a particular producer type and can be offered without negotiating directly with the producer. When the menu is announced, the regulator must make a commitment to accept an eligible producer's choice of a contract. This commitment is essential because by choosing a contract the producer is revealing information about his type which may provide the regulator with an incentive to withdraw the contract and, in its place, offer the producer the perfect information alternative. If the producer anticipates that this will occur, he will respond by disguising his true type when selecting a contract. This process has the potential to reduce the efficiency of second-best « truth-telling » contracts under asymmetric information.

2. Methods

2.1. The Regulator's Problem for the Two-Producer Case

Agri-environmental goods are a heterogeneous assortment, etc. This heterogeneity

demands a variety of agricultural land management encompassing, for example, amenity landscape features, habitat mosaics and water quality practices which, for ease of presentation, will be defined here in terms of input usage, such that abatement of input usage (i.e. deintensification) from existing levels, via input quotas, will, at least potentially, deliver the desired agri-environmental goods.³ To further simplify the presentation, consideration is restricted to only two farm types distinguished by their profitability: low profitability type $i=1$ and high profitability type $i=2$. It is assumed that the target group has already been selected and that monitoring activities will be decided upon separately from the contract design process.

In reaching an agreement with each individual farmer, the utilitarian regulator aims to maximise the following social welfare function⁴:

$$z_i = v a_i + (b_i - c_i(x_i)) - (1+e)b_i \quad (1)$$

The function has three components. The parameter v gives the benefit derived per unit of input abatement a_i . Abatement is defined as $a_i = (x_i^{*,i} - x_i)$ where $x_i^{*,i}$ is the optimal unconstrained input for farm type i , and x_i is an input quota for farm i , such that $x_i^{*,i} - x_i \geq 0$. Thus the linear abatement benefit function, which is assumed to be identical across farms, can be given as $v(x_i^{*,i} - x_i)$. The farmer's monetary utility or rent is given by $U_i = (b_i - c_i(x_i))$, as the excess of the transfer payment, b_i , over the costs of abatement $c_i(x_i)$. Finally the term $(1+e)b_i$

³ This is intuitively reasonable for many classes of agri-environmental goods, such as clean rivers, but may need careful interpretation for cases involving positive management rather than simply reductions in harmful management, as with, for example, haymeadow preservation. Benefits are only potential since scientific uncertainty and the stochastic nature of many environmental systems means that there are no guarantees that prescribed management practices will indeed deliver the desired agri-environmental outcomes.

⁴ This specification is standard in the literature (e.g. Laffont & Tirole, 1993). Substituting a budgetary cost-minimisation objective, for a given environmental standard, would yield similar results.

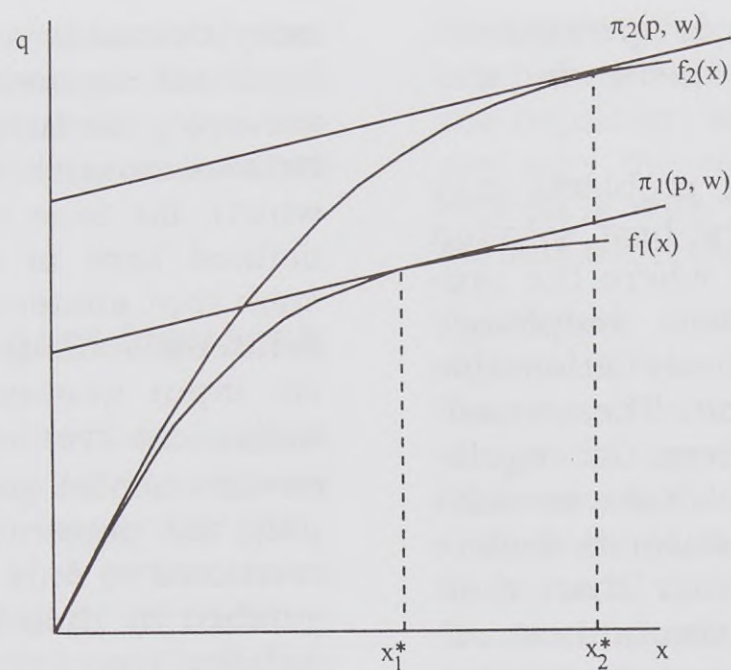


Figure 1: optimal Input Use

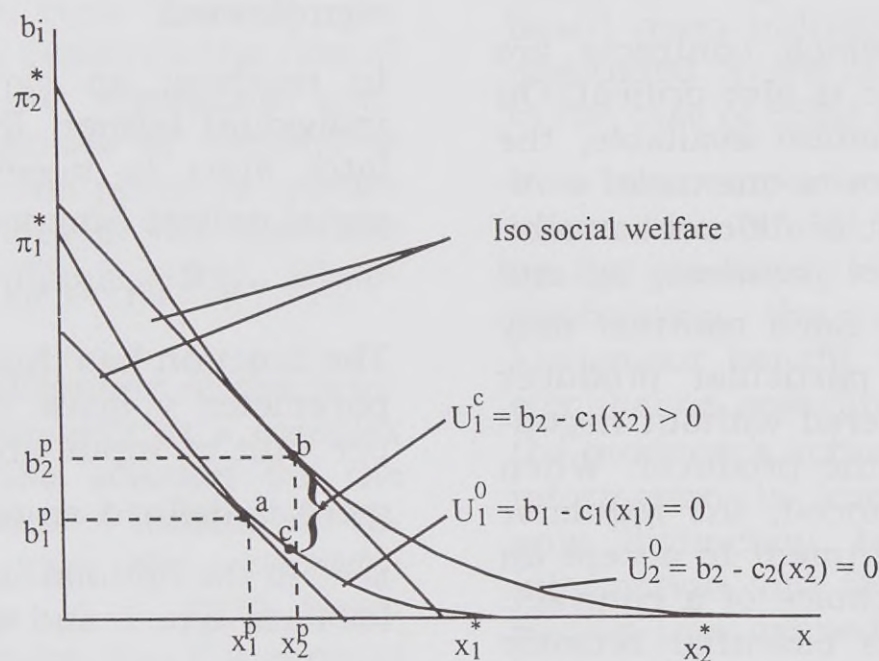


Figure 2: Optimal Contracts Under Perfect Information

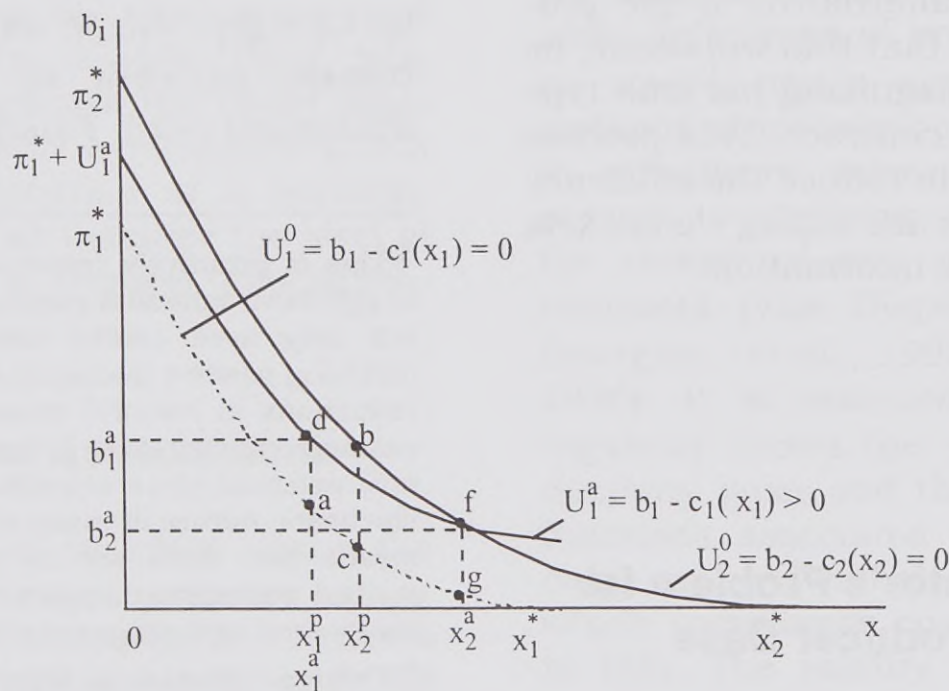


Figure 3: Optimal Contracts Under Asymmetric Information

is the cost of the transfer payment where e represents the shadow costs of public funds in terms of the distortionary effects of taxation, (Laffont and Tirole, 1993: p55).⁵ Note that if $e=0$ then b_i , as a transfer payment, drops out of the social net benefit function. The compliance cost term in the social welfare function, which should represent the resource costs of complying with regulation, may need to be adjusted to account for agricultural output and input subsidies.

At the farm level, the abatement cost function, $c_i(x_i)$, is defined as the difference between the unconstrained and the constrained profit function:

$$c_i(x_i) = \pi_i(p, w) - \pi_i(p, w, x_i) \quad x_i^{*,i} \geq x_i \quad (2)$$

The properties regarding the profit function are those of Chambers (1988, p124) namely, $\pi_i(p, w)$ is convex in output and input prices, p and w . The implications of defining farmer types in terms of efficiency in the single input/output case are illustrated in Figure 1. Note that the high profitability type, type 2, uses a higher input than the low profitability type, type 1. It is assumed that the production functions of the two farmer types differ only in their efficiency parameter, thus: $f_2(x) = \lambda f_1(x)$ where $\lambda > 1$ is a scale parameter.

2.2. First-Best Solution under perfect information

If the regulator were able to observe the farm's type, then the objective function (1) is maximised subject to the individual rationality constraints:

$$b^{p,i} - c_i(x^{p,i}) \geq U^{0,i} \quad i=1,2 \quad (3)$$

That is the utility earned from a contract must be greater than the farmer's reserve utility, $U^{0,i}$. In what follows it is assumed that $U^{0,i} = 0$. That is, farmers are willing to accept compensation which just covers their compliance cost. The terms $b^{p,i}$ and $x^{p,i}$ give the transfer and the input quota for the

first-best solution, where the superscript p indicates perfect information.

The optimal solution to (1) subject to (3) is

$$-(1+e)c'_i(x^{p,i}) = v \quad i=1,2 \quad (4)$$

the incentive compatibility constraints are binding $b_i = c_i(x_i)$; in other words there is no incentive for the regulator to give any rent away to the farmer. Thus in the first-best solution, the marginal social cost of abatement is equal to the marginal social benefit. The optimal contracts are defined by a transfer payment coupled with an input restriction, $\{b^{p,i}, x^{p,i}\}$. It follows immediately from (4) and the properties of the compliance cost function that $x^{p,2} > x^{p,1}$.

The optimal solution under perfect information is illustrated in Figure 2, in which the curves $U^{0,i} = 0$ correspond to the vertical displacement between the isoprofit lines $\pi_i(p, w)$ in Figure 1: the lines $U^{0,i} = 0$ represent indifference curves between transfer payments and the level of input quota. These indifference curves meet the vertical axis at the unconstrained profit level, $\pi_i^{*,i}$ and the horizontal axis at the optimal unconstrained input, $x_i^{*,i}$.

The regulator's objective function is represented by iso-social welfare lines. Interior equilibrium solutions can be identified at points of tangency between the iso-social welfare lines and the farmer's indifference curves. However, it should be pointed out that two types of corner point solutions may also occur: one where the abatement benefits are relatively high and one or both of farms are given a zero quota; the other where the abatement benefits are relatively low and one or both farms have a quota set at the unconstrained profit maximising input level.

2.3. Second-best Solution under Asymmetric Information

If the regulator is unable to observe the farmer's type directly there is an incentive for the low profitability farmer to declare himself as the high profitability

⁵Evidence from Alston and Hurd (1990) indicates values of e for the USA vary between 0.2 and 0.5.

type. This is illustrated in Figure 2, where the distance « bc » represents a positive rent, $U^{c,1}$, to the low profitability farmer who receives the higher compensation payment, $b^{p,2}$ and an increased input quota, $x^{p,2}$, thereby accruing a rent:

$$U^{c,1} = b^{p,2} - c_1(x^{p,2}) > b^{p,1} - c_1(x^{p,1}) = 0 \quad (5)$$

This is costly to the regulator because overall abatement is reduced, yet the transfer payment outlay is increased.

If the regulator has a subjective prior probability for the two farmer types within the target group and is able to observe the farmer's actions *ex post* then the regulator's expected social welfare is given by:

$$z = \gamma \{ v(x^{*,1} - x^{a,1}) + (b^{a,1} - c_1(x^{a,1})) - (1+e)b^{a,1} \} + (1-\gamma) \{ v(x^{*,2} - x^{a,2}) + (b^{a,2} - c_2(x^{a,2})) - (1+e)b^{a,2} \} \quad (6)$$

where γ gives the probability of the farm being low profitability, that is of type 1 and superscript a indicates asymmetric information. Given the assumed shape of the profit function, and therefore of the compliance cost functions, a unique separating solution exists. This is ensured by the incentive compatibility constraints which remove the incentive for one type of farmer to declare himself untruthfully to be another type of farmer:

Incentive Compatibility 1:

$$b^{a,1} - c_1(x^{a,1}) \geq b^{a,2} - c_1(x^{a,2}) \quad (7a)$$

Incentive Compatibility 2:

$$b^{a,2} - c_2(x^{a,2}) \geq b^{a,1} - c_2(x^{a,1}) \quad (7b)$$

In addition the individual rationality constraints still apply where the farmer must at least be compensated for his reduction in profit.

Individual Rationality 1:

$$b^{a,1} - c_1(x^{a,1}) \geq 0 \quad (8a)$$

Individual Rationality 2:

$$b^{a,2} - c_2(x^{a,2}) \geq 0 \quad (8b)$$

By optimising (6) subject to constraints (7) and (8) we obtain the first-order conditions for a second-best solution:

$$-(1+e)c_1'(x^{a,1}) = v \quad (9)$$

In other words, the solution requires the low profitability type to abate optimally. The case with the high profitability type is more complex since the first order conditions lead to

$$\begin{aligned} -(1+e)c_2'(x^{a,2}) &= v + \{ EQ \setminus f(\gamma, 1-\gamma) \} \\ e[c_2'(x^{a,2}) - c_1'(x^{a,2})] &< v \end{aligned} \quad (10)$$

since $c_2'(x^{a,2}) - c_1'(x^{a,2}) < 0$. From (4), (9) and (10) it follows that $x^{a,1} = x^{p,1}$, $x^{a,2} > x^{p,2}$ and $x^{a,2} > x^{a,1}$.

The solution is represented in Figure 3 which should be considered in conjunction with Figure 2. The first-best solutions, at point « a » for type 1 and point « b » for type 2, are not feasible due to the rental gain « bc » derived by the low profitability farmer ($i=1$) declaring himself to be high profitability ($i=2$). The second-best solution is found by increasing the quota to the high profitability farmer up to $x^{a,2}$ whilst increasing the transfer payment to the low profitability farmer by « ad ». This optimal solution under asymmetric information is one which ensures the low profitability farmer to be indifferent between telling the truth and cheating. From Figure 3 the optimal contract for the high profitability farmer is at « f » and for the low profitability farmer at « d » where the low profitability farmer retains a rent represented by « ad ». The point « f » is where the incentive compatibility constraint for the low profitability farmer crosses the individual rationality constraint for the high profitability farmer. This illustrates the single-crossing property, where indifference curves only cross once. The single-crossing property is ensured by the fact that $c_2'(x) - c_1'(x) < 0 \forall x$.

3. Results

3.1. A simulation example

To illustrate numerically the potential for reducing producer rents by using agency theory in the design of contracts, a simple simulation example is offered here. The example considers two producers facing a single input, single output cobb-douglas production function, $q_i = A_i x^\beta$. The producers are differentiated in terms of productivity (A_i) by the quality of land that they farm: the producer on the better quality land ($i=2$) is more productive in that, for a given level of input and output prices, he uses more of the input (x_i) and produces more output (q_i) than the producer on the poorer quality land ($i=1$). The input (x) could be characterised as, for example, number of sheep or cattle, form of grass conservation, or quantity of nitrogen fertiliser applied - all of which are specified in one or more agri-environment schemes. For the purposes of this example, quantity of nitrogen fertiliser applied will be used.

3.2. NSAs

NSAs are a policy response to concerns over the levels of agricultural nitrate pollution in water. Concern arises partly because of human-health worries over drinking water, but also partly because of environmental concern over ecological damage, particularly through eutrophication. Although a pilot scheme of 10 NSAs existed in 1990, 32 NSAs are now administered by MAFF in England under regulation 2078/92 (MAFF, 1995). Producers farming within the 35,000 hectares (ha) of land designated as NSA, are eligible to enter into five-year contracts designed to reduce the degree of nitrate leaching from their land. Essentially, three forms of contract exist: one concerns the conversion of arable land to grassland, the other two concern reductions in intensity of nitrogen usage on grassland and arable land. In these latter cases, the contracts specify limits to the quantities of nitrogen fertiliser that can be applied. These limits are

standard across all participating farms within an NSA and are set below application levels considered to be privately optimal according to « good agricultural practice ».⁶ If farmers adhere to these limits, they receive standard compensatory payments per hectare. This use of standard limits (i.e. quotas) and payments disregards heterogeneity in the farm population, thereby offering a convenient example for the application of agency theory .

3.3. Land quality and yield data

For the purposes of this simulation example, data on land quality and yields are taken from previously published work by the authors on the estimated distribution of land classes and associated cropY yields under different levels of fertiliser application within the catchment of the River Tyne in northern England (Allanson *et al.*, 1993; Moxey & White, 1994; Moxey *et al.*, 1995b). Table 1 below reports estimated yields for winter wheat under four different fertiliser application levels on low and high productivity land.

	Nitrogen Kg/ha			
Land Class	50	100	150	200
Low	3.53	4.68	5.34	5.54
High	4.43	5.88	6.88	7.23

Table 1: Estimated Winter Wheat Yield (tonnes/ha) by Land Class

These yield data were used to estimate the following (linearised) cobb-douglas production (or nitrogen response) function for use in the simulation:

$$\log \text{yield} = -0.100 + 0.244DA_h + 0.350 \log(x)$$
$$R_{adj} = 98.0$$

where x is the nitrogen input in kg/ha and DA_h is a dummy variable for high productivity land. This production function was used to simulate three

⁶ A separate scheme of larger Nitrate Vulnerable Zones (NVZs) exists under the EC Nitrate Directive (91/676/EEC). Under this scheme, farmers are required to adhere to good agricultural practice, and receive no compensatory payments.

Parameter:	Symbol:	Value:
Marginal benefit of abatement	v	1.1
Shadow value of public funds	e	0.1
Land productivity Parameter:		
Low productivity land	A ₁	0.905
High productivity land	A ₂	1.155
Production function 'slope'		0.350
Output price	p	100
Input price	w	1.4
Profit maximising Input:		
Low productivity land	x ^{*,1}	121.30
High productivity land	x ^{*,2}	176.56
Probability of type i=1		0.5

Table 2: Simulation Parameters

Scenarios	Input Quotas:		Transfer Payment:		Rent:	
	x ₁	x ₂	b ₁	b ₂	U ₁	U ₂
1. First - best Perfect Information	52.93	77.05	26.51	38.59	0	0
2. Asymmetric Information: - 'cheating'	77.05	77.05	38.59	38.59	29.28	0
3. Second-best Asymmetric Information: - truth- telling	52.93	79.39	54.59	36.30	28.07	0

Table 3: Numerical Solution for the Two Producer Type

policy scenarios: the perfect information case where the policy maker can tailor contracts precisely; the asymmetric information with « cheating » case where a farmer can opt for a contract designed for another farm type; and the asymmetric information case with « truth-telling » where the incentive for cheating has been removed through redesign of the contracts. In all cases, the contract design involves an input quota on the amount of fertiliser that can be applied and a transfer payment as compensation for the profit foregone by adhering to this restrictive quota. Parameter values used for the simulations are reported in Table 2, with the results presented in Table 3. Reference to Figs. 2 and 3 may assist interpretation of the results.

3.4. Simulation results

The solution under perfect information, where the policy maker knows each farm's type and therefore compliance cost, is a first-best solution. The transfer payments exactly compensate each farmer for the profit foregone through adherence to the restrictive input quota: neither farmer earns any rent. This is the benchmark against which the other two scenario results should be compared.

The solution under asymmetric information with cheating reveals one change. Whilst the high profitability farmer on productive land ($i=2$) continues to earn zero rent, the low profitability farmer on unproductive land ($i=1$) has gained a positive rent by opting for the same contract as the productive farmer, thereby receiving a higher transfer payment and a higher input quota. This scenario can also be interpreted as an outcome of a single, undifferentiated payment mechanism. The farmer on unproductive land ($i=1$) is able to earn the positive rent because the policy maker can not observe the true farm type.

The solution under asymmetric information with truth-telling demonstrates the impact of redesigning the contract. Here, the input quota to the high profitability farmer on productive land ($i=2$)

has been increased, although remaining well below the profit-maximising input usage reported in Table 2. Concomitantly the associated transfer payment has been reduced, to reflect the lower profits foregone. This has the effect of removing any incentive for the low profitability farmer on unproductive land ($i=1$) to cheat. In terms of reductions in over-compensation, this solution is superior to the situation under asymmetric information with cheating, but is second-best compared to the perfect information case.

4. Discussion

4.1. Gains from Agency Theory

Advances in agency theory have led to an emerging research agenda in the field of contract design for public procurement in the face of information asymmetries. This has been driven by theoretical developments in game theory, but also by the political drive for privatisation and market testing of public services during the 1980s and 1990s. The attraction of agency theory lies in its potential to replace a standardised payment mechanism with a menu of contracts such that the rents earned by producers are reduced, without recourse to expensively negotiated individual agreements. If the shadow-price of exchequer funds is greater than one, such contract differentiation offers the possibility of improved efficiency in the procurement of public goods under taxpayer funded schemes and has been applied with some success in the defence and energy sectors.

Potentially, the application of agency theory to the procurement of public goods in the agricultural sector also offers significant efficiency gains. The sector is characterised by considerable heterogeneity in the costs of complying with policy restrictions. Consequently, standardised payment mechanisms can lead to significant rents accruing across the farm population. Although policy makers may be aware of this heterogeneity, individual farm costs of compliance are, however, typically unknown.

This means that reducing aggregate rents by tailoring contracts to different farm types is hindered by the possibility of farmers declaring themselves to be of a type (e.g. high cost of compliance) different to their true type (e.g. low cost of compliance) in order to continue receiving rent. Agency theory can assist here by designing contracts such that the incentive for farmers to cheat in this manner is reduced.

This paper has explored the potential gains from employing agency theory in this manner through a simple model applied to the procurement of an environmental good in the agricultural sector. Although the empirical focus was on the abatement of nitrate pollution through restrictions on the use of nitrogen fertiliser, the results are interpretable in broader terms for a range of agri-environment schemes and serve to highlight the potential gains of employing agency theory: whilst the solution under asymmetric information can only be second-best relative to that achievable under perfect information, contracts designed with the aid of agency theory can reduce the rents earned relative to those earned under undifferentiated contracts. It should be noted, however, that any immediate, direct policy application is hindered by both data constraints and the need for further theoretical model extensions, as discussed briefly below.

4.2. Data constraints

G.A. Carlson *et al.* (1983: p3) note that « The ability of economists to improve both understanding and the practical management of the natural resource base rests on....an adequate data base... ». Unfortunately, extant databases rarely conform to theoretical ideals, particularly in the environmental sector where data have not been collected routinely (Magnuson, 1990). Thus, in the context of this paper, observed nitrate emissions from individual farms are virtually non-existent⁷ whilst knowledge of the shape of the

⁷Although the pilot NSAs were subject to an intensive monitoring programme.

distribution of compliance costs across farms is rather vague. This paucity of agri-environmental data weakens the applicability of agency theory. Either: resources have to be devoted to compiling baseline data, thereby reducing the cost savings offered by the « arms-length » approach; or recourse has to be made to some, inevitably less accurate, proxy measures or indicators. Currently, the latter are gaining in popularity with policy makers across a range of sectors including agriculture and the environment (e.g. OECD, 1997).

For compliance costs, such indicators might reasonably take the form of known farm types and/or location. That is, various farm typologies and sources of farm enterprise profitability data do exist within the UK, at both national and regional levels (e.g. Nix, 1997; SAC, 1997; Challinor & Scott, 1997) and could be used to estimate the probability of a given farm having a high or low cost of compliance.⁸ Estimates for nitrate emissions might be based on a formal bio-physical model requiring detailed site information such as soils and topography (as in this paper), or more simply derived using a « rule-of-thumb » based on observed land use, perhaps from remote sensing or farm records⁹, and extant spatial datasets mapping susceptibility to leaching (Cook & Norman, 1996). Arguably, current policies already employ (albeit weakly) the latter approach in the areal designation of NSAs.

4.3. Model extensions

Notwithstanding data constraints on the current model form, several theoretical extensions also need to be made. In particular, four areas of investigation may be identified. First, although the

⁸ Indeed, the authors are currently exploring the potential for using routinely collected annual Farm Business Survey Data collected by the UK's Ministry of Agriculture, Fisheries and Food to estimate compliance costs for different farm types.

⁹ Land use data supplied under the Integrated Administration and Control System operated in conjunction with current elements of the Common Agricultural Policy is already used to monitor agri-environmental schemes (EC, 1996).

two-type case serves to illustrate the principles, it needs to be extended to consider the continuum of producer types more typically observed in the real world (White & Ozanne, 1997). Second, the production function also needs to be extended to the multi-input, multi-output technology more realistic of agricultural production. This will entail consideration of functional forms more complex than the simple cobb-douglas production function presented in this paper.

Third, and perhaps more problematically, environmental damage needs to be incorporated more explicitly into the model. Whilst heterogeneity in costs of compliance has been addressed as a means of reducing excessive transfer payments, policy makers are (presumably) also interested in environmental benefits achieved. That is, there is a tradeoff between payment levels and, in this case, reductions in nitrate pollution: zero payments would be required if zero abatement was an acceptable outcome. Unfortunately, incorporating an environmental damage function into the model is a non-trivial exercise. Heterogeneity of environmental conditions, such as soils and topography, mean that on-site environmental damage varies between farms undertaking similar management actions, whilst connectivity (e.g. streams) between sites means that environmental damage at a given site is partially conditional upon management actions off-site (Moxey & White, 1994). Yet scientific understanding of these relationships remains incomplete (Jakeman *et al.*, 1995). Thus, whilst the use of an identical damage function for both farm types in this paper is clearly unrealistic, obvious alternative formulations are not readily apparent: there is a continuing need for scientific research into environmental linkages and damage functions, and dialogue with economists and policy makers to inform contract design.

On a different note, further consideration also needs to be given to the transaction costs embodied in the design and redesign of contracts. Although the simulation example presented here demonstrates that rents vary under different policy scenarios, the adminis-

trative costs of implementing, monitoring and enforcing the different contracts are not examined. It may be that variation in these costs outweighs variation in the rents paid under the different scenarios. Unfortunately, empirical data to explore this possibility are scarce. Thus, fourth, further exploration of administrative and other transaction costs of different contracts is highly desirable (Falconer & Whitby, 1997).

5. Conclusions

Given heterogeneity in the farm population and policy makers' lack of information about individual farms, the voluntary basis of many agri-environmental schemes poses a problem for the efficient procurement of environmental goods. The appeal of applying agency theory to this problem is that it offers an « arms-length » approach that potentially avoids some administrative costs and unnecessary transfer payments by enticing « truth telling » behaviour. Although the simple results presented here are merely illustrative of potential gains that could be reaped, and are subject to data and conceptual limitations, further research is merited by the increasing integration of environmental and agricultural policies and the attendant increase in public expenditure on agri-environment schemes.

Acknowledgements

The authors acknowledge the valuable comments of Adam Ozanne, the editors and two anonymous referees on an earlier version of this paper, and the assistance of Angela Tregear who translated the abstract into French. Responsibility for any errors rests with the authors.

References

- Allanson, P., Moxey, A. P. & White, B.**, 1993. Measuring Agricultural Non-Point Pollution for River Catchment Planning. *Journal of Environmental Management*, 38: 219-232.
- Alston, J. & Hurd, B.H.**, 1990. Some Neglected Social Costs of Government Spending in Farm Programs. *American Journal of Agricultural Economics*, 72: 149-156.
- Bourgeon, J.-M., Jayet, P.-A. & Picard, P.**, 1992. An incentive approach to land set-aside programs. *European Economic Review*, 39: 1478-1509.
- Carlson, G.A., Zilberman, D. & Miranowski, J.A.** Eds, 1993. *Agricultural and environmental resource economics*. Oxford, Oxford University Press, 528pp.
- Challinor, S. & Scott, C.** 1997. *Farming in Northern England 1995/6*. Farm Business Survey, Department of Agricultural Economics and Food Marketing, University of Newcastle upon Tyne, 57pp.
- Chambers, R.G.**, 1988. *Applied Production Analysis: A Dual Approach*, Cambridge University Press, 331 pp.
- Colman, D.**, 1994. Comparative Evaluation of Environmental Policies: ESAs in a Policy Context. In M. Whitby (editor), *Incentives for Countryside Management: The Case of Environmentally Sensitive Areas*, Wallingford, CAB International, pp. 219-252.
- Colman, D.**, 1997. Criteria for optimal agri-environmental policy choice. Paper presented to the one day AES Conference on 'Designing agri-environmental policy mechanisms: theory and practice', December 1997, The Royal Society, 6 Carlton House Terrace, London SW1.
- Cook, H.F. & Norman, C.** 1996. Targeting agri-environmental policy, *Land Use Policy*, 13:217-218.
- Cox, G., Lowe, P. & Winter, M.**, 1990. *The voluntary principle in conservation*. Packard, Chichester, 205 pp.
- Dasgupta, P.S., P.J. Hammond, and E.S.Maskin.**, 1979. The Implementation of Social Rules: Some Results on Incentive Compatibility, *Review of Economic Studies*, 46: 185-216.
- EC.** 1992. Council Regulation (EEC) No 2078 on agricultural production methods compatible with the requirements of the protection of the environment and the maintenance of the countryside ('The Agri-Environment Regulation'), *Official Journal of the European Communities* L215/85
- EC.** 1996. Council Regulation (EEC) 746/96 laying down the detailed rules for the application of 2078/92, *Official Journal of the European Communities* L102/96
- EC.** 1997. CAP Working Notes, Special Issue: Agriculture and Environment. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 52 p.
- Falconer, K. & Whitby, M.** 1997. Disaggregating transaction costs for countryside stewardship policies: the case of Environmentally Sensitive Areas. Paper presented to the one day AES Conference on 'Designing agri-environmental policy mechanisms: theory and practice', December 1997, The Royal Society, 6 Carlton House Terrace, London SW1.
- Fudenberg, D. and Tirole, J.**, 1991. *Game Theory*, Cambridge Mass: MIT Press, 579 pp.
- Jakeman, A.J., Beck, M.B. & McAleer, M.J.** Eds, 1995. *Modelling change in environmental systems*. Chichester, John Wiley & Sons, 584pp.
- Laffont, J.-J. and J. Tirole.**, 1993. *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 705 pp.
- Latacz-Lohmann, U. and Van der Hamsvoort, C.**, 1997. Auctioning Conservation Contracts: A Theoretical Analysis and Application, *American Journal of Agricultural Economics*, 79: 407-418.
- Magnuson, J.J.** 1990. Long-term ecological research and the invisible present, *Bio-science*, 40/7, 495-501.
- MAFF.** 1995. William Waldegrave Re-Launches the Pilot Nitrate Sensitive Areas Scheme, *News Release 246/95 of 3 July 1995*, London, Whitehall Place: MAFF.
- Mas-Colell, A.; Whinston, M.D. and Green, J.R.** 1995. *Microeconomic Theory*. Oxford University Press, 981pp
- Moxey, A. P. & White, B.**, 1994. Efficient Compliance with Agricultural Nitrate Pollution Standards, *Journal of Agricultural Economics*, 45: 27-37

- Moxey, A.P., White, B., Sanderson, R.A., & Rushton, S.P.** 1995a. An approach to linking an ecological vegetation model to an agricultural economic model. *Journal of Agricultural Economics*, 46, 381-397.
- Moxey, A., White, B. & O'Callaghan, J. R.**, 1995b. The Economic Component of NELUP, *Journal of Environmental Planning and Management*, 38: 21-34
- Myerson, R.B.** 1979. Incentive Compatibility and the Bargaining Problem, *Econometrica*, 47: 61-74.
- OECD** 1997. Environmental Indicators for Agriculture Paris, OECD, 64pp.
- Nix, J.** 1997 Farm Management Pocketbook. 28th Edition Wye: Wye College, 220pp.
- Reichelstein, S.** 1992. Constructing Incentive Schemes for Government Contracts : An Application of Agency Theory. *The Accounting Review*, 67: 712-731.
- SAC** 1997. *Farm Management Handbook 18th Edition* Edinburgh: Scottish Agricultural Colleges, 524pp.
- Spulber, D.F.** 1988. Optimal Environmental Regulation under Asymmetric Information. *Journal of Public Economics*, 23: 163-181.
- Umstätter, J. & Dabbert, S., (Eds)** 1996. *Policies for Landscape & Nature Conservation in Europe, An inventory to accompany the workshop on 'Landscape & Nature Conservation' held on 26th-29th September, 1996 at the University of Hohenheim, Germany. Department of Farm Management, University of Hohenheim.*
- Van Diepen, C.A., Van Keulen, H., Wolf, J. & Berkhout, J.A.A.**, 1991. Land evaluation: from intuition to quantification, *Advances in Soil Science* 15: 140-204.
- Webster, S. & Felton, M.** 1993. Targeting for nature conservation in agricultural policy, *Land Use Policy*, 10: 67-82.
- Weaver, R., Harper, J. & Gillmeister, W.**, 1996. Efficacy of Standards vs. Incentives for Managing the Environmental Impacts of Agriculture, *Journal of Environmental Management*, 46: 173-188.
- White, B. & Ozanne, A.**, 1997. Asymmetric Information and Agri-Environmental Policy, Discussion paper presented at the annual conference of the Agricultural Economics society, 21st - 23rd March, 1997, Edinburgh University.
- Wolfson, M.**, 1985. Empirical Evidence of Incentive Problems and their Mitigation in oil and gas tax shelter programs. In *Asymmetric Information, the Agency Problem and Modern Business*, Cambridge, MA: Harvard Business Press.
- Wu, J.J. and B.A. Babcock.**, 1996. Contract Design for the Purchase of Environmental Goods from Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 78: 935-954.

Les formes d'incitation dans les contrats agri-environnementaux

Elisabeth THANNBERGER-GAILLARDE*
Michel TROMMETTER

* INRA- SAD, Ecod  veloppement, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, F- 84914 Avignon cedex 9,
Tél. : (+33) 04.90.31.62.86 - Fax : (+33) 04.90.31.62.49 -E-mail : Elisabeth.Thannberger@avignon.inra.fr

Résumé

Les réformes de fond destinées à améliorer l'environnement économique et naturel des régions intègrent des objectifs variés et nécessitent une coordination des acteurs dont les logiques de comportement ne sont pas seulement marchandes. Ainsi, la définition de nouveaux contrats passés entre les agriculteurs et l'Etat conduit à l'expérimentation de nouvelles pratiques et à la reconnaissance de nouvelles fonctions pour l'agriculture. Le contrat peut donc être analysé comme un problème d'incitation par les pouvoirs publics, sur un territoire désigné comme prioritaire, pour que les agriculteurs y adoptent des pratiques favorables à l'environnement. Comment s'opère l'élaboration du processus incitatif à un tel changement de pratiques ? Notre hypothèse est que les incitations monétaires, censées compenser les pertes de revenus et les surcoûts liés au suivi du contrat ne sont pas suffisantes. Dans cet article, nous étudions la mise en œuvre des contrats agri-environnementaux à la lumière de l'économie des conventions et de la théorie de l'agence. Nous soulignons la complémentarité des deux approches théoriques retenues dans l'analyse de la définition du contrat. En effet, le modèle Principal / Agents permet de résoudre une asymétrie informationnelle existant entre les deux parties, grâce à la mise en place d'un mécanisme incitatif *via* le contrat. Il demeure cependant une incertitude sur la réaction des agents en raison du nombre de facteurs en jeu et des différences interindividuelles dans la façon de qualifier l'incitation elle-même. L'  conomie des conventions propose un cadre permettant de traiter ces facteurs, en s'intéressant à la nature de l'information véhiculée par le contrat. Deux exemples relevant d'opérations locales étayent notre analyse : l'un ayant un objectif de défense des forêts contre les incendies (Cévennes), l'autre un objectif de protection d'un biotope (steppe de la Crau).

Mots-clés : Contrats, incitations, mesures agri-environnementales, protection de l'environnement, comportement des agriculteurs

Abstract

The different forms of incentives in agri-environmental contracts. *The in-depth reforms that are being introduced to improve the natural and economic environment of French regions incorporate different objectives. They also require the coordination of a series of actors whose behavioural logic is not exclusively a commercial one. Thus, the definition of new contracts between the farmers and the State lead to experimenting new practices and to the recognition of new functions for agriculture. The contract may be viewed as an incentive mechanism set up by the public authorities to encourage farmers on a designated priority area to adopt environment-friendly practices. We investigated the implementation of agri-environmental contracts using the theory of Convention Economy and Agency theory. We show the complementarity between the two theoretical approaches for the definition of contracts. With the Principal / Agents model, the asymmetry of information between the two parties can be overcome. There remains, however, an uncertainty regarding the responses of agents, due to the fact that several factors are involved in changing their response. The French School of Conventions proposes a framework to analyse these factors which considers the nature of the information conveyed by the contract. Our analysis is illustrated by two examples: one concerns a local programme of Forest Fire Prevention in the Cévennes hills and the other the protection of a biotope, the Crau steppe in the Rhône delta.*

Keywords: contracts, incentives, agri-environmental measures, environmental protection, farmer behaviour.

Introduction

Les réformes de fond destinées à améliorer l'environnement économique et naturel des régions intègrent des objectifs variés et nécessitent une coordination des acteurs dont les logiques de comportement ne sont pas seulement marchandes. La publication du « Livre Vert » de la CEE en 1985 marque ainsi un tournant dans l'application de mesures spécifiques, liées à un contexte local particulier. Il pose les bases d'une réflexion en vue d'expérimenter d'autres modes de gestion mieux adaptés aux nouveaux défis du secteur agricole, notamment celui de la protection de l'environnement, qui reposent sur la définition de contrats passés entre les agriculteurs et l'Etat. Les dispositions prévues sont facultatives pour les agriculteurs et n'ont eu qu'un impact relativement restreint jusqu'à la Réforme de 1992. Ces contrats sont mis en œuvre en France dans le cadre d'opérations locales¹. Les agriculteurs s'engagent pour une durée d'au moins cinq ans à suivre certaines pratiques stipulées par un cahier des charges, sur des parcelles spécifiées, en échange d'une prime dont le montant a été localement fixé en fonction de l'exigence du contrat. Comment les pouvoirs publics peuvent-ils faire pour élaborer un mécanisme incitatif à la participation des agriculteurs ? Dans le cadre des contrats agri-environnementaux, l'objectif du contrat – la protection de la qualité de l'environnement – est défini à l'extérieur de l'exploitation agricole et il est localisé. La participation de l'agriculteur exerçant dans la zone sélectionnée, est considérée comme nécessaire par les pouvoirs publics. En outre, pour atteindre l'objectif environnemental, il faut que le nombre d'agriculteurs participants soit localement suffisant. Ce sont toutes ces spécificités du contrat dont nous cherchons à rendre compte pour expliquer comment s'opère la construction du mécanisme incitatif. Nous ne limitons

pas l'incitation à ses caractéristiques monétaires.

Notre objectif est donc de montrer comment s'opère la définition du contrat agri-environnemental, à travers la construction du mécanisme incitatif adéquat (prime) et la détermination d'autres modalités du contrat tels que le cahier des charges ou le zonage. Nous avons choisi d'identifier les caractéristiques du contrat et de les analyser à partir de l'étude de la mise en œuvre d'opérations locales à finalités différentes : l'une à finalité de Défense des Forêts Contre les Incendies (DFCI) dans les Cévennes gardoises et l'autre à finalité de protection d'un biotope dans la steppe de la Crau. Après avoir exposé les principes qui sous-tendent notre approche du mécanisme incitatif (1), nous présentons ce mécanisme et la façon dont il est qualifié par les deux parties (2). Puis nous étudions le modèle de comportement des agents face à ce mécanisme : son élaboration est effectuée dans un contexte d'asymétrie d'information entre les parties (3). Nous verrons que l'incitation prend des formes multiples et ne résout pas complètement ce problème d'asymétrie. Par conséquent, les contractants mettent en place des dispositifs permettant d'acquérir de l'information au cours du déroulement du contrat (apprentissage), et d'utiliser cette information pour limiter certains risques (flexibilité dans l'élaboration du contrat et incomplétude pour prendre en considération ces améliorations) (4).

1. Mesures agri-environnementales et incitations : quelles approches théoriques ?

Dans le contexte des mesures agri-environnementales, on est confronté à différents acteurs dont les objectifs ne sont pas convergents et qui sont soumis à des incertitudes. En effet, les agriculteurs ont un objectif de production (pas nécessairement strictement agricole) et de maximisation de leur fonction d'utilité ; l'objectif des pouvoirs publics

¹ Les opérations locales, qui constituent une des modalités d'application française du règlement communautaire n° 2078/92, reprennent les mesures relevant de la mise en œuvre de l'article 19 du règlement communautaire n° 797/85.

est de modifier les modes de production de ces agriculteurs pour qu'ils intègrent mieux l'environnement. Pour ces raisons, l'approche que nous retenons ici, est la théorie Principal / Agent qui appréhende les relations entre acteurs en situation d'asymétrie d'information. Dans le cas des mesures agri-environnementales, on observe cette asymétrie à titre d'exemple du fait que l'agent (en l'occurrence l'agriculteur) sait mieux que le principal (ici, les pouvoirs publics) les pratiques qu'il est capable de mettre en œuvre.

Dans le cas où l'action de l'agent est observable par le principal, on peut mettre en place un système de compensation des surcoûts induits par la réalisation par l'agent de cette action. En revanche, dans le cas où le principal ne peut observer que le résultat de l'action et non les moyens mis en œuvre pour y parvenir, il ne peut fixer le niveau d'une compensation financière à la poursuite de cette action. Il doit alors mettre en place un autre mécanisme, l'incitation. C'est donc l'asymétrie d'information qui justifie la mise en place d'une incitation, qui doit amener les agriculteurs à faire évoluer leurs pratiques vers des modalités plus favorables à l'environnement, souhait du principal.

La décision d'un agriculteur d'accepter un contrat tient à des caractéristiques de comportement (attitude face au risque, opportunisme, etc.) liées au contexte dans lequel il se situe (contraintes de l'exploitation, informations, anticipation du futur, etc.). Cette hétérogénéité des agriculteurs conduit à des niveaux de participation variables (Richard & Trommetter, 1995). Comme nous le verrons, la complexité de ce problème nécessite une approche à plusieurs périodes, indispensable pour analyser les interactions dynamiques entre les différents acteurs, et donc une approche dynamique *via* les modèles séquentiels de décision². L'approche Principal-Agent

permet d'identifier le seuil monétaire d'acceptabilité de l'incitation par les agents. En outre, nous avons jugé nécessaire d'analyser l'acceptabilité économique, sociale et technique de cette incitation. Ainsi, nous avons mobilisé le cadre des Economies de la Grandeur (Boltanski & Thévenot, 1991) qui se propose d'analyser, dans un cadre commun, des justifications de natures diverses de l'action des individus, qui relèvent d'autant de grandeurs différentes, ces justifications expliquant l'acceptabilité de cette incitation.

Pour ce deuxième cadre d'analyse, l'action des individus peut être interprétée à travers la qualification des objets qui y sont engagés. Notre travail a reposé sur l'identification de ces objets par interviews d'exploitants contractant dans le cadre d'opérations locales à objectif de Défense des Forêts Contre les Incendies dans les Cévennes gardoises et à objectif de protection d'un biotope dans la steppe de la Crau, dans les Bouches-du-Rhône (Thannberger-Gaillarde, 1997). La façon dont ces objets sont engagés dans l'action se manifeste d'une part par la façon qu'a l'enquêteur de les qualifier, et d'autre part dans la nature de la relation qui lie ces différents objets aux personnes en présence.

L'interview est complétée par l'observation du territoire géré par l'exploitant, et par l'analyse des documents comptables et technico-économiques disponibles concernant chaque exploitation. Le recours au cadre des Economies de la Grandeur permet de prendre en considération différentes facettes du mécanisme incitatif et ainsi de qualifier cette incitation. En effet, à titre d'exemple, l'incitation est, aux yeux du modélisateur, conçue pour assurer l'efficacité du dispositif contractuel, c'est à dire dans une perspective que nous qualifions d'industrielle. L'approche conventionnaliste se situe donc en complément du modèle Principal-Agent³.

² Pour intégrer cette dynamique, dans l'analyse standard de l'incitation, on dynamise le modèle Principal / Agent en répétant n fois le même jeu ce qui ramène le jeu soit à une solution triviale soit à un modèle avec sélection adverse (Guesnerie & Laffont 1984, Amigues 1993). La séquentialité permet en revanche d'intégrer, dans une approche de type Principal / Agents, des possibi-

lités d'apprentissage (information croissante et réduction des incertitudes au cours du temps) et de prendre en compte le niveau d'irréversibilité des différentes options.

³ L'incertitude, l'information croissante, la séquentialité, permettent en outre de se rapprocher d'une hypothèse de rationalité compatible avec

2. Le mécanisme incitatif que proposent les pouvoirs publics et la réaction des agriculteurs : la qualification de l'incitation

Les pouvoirs publics cherchent à atteindre un objectif environnemental au meilleur coût sous contrainte budgétaire : par exemple, la protection du massif cévenol avec une enveloppe budgétaire de 1,2 M.F. annuelle pour 5 ans. Par conséquent, le contrat va porter sur la définition de pratiques susceptibles d'être efficaces relativement à l'objectif environnemental. La prime doit inciter au suivi de ces pratiques, tout en tenant compte de cette contrainte et des anticipations des pouvoirs publics sur le nombre d'agriculteurs adhérant à la mesure. La définition du cahier des charges participe à cette anticipation : ainsi, Bonniex & Rainelli (1994), dans une étude sur le marais du Cotentin, ont noté que près de 80 % des causes de refus d'adhérer à une mesure étaient liées à la date de la fauche stipulée au cahier des charges, le montant de la prime n'étant signalé que par 35 % des non contractants. Par conséquent, afin de concevoir le mécanisme incitatif, il est nécessaire qu'il prenne en compte d'autres dimensions, telles que le fait que la participation de l'agriculteur au contrat agri-environnemental relève plus ou moins pour lui de la définition d'une nouvelle fonction. Enfin, l'incitation porte bien sur la participation à une mesure collective, la protection de l'environnement.

2.1. Quelle prime ?

Tant en Cévennes qu'en Crau, il n'y a pas eu de calcul *ex ante* des surcoûts ou pertes de revenu susceptibles d'être supportés par les éleveurs du fait du suivi du cahier des charges du contrat.

celle adoptée par les Economies de la Grandeur (rationalité limitée).

Ce type de situation est loin d'être anecdotique et semble au contraire être dominant.

Dans les Cévennes, les organismes techniques participant au comité de pilotage de l'opération s'estimaient être dans l'incapacité de mesurer les pertes de profit liées au suivi du contrat. L'incapacité à prendre en compte tant la diversité locale que la situation personnelle des contractants a conduit à opter pour une standardisation du paiement : à l'intérieur de la fourchette arbitrairement délimitée par Bruxelles et Paris (initialement 100 à 1100 F/ha), une échelle de rémunération correspond à des gradations de contraintes du cahier des charges. Une batterie de facteurs de variation du niveau de la prime a été identifiée et stipulée au cahier des charges général de l'opération⁴. La prime est *a posteriori* justifiée par rapport aux pertes de revenu supportées par les éleveurs, notamment la charge de travail supplémentaire qu'induit l'utilisation des parcelles⁵.

En Crau, compte tenu d'une part du manque de connaissances sur le coût des pratiques, et d'autre part du fait que le contrat consiste en un maintien de ces pratiques et n'induit pas de surcoût, la prime à donner dans le cadre du contrat a fait l'objet d'un calcul particulier : le nombre d'hectares susceptibles de faire l'objet de la contractualisation a été anticipé (3.000 ha), ce qui donne, compte tenu de l'enveloppe allouée à l'opération (1,2 M.F.), une rémunération à l'hectare de 400 F.

⁴ Sont ainsi pris en considération pour les modalités de calcul de la prime :

le potentiel pastoral de la végétation présente, déterminée à la fois par la qualité de l'offre pastorale et de la dynamique d'embroussaillage du milieu, lui-même fonction de la dynamique de la végétation, de la consommabilité de la broussaille dominante, du mode de prélèvement de la ressource et de ses séquences d'utilisation ;
l'éloignement de la parcelle par rapport au siège de l'exploitation et son accessibilité ;
l'intérêt DFCI de la zone.

⁵ La prime crée un avantage comparatif pour les terres situées en zone de crête, qui bénéficient du plus fort financement ; cependant, compte tenu du manque de fluidité du marché foncier, il ne semble pas que cet avantage se soit traduit par une revalorisation du prix du foncier dans ces zones.

Comme en Cévennes, la prime est justifiée *ex post* relativement au manque à gagner des éleveurs et des exploitants. Ainsi, en Crau sèche, les éleveurs s'engagent à ne pas retourner le coussoul (steppe caillouteuse), ce qui en limite le rendement fourrager et par conséquent le cheptel qu'il peut supporter. « Le montant de l'aide est justifié par le niveau de contraintes imposées qui, en termes économiques, se traduisent par une réduction de la productivité liée à l'abandon de pratiques d'intensification consistant à semer [des ressources fourragères] permettant de porter la charge de 4 brebis à 20 brebis/ha » (Charbonnel & Guyonneau, 1995). Ce manque à gagner est estimé à 400 F/ha (marge brute de 150 F/ brebis ; coût des façons culturales : 2000 F/ha). Le calcul permet ainsi d'atteindre *ex post* le chiffre du montant de la prime allouée, mais n'a pas de sens au regard du fonctionnement des exploitations, puisqu'il n'est raisonné que relativement à la Crau sèche et non pas à la gestion globale des ressources sur toute la campagne.

Par conséquent, l'identification des surcoûts liés au respect du contrat étant le plus souvent difficile, il existe une incertitude pour les deux parties au contrat sur la justesse de cette compensation. L'existence des incertitudes sur les surcoûts induits par l'opération conduit à un calcul de la prime qui n'a pas de réelle pertinence économique ; elle est notamment indépendante du coût d'opportunité du respect des pratiques pour les éleveurs. Cela a des répercussions sur la façon dont les éleveurs percevront cette prime, de par son manque de lisibilité : de fait, elle apparaît comme une subvention⁶.

La perception de la prime est repérée par la façon dont elle est qualifiée par les éleveurs : le caractère marchand de la prime peut être repéré auprès d'eux, notamment parce que la prime est assimilée par certains éleveurs cévenols

au *paiement*⁷ de leur travail d'entretien. La prime est donc l'expression du *prix* qu'est prête à payer la collectivité (demande sociale médiatisée *via* les pouvoirs publics) pour le service d'entretien de l'espace. Le caractère marchand de cette prime peut ressortir du fait que la rente qu'elle confère à ses bénéficiaires conduit à l'émergence de nouvelles formes de *concurrence*. Ainsi, en Crau, la prime liée au contrat d'entretien, *inégalement répartie* entre éleveurs du fait des inégalités de maîtrise foncière, crée une *distorsion de concurrence* entre éleveurs, ceux en bénéficiant largement pouvant *baisser les prix des femelles de renouvellement* et *gagner des parts de marché*, cette baisse des prix étant *compensée* par la prime qu'ils reçoivent dans le cadre de la mesure agri-environnementale.

Mais la forme purement marchande de l'incitation est critiquée car la nouvelle forme de rémunération ne paraît pas légitime au regard des pratiques *traditionnelles* de rémunération par les prix de marché. A cette mise en question depuis le monde domestique, s'ajoute la grandeur civique qui met à l'épreuve la pertinence de la prime. L'éleveur est en effet conduit considérer que la prime traduit un échange entre lui et l'Etat : puisque la prime est versée par l'Etat, il *doit* en contrepartie *quelque chose à la société*.

Nous avons observé que pour une prime proposée, la réponse d'agriculteurs ayant des situations financières et techniques relativement proches, est très dispersée en termes de participation (nombre d'hectares soumis au contrat) : la prime n'est alors pas un indicateur suffisant de la participation contractuelle des agriculteurs. Celle-ci dépend aussi des différentes contraintes liées aux caractéristiques du contrat. Ces caractéristiques peuvent être appréciées comme étant autant de qualifications de l'incitation contractuelle.

⁶ Dans l'échantillon d'exploitants enquêtés, la prime est certes importante au regard du revenu (de l'ordre de 15 % en moyenne), mais faible relativement aux autres formes d'aide dont bénéficient les éleveurs (les primes contribuent en effet à 67 % du revenu en Cévennes et à 180 % en Crau).

⁷ En italique figurent des propos d'éleveurs tirés de nos entretiens.

2.2. Le cahier des charges : conception industrielle et/ou respect de pratiques traditionnelles

Le contrat consiste en un engagement de pratiques ou de résultat qui peut être atteint grâce à des recommandations techniques, dans la mesure où les connaissances scientifiques des processus à l'œuvre ne permettent souvent pas de prescrire des conduites techniques efficaces au regard d'un objectif déterminé (incertitude sur la faisabilité technologique).

Ainsi, dans les Cévennes, l'étude de la conception du cahier des charges - à partir de l'analyse des documents et entretiens avec les membres du comité de pilotage de cette opération - montre que l'incendie de forêt y est traité comme un fonctionnement physique, conduisant à une approche technologique de l'élaboration du cahier des charges. Celle-ci repose sur la connaissance de *cas types* définis sur la zone, c'est-à-dire sur des éleveurs qui servent de *modèle* ; les niveaux de contraintes sont définis en fonction de leur *aptitude technique* à y répondre, de leur *capacité de gestion* du territoire. Il s'agit donc d'une forme de *standardisation* des pratiques des éleveurs, l'établissement des prescriptions ayant pour enjeu d'assurer l'*efficacité* du contrat. La pertinence du cahier des charges est relevée du fait qu'il a servi de *modèle* ailleurs. Il constitue en un engagement de résultats, exprimé en *taux d'embroussaillage* ; il est assorti de recommandations pour l'atteindre qui relèvent du *conseil technique*. L'ensemble de ces attributs du cahier des charges montre que sa conception peut être qualifiée d'« industrielle ».

Ces recommandations peuvent être perçues par l'exploitant soit comme une contrainte, dans les cas où elles perturbent le calendrier de pâturage, augmentent le coût de l'alimentation du troupeau, requièrent un travail supplémentaire, soit comme une perte de maîtrise du processus de production (Thannberger, 1995).

Nous avons constaté aussi une certaine possibilité d'adaptation du contrat au projet de l'exploitant, ce qui traduit une relative souplesse de l'outil contrat. Ainsi, dans les Cévennes, le pâturage en parcs clôturés est recommandé afin d'exercer une pression de pâturage suffisante, mais n'est pas rendu obligatoire, ce qui permet de respecter la pratique traditionnelle de garde. Les prescriptions peuvent alors être critiquées depuis le monde domestique : ce qui est recommandé est considéré comme non adapté à la situation locale, contraire aux traditions : « *je suis pas partisan des clôtures, c'est pas la solution, pas ici, les bêtes ne seraient pas bien ; la garde : c'est une tradition* »

En outre, la mise en forme des pratiques traditionnelles peut elle-même conduire à une critique : c'est le décalage, plusieurs fois évoqué par des éleveurs, entre la réalité et « *ce qui est mis sur le papier* » qui est dénoncé ; la critique porte alors sur le mode de transmission du savoir, les livres étant opposés à l'apprentissage « *sur le tas* ».

2.3. L'agri-environnement comme nouvelle modalité de l'agriculture

En Languedoc-Roussillon, les techniciens présentent le contrat aux éleveurs comme un dispositif transitoire de soutien aux changements de pratiques agricoles en faveur de modes de production compatibles avec la protection de l'environnement. Dans ce contexte, l'engagement contractuel constitue une marque d'identification à un statut renouvelé de l'agriculteur, dans une problématique de définition de « nouvelles fonctions » de l'agriculture. Cette identification, moyen de gagner en considération, relève de la grandeur de l'opinion. Plusieurs éleveurs cévenols soulignent en effet que l'agri-environnement est une nouvelle forme d'exercice de leur métier. La qualification par l'opinion est repérée par exemple par la mise en place de journées « ferme-ouverte », ayant comme enjeu pour l'éleveur concerné de « *montrer comment il est possible de*

concilier une vie écologique et économique dans les Cévennes ».

La préoccupation de nouvelle fonction peut aussi être objectivée par la défense d'une image de marque micro-régionale permettant de valoriser les produits. Le dispositif peut ainsi être consolidé par la mise en place d'une *marque* ou d'un *label* des produits (tentative de mise en place de la marque « *Agneau des Cévennes* »).

Cette perspective de nouvelle fonction est liée à ce que les agriculteurs considèrent comme agricole, ce qui peut se manifester pour certains au niveau de leur exploitation par l'attribution d'un nouveau rôle à leur troupeau. Ce rôle - débroussailleur et/ou outil de production⁸ - peut être modulé par un arbitrage entre l'objectif de production et la gestion du territoire, passant pour l'éleveur par la gestion des ressources.

La prise en compte de cette nouvelle fonction participe à l'évolution du métier d'éleveur, vécue comme une contrainte si elle requiert une évolution des compétences qui n'est pas souhaitée, ou vue comme une ressource lorsqu'elle apporte conseil⁹ et/ou innovation.

2.4. La finalité d'entretien de l'espace : une forme d'action collective

L'engagement contractuel traduit l'impératif moral de participation à l'action collective (forme civique) ; il est objectivé par la convention Etat-éleveur et par l'arrêté préfectoral présidant à la mise en œuvre de la mesure. L'acceptation de l'engagement apparaît aussi dépendre de l'inclination de l'éleveur à s'engager dans des activités professionnelles ou à participer à des structures collectives de gestion des moyens de production. Ainsi, les éleveurs opposés à

toute immixtion dans leur activité refusent le contrat afin de garder leur « liberté » d'action ; en revanche, ceux qui sont déjà très impliqués dans l'animation agricole ou communale acceptent le contrat dans son principe comme mode d'action collective même s'ils peuvent avoir ensuite des récriminations sur ses modalités.

En matière d'agri-environnement, l'engagement prend une importance particulière, dans la mesure où la protection de l'environnement est considérée comme « d'intérêt général ». Certains agents ont le souci d'assurer la production de biens collectifs ayant l'environnement pour support. Pour ceux-là, le caractère civique du contrat est renforcé. L'engagement est donc notamment fonction de la perception qu'a l'agriculteur de l'environnement.

Outre son caractère civique, la finalité d'entretien de l'espace peut être légitimée selon différentes grandeurs (Thannberger, 1993) : la protection d'un patrimoine privé (ordre domestique), l'obtention d'une rente liée à la localisation de l'exploitation (ordre marchand), la participation au maintien de la création divine (ordre de l'inspiration), la prise en charge d'une nouvelle fonction qui propulse sur le devant de la scène villageoise (ordre de l'opinion), le souci d'efficacité de la protection, d'obtention de ressources fourragères mieux valorisables (ordre industriel).

Le mécanisme incitatif repose sur deux éléments centraux : prime et cahier des charges. L'analyse de la façon dont les parties qualifient ces éléments et la finalité du contrat permet de comprendre leur comportement face à ce mécanisme. La présentation de ces éléments a montré la difficulté à les préciser sur le terrain ; la modélisation du comportement des parties constitue un outil d'aide à la définition de ces éléments.

3. La modélisation du comportement des acteurs

A. Richard et M. Trommetter (1994) proposent une modélisation de la

⁸ Le troupeau est porteur d'autres rôles, tels que l'accumulation du capital, ou un symbole de l'identification à un groupe social.

⁹ Le conseil peut relever d'un caractère industriel (améliorer les compétences), domestique (dans le sens de l'exemple des aïeux). Ici, c'est sa caractéristique d'identification à un groupe émergent (opinion) sur laquelle nous nous focalisons.

définition des mesures agri-environnementales, c'est à dire du choix du mécanisme incitatif qui doit être proposé par les pouvoirs publics aux agriculteurs pour mettre en œuvre une mesure agri-environnementale, pour une finalité environnementale et un cahier des charges donnés¹⁰. Le rôle du principal est dans ce cas primordial, mais il est en retour fortement influencé par le comportement anticipé des agriculteurs. Sur une zone déterminée par les pouvoirs publics (localisation et surface¹¹), présentant de fortes externalités des agriculteurs sur l'environnement ou sur laquelle il souhaite favoriser de telles externalités (protection des espaces sensibles), il choisit le mécanisme incitatif qui devrait lui permettre de déterminer le nombre d'agriculteurs participant au programme ou la surface susceptible d'être contractualisée (voir ci-dessus le mode de calcul de la prime en Crau). Que l'on se place au niveau des pouvoirs publics ou des agriculteurs, les modèles de comportement dépendent des options disponibles et d'éléments incertains, ce que nous développerons dans les sections suivantes. On se situe donc dans une perspective séquentielle d'engagement (au moins deux périodes), où la première période conduit à des acquisitions d'information notamment à travers des apprentissages.

3.1. Anticiper le modèle de comportement des agriculteurs

Dans la modélisation, le principal sait que chaque agriculteur est confronté en première période à une alternative en termes d'options : participer ou non à la mesure agri-environnementale pour un mécanisme incitatif donné (prime), valable pour l'ensemble des agriculteurs de la zone ; choisir le nombre d'hectares à passer sous contrat et le niveau

d'engagement contractuel auquel chaque parcelle sera soumise (lorsque ce choix de niveau existe comme par exemple pour les opérations locales DFCI du Var ou des Pyrénées-Orientales).

La mise en œuvre des mesures agri-environnementales nécessite de définir le montant de la prime qui doit être proposé aux agriculteurs pour « compenser leurs pertes de revenu dues à une réduction de la production et/ou à une augmentation des coûts de production, et pour leur rôle dans l'amélioration de l'environnement » (Règlement CEE 2078/92) ; elle peut aussi rémunérer les agriculteurs pour leur travail d'entretien (règlement CEE 746/96) ; elle doit aussi compenser les risques liés à l'incertitude sur le futur, concernant notamment :

- *La reconduction du programme.* Le modélisateur suppose qu'en cas d'arrêt du programme par les agriculteurs déjà impliqués, les pouvoirs publics ont la possibilité ou non de leur offrir une « prime au retour » vers d'autres systèmes d'exploitation. Cette prime est destinée à compenser les coûts d'opportunité liés aux modifications de pratiques et éventuellement les investissements spécifiques liés au contrat initial¹². A titre d'exemple, un éleveur cévenol a ainsi acquis un tracteur de plus grande puissance que ce dont il avait besoin pour son exploitation afin de pouvoir assurer le gyrobroyage stipulé au contrat.

L'existence de la prime au retour pose la question de la durée du contrat et soulève le problème de la réputation des pouvoirs publics. En cas de reconduction, il existe une incertitude pour les agriculteurs non encore adhérents de pouvoir le faire car dépendante de l'enveloppe budgétaire attribuée au projet.

- *La valorisation de l'externalité* (le cas échéant). L'agriculteur peut aussi remettre en cause la réalisation d'investissements spécifiques si les revenus

¹⁰ Finalité environnementale de l'opération et cahier des charges résultent d'une élaboration qui n'est pas prise en compte par le modèle.

¹¹ Compte tenu de l'information croissante obtenue, les pouvoirs publics ont généralement intérêt à se limiter initialement à une zone test de surface réduite (effet d'apprentissage sur l'intérêt social du projet et les réactions des agriculteurs).

¹² L'instauration d'une prime au retour pourrait, en cas d'incertitude forte sur la reconduction du projet, entraîner une réduction de la prime réclamée par les agriculteurs aux Pouvoirs publics, en première période (Richard & Trommetter, 1997).

liés à la mesure sont insuffisants. Ces revenus dépendent des objectifs environnementaux, des changements de pratiques opérés sur son exploitation et des possibilités de valorisation annexes de l'externalité (agro-tourisme, vente à la ferme, produits et services liés à l'environnement, etc.). Ainsi, tel éleveur cévenol est plus enclin à participer à l'opération locale « paysage », qui porte sur l'entretien des murets et des parcelles aux abords de sa ferme et qui lui permet de valoriser la vente à la ferme de ses fromages, qu'à l'opération locale « DFCI » portant sur des parcelles éloignées de son exploitation et qui lui paraît avoir un impact moins direct sur son activité de commercialisation.

L'incertitude joue un rôle déterminant dans les choix faits par les agriculteurs, tant en termes d'adaptation des techniques de production (capital, travail) à de nouvelles activités, que de sélection des investissements nécessaires¹³. De fait, nous observons que cette incertitude conduit les agriculteurs à limiter leurs investissements spécifiques et à éviter les changements irréversibles par des adaptations, à la marge, de leur organisation.

L'ensemble des options se présentant à l'agriculteur est repris dans la Figure 1.

La participation au programme agri-environnemental se traduit pour l'agriculteur par une perte de flexibilité liée à son engagement contractuel et aux coûts d'opportunité de sa participation à la mesure agri-environnementale. En Crau par exemple, l'éleveur est dans l'obligation d'avoir la maîtrise foncière des parcelles pour que celles-ci puissent émarger au titre du contrat, ce qui, pour certains éleveurs, peut rigidifier leur système de production car ils ont pour pratique traditionnelle d'ajuster en cours de campagne leur surface de

pâturage en ayant recours à des locations verbales.

Dans cette approche, la première période précise les avantages des points de vue écologique et économiques apportés à l'agriculteur par le contrat : elle correspond à l'apprentissage par l'agriculteur¹⁴. Dans le cas des opérations de DFCI, par exemple, cet apprentissage pourra se traduire, en seconde période, par une amélioration de la gestion de l'alimentation du troupeau ou de l'organisation de la conduite du troupeau¹⁵ : l'éleveur intègre mieux dans son plan de pâturage les obligations contractuelles de « propreté » du territoire avant l'été, en mettant moins en péril par exemple une ressource fourragère réservée pour le début de l'automne. Ainsi, pour l'agriculteur, l'apprentissage des pratiques peut réduire le coût permettant d'atteindre l'objectif environnemental et augmenter la rente retirée.

Cette modélisation permet aux pouvoirs publics d'anticiper pour chaque agriculteur son seuil minimal d'acceptabilité, *i.e.* le niveau de la prime qui le rend indifférent entre participer et ne pas participer (point mort des incitations) pour un cahier des charges donné (Richard & Trommetter, 1997).

3.2. Les pouvoirs publics

Pour définir la mesure incitative (nature de l'engagement et prime), les pouvoirs publics sont confrontés à trois types d'incertitudes :

- sur la fonction d'évaluation sociale : résultat attendu de la finalité environnementale de la mesure ; il faut en effet intégrer dans la fonction d'évaluation sociale les effets directs du choix de l'option d'intervention et le

¹³ Le comportement des agriculteurs peut également différer selon les anticipations sur l'évolution de l'exploitation. Celles-ci dépendent de paramètres tels que l'âge, la possibilité de reprise de l'exploitation, les capacités techniques de l'exploitant à assurer la « production » environnementale, etc. Dans ce cas, on peut avoir affaire à de l'information privée non connue du Principal (caractéristique des modèles de sélection adverse).

¹⁴ Dans le modèle, on suppose qu'on ne peut utiliser les apprentissages qu'à l'issue de la première période.

¹⁵ Cet apprentissage peut être facilité par le recours à la formation et à l'information (investissement temporel), ce qui conduit à replacer les opérations locales dans un dispositif plus large, *i.e.* que l'effet du contrat agri-environnemental ne peut être pleinement effectif que s'il est accompagné de mesures annexes. Il existe des situations où la formation fait partie intégrante du système incitatif (cas de l'opération locale des Baronnie).

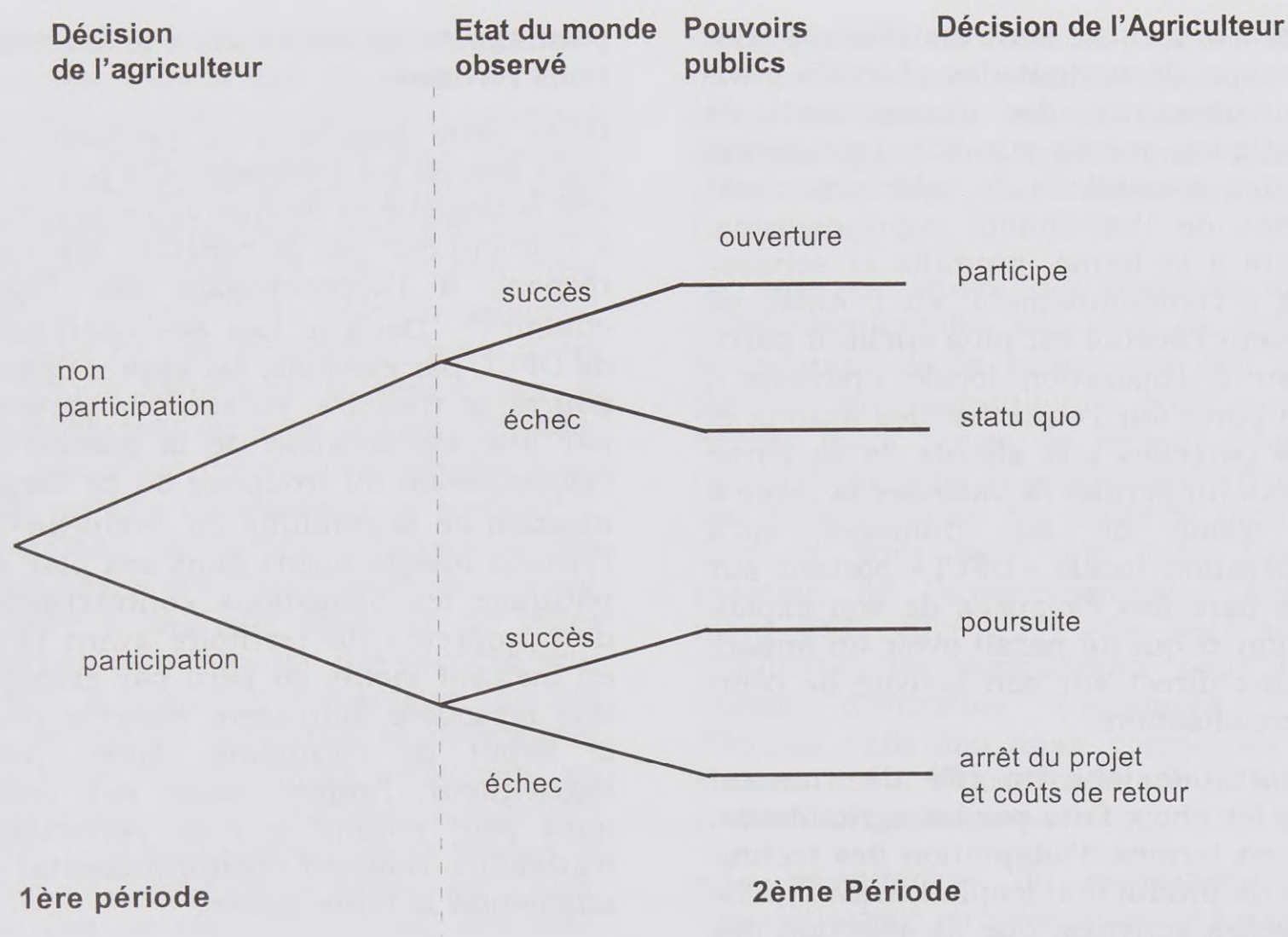
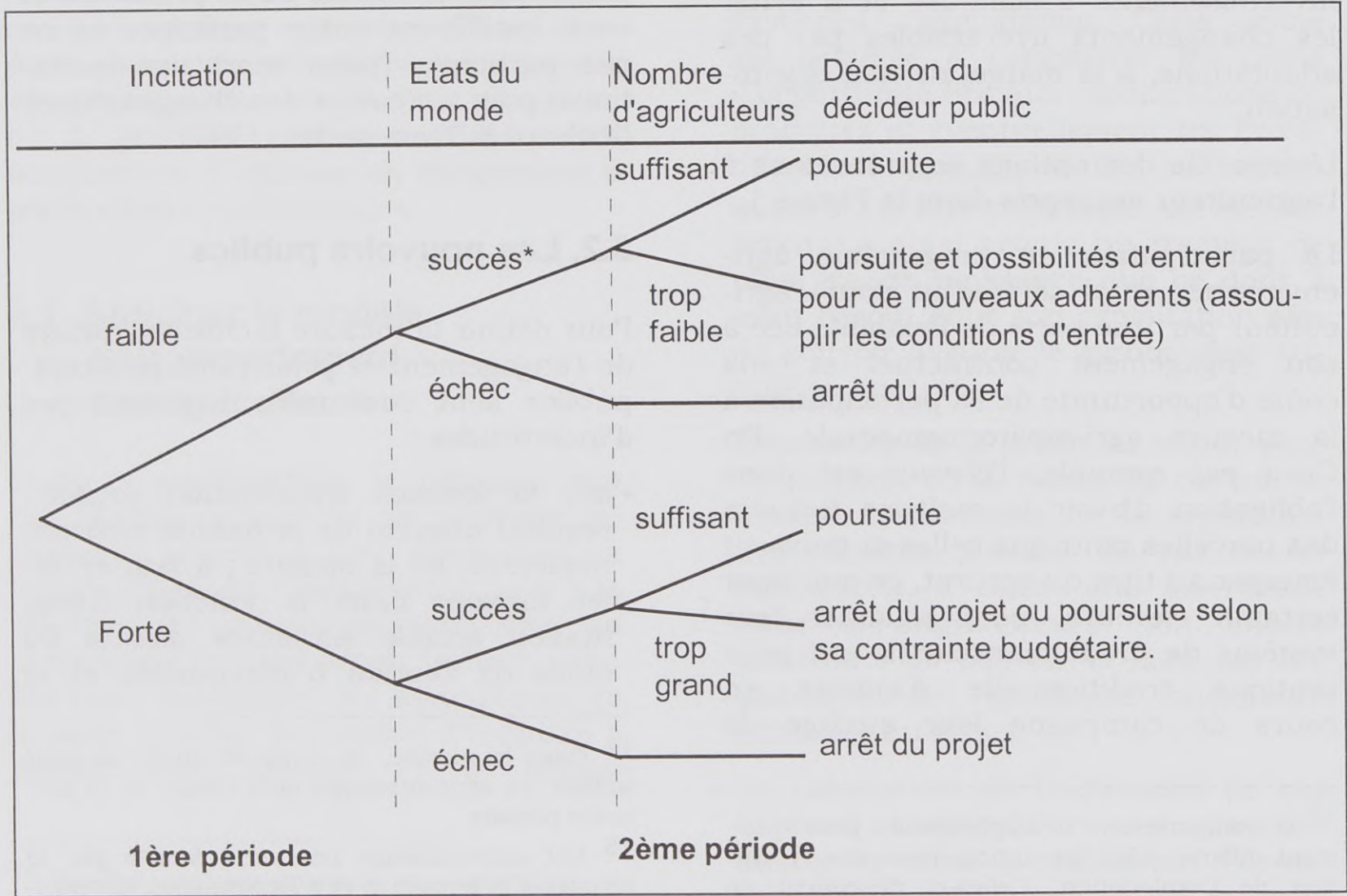


Figure 1 : L'arbre de décision du décideur public



Cet arbre rend compte de toutes les options que nous avons identifiées. Les enquêtes de terrain sur lesquelles s'appuie ce travail ont été menées pendant la première période ; ce n'est que maintenant que nous pourrions observer son issue. Les informations dont nous disposons d'ores et déjà nous laissent penser qu'il y a pour la deuxième période poursuite du contrat quasiment à l'identique.

Figure 2 : L'arbre de décision du décideur public

gain écologique par rapport à l'option de non protection (Richard et Trommetter, 1995).

- sur la faisabilité technologique de la protection (Bonnieux & Weaver, 1996) : pertinence des prescriptions techniques dans l'élaboration du cahier des charges (modification de pratiques avec changement de parcours de pâturage dans les opérations de DFCI, plantation de haies dans certaines opérations de protection de la biodiversité, etc.) ;
- sur la réaction des agriculteurs au système incitatif : un agriculteur peut être amené à participer pour des raisons diverses (réputation ; bénéfice d'autres subventions : aides à l'investissement, aides aux jeunes agriculteurs ; participation à l'action collective, aux nouvelles fonctions ; conseils pour améliorer ses pratiques).

Cette dernière source d'incertitudes est fondamentale pour comprendre l'acceptabilité du contrat et donc le niveau de participation des agriculteurs au projet agri-environnemental. Cette acceptabilité dépend de la forme prise par l'incitation, comme nous l'avons vu dans la deuxième section.

Dans cette modélisation, le principal choisit entre deux mécanismes incitatifs (fort ou faible), selon ses anticipations sur les états du monde et sur la réponse des agriculteurs à un mécanisme incitatif donné. La première période dure 5 ans (durée du contrat pour les opérations locales). Le modèle de comportement des pouvoirs publics est donné dans la Figure 2.

Avec une incitation forte, le principal sait, en début de seconde période, si l'externalité et son impact sur l'environnement sont conformes à ses anticipations. Ceci soulève le problème de la définition de cette anticipation, dont la pertinence doit notamment être évaluée par des biologistes, des écologues.

- S'il s'est trompé sur le résultat écologique, il arrête le programme (il peut modifier le cahier des charges, mais nous considérons dans le modèle qu'il s'agit alors d'un nouveau contrat).
- Si le résultat environnemental est conforme à ses attentes, la réponse

des agriculteurs au système incitatif de base peut entraîner l'arrêt du programme (la contrainte budgétaire contraignant les pouvoirs publics à ne financer que des projets jugés prioritaires) ou une renégociation de la prime à la baisse¹⁶ lors de la reconduction du contrat, du fait d'un ratio efficacité écologique / coût trop faible. Ceci est d'autant plus important si l'externalité nécessite la participation de tous les agriculteurs sur une zone délimitée pour en garantir le succès (cas des zones tampons d'un parc naturel), car le refus de participer d'un agriculteur peut remettre en cause la réussite au niveau social du projet.

Par contre, avec un mécanisme incitatif faible, il peut bénéficier d'un apprentissage sur le résultat écologique du programme (information partiellement croissante voire parfaite) et sur le comportement des agriculteurs, ce qui lui permet, en seconde période, soit de poursuivre le programme (avec éventuellement une revalorisation de la prime et des nouvelles entrées), soit d'arrêter en cas d'échec.

Dans bien des cas, les agriculteurs sont très divers dans leur réaction. Ces différences de comportement sont liées à leur attitude vis-à-vis du projet et à leurs relations interindividuelles. Or, lors de la mise en œuvre du programme, les pouvoirs publics ont peu d'informations sur les caractéristiques des agriculteurs ; il nous faut donc étudier les dispositifs leur permettant d'acquérir ces informations au cours du déroulement du contrat. La réponse réelle des agriculteurs peut, en effet, être très éloignée de la réponse anticipée par les

¹⁶ En pratique, cette renégociation à la baisse est difficile à faire passer et nous n'avons pas observé de situations où elle a été effective. Dans la proposition d'application de l'article 19 dans les Cévennes était mentionné le fait que, dans la fixation de la prime, « il y a une part d'arbitraire, mais des simulations effectuées sur des exploitations peuvent permettre de réajuster empiriquement l'impact des primes ». Ces simulations, qui auraient permis un ajustement du montant de la prime, n'ont pas été faites, malgré l'acquisition d'information obtenue (Thannberger-Gaillarde, 1997). De toutes façons, les techniciens d'élevage membres du comité de pilotage de l'opération n'étaient pas favorables à un changement de niveau de prime, estimant que c'était leur crédibilité auprès des agriculteurs qui était en jeu.

pouvoirs publics. Dans ce cas, durant toute la durée de la première période, le principal peut se trouver confronté à une utilité publique du contrat négative (désintérêt des agriculteurs pour le programme : cahier des charges trop contraignant par exemple, ou au contraire intérêt trop grand provoquant une saturation de l'externalité), ce qui fait qu'en seconde période, il abandonnera des projets (surcoût). Avec une meilleure information sur le modèle de comportement des agriculteurs, ces projets auraient pu être prolongés. Ce problème d'information pour les pouvoirs publics vient en partie du fait que le modèle Principal-Agent traite d'asymétries d'information comme s'il s'agissait d'une entité homogène, alors que l'information véhiculée par le contrat peut prendre des formes multiples.

4. Conception du contrat : intégrer des repères nécessaires à l'acquisition d'information

Le contrat agri-environnemental a été analysé en première approximation dans le cadre d'une relation d'agence, dans la mesure où ce sont les pouvoirs publics qui fixent les caractéristiques majeures de la transaction. La théorie de l'agence s'intéresse aux contrats qui régissent les relations entre un agent informé et un agent non informé. Le contrat dans la théorie de l'agence est un système particulier de rémunération qui permet de résoudre les problèmes d'asymétrie d'information auxquels les individus sont confrontés. En effet, les contrats incitatifs ont un rôle de transmission de l'information, dans la mesure où ils induisent la révélation de l'information détenue par un agent (Laffont, 1991). En revanche, dans le cadre de l'étude des relations entre les acteurs, l'économie des conventions s'intéresse à l'information comme modalité de lien entre les agents : elle se préoccupe de la façon dont sont structurées les conventions, ces conventions permettant d'économiser de l'information.

Ainsi, une réflexion sur la transmission de l'information à travers le contrat constitue une voie de rapprochement entre ces deux analyses théoriques, le modèle de l'agence et l'économie des conventions. En effet, l'économie des conventions constitue un cadre permettant de décrire le référentiel commun aux deux parties, c'est-à-dire leurs conventions communes qui encadrent l'échange d'information.

L'analyse de ces conventions communes conduit à s'intéresser plus spécifiquement à ce qui fait information. Nous constatons alors que les éléments constitutifs du contrat s'appuient sur des repères qui servent de support à la communication de différentes formes d'information sur le contrat, dans la mesure où « les repères utilisés pour discriminer l'information sont relatifs à une forme d'évaluation, à un jugement de valeur » (Thévenot, 1995). L'approche que nous proposons permet de préciser la notion d'information de la théorie de l'agence. Ainsi, nous nous sommes intéressés à ce qui fait information pour les contractants, et non pas seulement à décrire une asymétrie. En effet, le problème ne se limite pas à une information inégalement partagée par les deux contractants, mais il renvoie à la question de la discrimination de l'information pertinente.

En accord avec L. Thévenot (1995), nous considérons que « l'analyse de l'information ne doit donc pas se limiter à l'identification des imperfections ou des asymétries, mais prendre en compte la relation de pertinence avec un dispositif dans lesquelles elles servent à juger ». Il nous semble alors important d'étudier les dispositifs mis en place par les pouvoirs publics pour acquérir de l'information au cours du déroulement du contrat et réduire les incertitudes évoquées précédemment, pour établir son système incitatif. Pour prendre en compte les différents enjeux du contrat, il est donc nécessaire d'inclure dans la conception du contrat des dispositifs qui permettent d'intégrer les possibilités d'apprentissage et de prendre en considération une acquisition et une diffusion d'information au cours du déroulement du contrat.

Ces dispositifs s'appuient sur des repères, base de communication de différentes formes d'information. Ces repères sont identifiés à l'aide des différentes grandeurs mises en évidence précédemment comme enjeux du contrat. Les dispositifs que nous avons identifiés concernent la conception du cahier des charges, la durée du contrat, le zonage de l'opération, l'évaluation de l'action environnementale.

4.1. Conception du cahier des charges et flexibilité

Le premier dispositif permettant d'acquérir de l'information concerne l'élaboration du cahier des charges. Etant le fruit d'une concertation et d'une conception locales¹⁷, le cahier des charges peut constituer une plate-forme de discussion et de diffusion de l'information sur les risques environnementaux en jeu ; c'est en ce sens qu'il constitue un dispositif permettant de réduire les incertitudes (pour l'agent). La normalisation permet de pallier les incertitudes, mais inversement, l'incomplétude du contrat permet de garder une flexibilité (Favereau, 1993).

Le cahier des charges avec les prescriptions techniques contient une information de nature industrielle sur les pratiques jugées efficaces pour la DFCI ou la protection du biotope, comme nous l'avons présenté précédemment.

Mais en même temps, une conception concertée permet de réduire les incertitudes sur la participation des agriculteurs. Elle compose alors parfois un compromis avec la grandeur domestique, puisque le cahier des charges met en avant, explicitement en Crau, les pratiques traditionnelles. Le cahier des charges intègre alors des savoir-faire et coutumes, repères domestiques ; il permet d'accorder de l'importance aux manières de faire (Vallerand *et al.*, 1994) des individus dans l'élaboration au niveau individuel du contrat (Thannberger-Gaillarde, 1996).

¹⁷ Cette élaboration en tant que processus n'est pas étudiée dans cet article ; nous ne l'aborderons ici qu'en termes de résultat.

Enfin, l'élaboration du cahier des charges appelle à la constitution de compromis entre les grandeurs industrielle et marchande. En effet, certains éleveurs seraient plus enclins à participer au programme si celui-ci leur apparaissait comme un moyen de mieux valoriser leurs produits (insertion de l'exploitation dans un circuit touristique, création d'une charte de qualité des produits), objectif qui reste central dans leur fonctionnement. Le conseil constitue un repère de cet apprentissage comme compromis entre les grandeurs industrielle et de l'opinion, permettant une transmission de l'information sur les pratiques pertinentes eu égard au contrat.

4.2. Engagement et durée du contrat

Un deuxième élément à prendre en compte pour la conception du contrat car il est porteur d'information sur l'engagement des agriculteurs : la durée du contrat. Celle-ci est l'expression de la stabilité du contrat. Plus elle est grande, plus le risque est réduit car elle assure une stabilité temporelle du revenu. Elle crée aussi des incertitudes quant à l'amortissement des investissements, le cas échéant (reconduction ou non du contrat) : nous avons observé que l'absence de garantie de pérennité de la mesure diminue les innovations au niveau de l'organisation de l'exploitation. La prime pourrait constituer une information pertinente dans la grandeur marchande, si elle pouvait être assimilée à un prix ; mais son assimilation à une subvention déconnectée du coût de mise à disposition du service réduit sa valeur informative dans ce monde. Enfin, un apprentissage sur les possibilités de valorisation du service environnemental rend l'agriculteur moins sensible à la question de la reconduction du contrat (sous contrainte que la durée du contrat soit suffisamment longue pour que cet apprentissage soit possible).

La possibilité de non reconduction du contrat peut avoir des conséquences sur le niveau d'incitation demandé car les agriculteurs peuvent hésiter à prendre

des risques. Dans ce cas, on peut se demander si les pouvoirs publics n'auraient pas intérêt à introduire une prime au retour pour les agriculteurs adhérant au projet (Richard & Trommetter, 1996) qui permettrait de réduire la prime compensatoire de la mesure agri-environnementale. Le coût global de la mesure avec prime au retour serait ainsi inférieur au coût de la mesure sans prime au retour. Le versement de telles indemnités de rupture n'est pas prévu dans le cadre des contrats régissant la mise en œuvre des opérations locales. Il y a donc une asymétrie d'engagement, celui de l'Etat étant plus faible. Cette asymétrie de pouvoir, qui traduit une relation de hiérarchie entre le donneur d'ordre et l'agent, a pour intérêt de réduire les incertitudes en cas de litige : « le donneur d'ordre 'imposera' sa solution et le contrat continuera ou sera rompu au détriment de l'agent » (Baudry, 1992).

4.3. Le zonage

Le troisième dispositif d'acquisition d'information concerne le zonage. Les mesures agri-environnementales concernent les agriculteurs dont des parcelles sont situées dans la zone éligible au titre du contrat. La question de la pertinence environnementale de cette zone est primordiale. Celle-ci dépend de légitimité environnementale du projet lui-même, de ses porteurs et de leur perception du risque environnemental (externalité).

L'objet du contrat est de diminuer le risque environnemental, mais il existe une incertitude sur les limites de la zone efficace au regard de la protection (surface suffisamment grande pour estimer l'intérêt écologique de la zone)

Lorsque ce zonage est conçu comme une frontière (Crau), il existe une incertitude sur la pertinence de cette frontière au regard de la finalité environnementale du contrat ; lorsque le zonage est conçu comme un outil de structuration de l'espace (Cévennes), il existe une incertitude sur les pratiques à mettre en œuvre pour structurer cet espace (Thannberger-Gaillarde, 1997).

Le zonage résulte d'un processus d'accumulation d'informations pour les pouvoirs publics avec deux objectifs : s'adapter aux contraintes de fonctionnement de l'exploitation pour favoriser la participation de l'agriculteur et répondre à la nécessité d'une continuité spatiale pour augmenter l'efficacité globale (jeu d'équipe, meilleur impact sur l'externalité).

Un bon moyen de réduire les risques pour les Pouvoirs publics est de réaliser une zone test avec un nombre limité d'agriculteurs puis éventuellement, en cas de réussite du projet, d'augmenter la zone ou le nombre de participants en seconde période¹⁸. La création de ces zones tests permettrait d'acquérir de l'information :

- sur le service rendu à la collectivité (la valeur écologique de l'externalité), et constitue alors un repère civique ;
- sur les pratiques efficaces à mettre en œuvre et constitue alors un repère industriel ;
- sur les coûts et valeur du service rendu et constitue alors un repère marchand.

La zone test réduit les incertitudes sur la faisabilité technologique de l'opération et sur les effets du contrat agri-environnemental.

L'opération agri-environnementale doit aussi être réalisée à une échelle adaptée par rapport à l'objectif écologique. Par exemple, un zonage DFCI trop étroit ne modifiera pas la dynamique des incendies, et ne permettra pas de tester l'efficacité des pratiques préconisées pour atteindre cet objectif.

4.4. L'évaluation de l'action environnementale

« La situation d'asymétrie informationnelle peut être réduite par le donneur d'ordre grâce à la mise en place d'un

¹⁸ Cela démontre à la fois l'intérêt pour les pouvoirs publics de ne pas trop investir au début, mais également d'investir suffisamment pour bénéficier des informations supplémentaires justifiant la poursuite de l'incitation dans le futur (Richard & Trommetter, 1996)

système de contrôle de l'action » de l'agent (Baudry, 1992). Dans le cas des mesures agri-environnementales, le contrôle du résultat environnemental est prévu. « Cette obligation de résultats par rapport à l'exigence environnementale¹⁹, et non plus seulement le suivi de cahiers des charges, est nouvelle et probablement extrêmement difficile à définir, faisant intervenir en tout cas des agents d'expertise nouveaux dans le champ agricole / rural » (Deverre, 1993).

Le contrôle du respect des pratiques constitue l'épreuve de réalité de leur efficacité. Il est l'expression du jugement porté sur la qualité de l'engagement. Il sanctionne l'efficacité de l'organisation, au même titre que le prix sanctionne le marché, ce qui le place dans une perspective d'économie de la qualité au sens de Karpik (1989). Au même titre que le contrat de travail, le contrat agri-environnemental est conçu dans l'incertitude *ex ante* de la qualité de la prestation fournie par l'agriculteur. Le contrôle constitue l'outil *ex post* permettant de trancher cette incertitude. Dans la pratique, il n'existe pas toujours de modalités de contrôle facilement applicables, comme nous le verrons plus loin. L'incomplétude des prescriptions techniques reflète alors les incertitudes quant à l'évaluation du résultat environnemental, mais il peut exister un apprentissage sur l'identification de ces modalités pour les pouvoirs publics.

Dans le Var, pour l'opération DFCI, le contrôle s'appuie sur un dispositif industriel de normalisation du résultat de l'action des éleveurs ; il se réfère aux prescriptions techniques du cahier des charges et mobilise des outils de mesure (herbomètre), des critères de contrôle (taux de phytovolume de 2.500 m³/ha), ce qui soulève en amont la question de leur reconnaissance par les parties au contrat (pertinence écologique et sociale des indicateurs retenus). Ces repères permettent de réduire l'incertitude sur

la variabilité des résultats et de leur appréciation.

En revanche, dans le Gard, les Pyrénées-Orientales et la Crau, le contrôle ne repose pas sur des mesures objectives du respect de l'engagement de l'agriculteur, mais s'élabore plutôt dans une perspective domestique de relations personnelles ; il mobilise la bienveillance de celui qui exerce le contrôle, relation de *confiance*²⁰ qui s'instaure entre contrôleur et contrôlés ; c'est à dire que le contrôle porte sur une *vision générale* des parcelles sous contrat de l'exploitation, sans critère d'évaluation précis. Ainsi, dans la lignée des travaux de Baudry (1992) sur la sous-traitance, nous pouvons dire que l'incertitude est bilatérale : pour l'émetteur du contrat, elle porte sur la qualité de la prestation fournie par l'agriculteur ; pour celui-ci, l'incertitude est relative à la perception par le contrôleur de sa prestation lorsqu'il n'y a pas de compromis autour des modalités du contrôle. La prise en compte du savoir-faire des agriculteurs permet une acquisition d'information pour les pouvoirs publics.

L'acquisition d'information se traduit par un apprentissage des modalités de contrôle, ce qui réduit son coût et augmente son efficacité. En outre, le dispositif de contrôle met en jeu la réputation de celui qui exerce le contrôle : ainsi, les appréciations des éleveurs sur ce contrôle ont très vite circulé entre éleveurs en Crau.

L'existence d'une pluralité de principaux fait que, à la différence d'une situation de sous-traitance, le fait d'honorer correctement le contrat ne constitue pas une garantie suffisante de sa reconduction pour l'agriculteur ; en effet, même si le contrôleur relève sa participation correcte au contrat, il se peut que le ministère de l'agriculture décide de supprimer cette opération locale à l'issue de l'audit qui en est réalisé à la fin de la première période. Cette incertitude n'incite pas l'agriculteur à effectuer des

¹⁹ Dans la modélisation Principal / Agent, en situation d'incertitudes sur le niveau d'effort de l'agent, sa rémunération est liée au résultat de son action et non à son niveau d'effort (Laffont 1991) annoncé. Les modalités de contrôle de la mesure agri-environnementale montrent alors bien la pertinence d'avoir recours à ce type de modélisation.

²⁰ La confiance est bilatérale, mais ne met pas en jeu les mêmes caractéristiques des individus : de la part du contrôlé, elle porte sur la légitimité du contrôleur ; de la part du contrôleur, elle porte sur la bonne foi du contrôlé, notamment lorsqu'il n'y a pas de critère objectif - au sens propre - de contrôle. (Thannberger-Gaillarde, 1996).

investissements pour améliorer la qualité de sa prestation.

Conclusion

Dans cet article, nous avons montré la complexité de la mise en œuvre d'un mécanisme incitatif, par un décideur public, dans le cadre des mesures agri-environnementales. La participation des agriculteurs au contrat dépend du niveau de la prime (dans l'approche standard de la théorie de l'agence), mais aussi des caractéristiques du contrat lui-même (l'objectif de l'opération, le territoire concerné, les obligations à remplir, les modalités de vérification du respect du contrat, le mode d'attribution de la prime). Dans ce processus de mise en place des mesures agri-environnementales, nous avons montré l'importance de l'apprentissage : pour les agriculteurs, il s'agit d'apprendre de nouvelles pratiques, pour les pouvoirs publics, d'apprendre à connaître les réponses des agriculteurs à un mécanisme incitatif donné. L'efficacité écologique et économique des mesures n'est elle-même pas connue *a priori*. Les approches qui permettent de définir le niveau de la prime (Principal / Agent) et celles qui participent à l'aide à la rédaction du contrat (Economie des Conventions) sont donc très complémentaires :

- la première, centrée sur la modélisation du comportement du principal, permet de définir le niveau de la prime optimale à proposer aux agents sous contrainte de leur rationalité individuelle (le niveau de l'incitation) ;
- la seconde est centrée sur l'analyse des comportements des agents et de leurs interactions dynamiques. Elle permet l'identification des caractéristiques du contrat et s'intéresse à la construction contractuelle de la valeur du service environnemental, ce qui lui permet de prendre en considération différentes formes prises par l'incitation. Cette approche met ainsi en relief les apprentissages au cours du contrat (information croissante) et les risques intégrés par les agriculteurs dans leur fonction de réaction.

L'analyse de la relation contractuelle est donc utilement enrichie par son étude dans un cadre permettant de rendre compte de plus de modalités de coordination des agents qu'à travers le seul mécanisme de marché. Il ressort alors de cette présentation du contrat qu'il n'est pas seulement une incitation, par un principal, à la réalisation d'une action, mais qu'il participe également à la modification de la fonction de préférence des agents. Chaque individu a une fonction de réaction différente vis-à-vis du mécanisme incitatif selon les croyances qu'il a sur ses possibilités de valorisation privée, sur la pérennité du contrat et de la demande sociale d'environnement. Ainsi, la construction des préférences de l'agriculteur sur l'environnement est complexe et au lieu de tenter d'imposer ses préférences, le principal doit chercher à inciter les agriculteurs à agir dans le sens des intérêts de la collectivité. Ici, l'objectif des pouvoirs publics est de faire en sorte que, dans un premier temps, l'agriculteur modifie sa stratégie malgré ses préférences, alors qu'ensuite, le poids de la variable environnementale dans ses préférences est modifiée (par exemple grâce à la valorisation privée de l'externalité par l'agrotourisme). L'acquisition d'information au cours du temps pour les pouvoirs publics et les agriculteurs peut conduire à réduire le rôle des incitations dans la mise en œuvre des mesures agri-environnementales et à envisager des approches plus coopératives entre les Pouvoirs publics et les agriculteurs. Le comportement mutuel des acteurs est donc à prendre en compte pour bâtir le contrat et intégrer les formes multiples prises par l'incitation.

Bibliographie

- Amigues J.P.**, 1993. Ecole chercheurs « Economie des Contrats » ; *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurale*, 26, 1^{er} trimestre.
- Baudry B.**, 1992. Contrat, autorité, confiance : la relation de sous-traitance est-elle assimilable à la relation d'emploi ? *Revue Economique*, 43 (5) : 871-893.

Boltanski L., Thévenot L., 1991. *De la justification : les économies de la grandeur*. Paris, Gallimard NRF, Essais, 460 p.

Bonnieux F., Rainelli P., 1994. Les mesures agri-environnementales et le recours à l'évaluation contingente. *Actes et Communications*, 12 : 247-261.

Bonnieux F., Weaver R., 1996. Environmentally Sensitive Area Schemes : Public Economics and Evidence. In Whitby M. (Ed) *The European Environment and CAP Reform : Policies and Prospects for Conservation.*, CAB International : 209-226.

Charbonnel L., Guyonneau A., 1995. *Audit sur la reconduction éventuelle au titre du règlement CEE n° 2078/92 du 30 juin 1992 des opérations engagées au titre de l'article 19 du règlement CEE n° 292/85 Crau humide et Crau sèche (Bouches du Rhône)*. Paris, Conseil Général du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 46 p.

Deverre C., 1993. Notes sur le règlement agro-environnemental CEE et le projet de mise en œuvre français. Avignon, INRA-SAD, 6 p.

Favereau O., 1993. L'incomplétude n'est pas le problème c'est la solution. Colloque « Limitation de la rationalité et constitution du collectif », Cérisy (France), 1993, 15 p.

Guesnerie R., Laffont J.-J., 1984. A complete solution to a class of principal-agent problems with an application to the control of a self-managed firm. *Journal of Public Economics*, 25 : 329-369.

Karpik L., 1989. L'économie de la qualité. *Revue Française de Sociologie*, 30 (2) : 187-210.

Laffont J.J., 1991. Economie de l'incertain et de l'information. *Economica*, Paris, 330 p.

Richard A., Trommetter M., 1994. Préservation de la biodiversité et politique agricole. Rapport Final de l'AIP PAC, INRA/SERD, Grenoble, Novembre 1994, 65 p.

Richard A., Trommetter M., 1995. *La définition de mesures agri-environnementales : le cas d'agriculteurs hétérogènes*. 12èmes journées de Micro-économie appliquée, AFSE, Clermont-Ferrand (France), 1 et 2 Juin 1995, 24 p.

Richard A., Trommetter M., 1996. Choix de mécanismes incitatifs dans les contrats agri-environnementaux. 2ème colloque international d'économie publique, ENST et Université de sciences économiques de Brest, Brest (France), 13 et 14 Juin 1996, 12 p.

Richard A., Trommetter M., 1997. *Modélisation Principal / Agents à deux périodes : Application à la mise en œuvre des mesures agri-environnementales*. Colloque SESAME, Lyon (France), Septembre 1997, 19 p.

Thannberger E., 1993. *La gestion de l'espace rural support de biens d'environnement : application de « l'article 19 » en zone méditerranéenne française menacée par les incendies*. DEA Economie du Développement Agricole Agro-Alimentaire et Rural, ENSAM-Université de Montpellier I, 95 p.

Thannberger E., 1995. *Common countryside management based on contracts : a case study*. Fifth IASCP Conference : Reinventing the Commons, Bodo (Norvège), 1995, 14 p.

Thannberger-Gaillarde E., 1996. Processus de contractualisation agri-environnemental : émergence de conventions locales. Le cas de la Défense des Forêts Contre les Incendies dans les Cévennes gardoises. Communication à l'Ecole-Chercheurs Economie des Institutions, Paris, décembre 1996, 14 p.

Thannberger-Gaillarde E., 1997. *Contrat agri-environnemental et production de bien commun : une méthodologie d'analyse de l'intégration du contrat agri-environnemental au fonctionnement des exploitations agricoles*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 520 p.

Thévenot L., 1995. Des marchés aux normes. In Boyer R. et Allaire G. (Eds.), *La grande transformation de l'agriculture : lectures conventionnalistes et régulationnistes*, Paris, Economica, 33-51.

Vallerand F., Casabianca F., Sainte-Marie C. de, Bouche R., 1994. D'une qualité à une autre : conduire le changement du système de qualification de reproducteurs de race ovine corse. *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, 28 : 157-175.

Relations d'interdépendance entre des exploitations agricoles et leur contexte local pour protéger la qualité d'une eau minérale

Mohamed GAFSI

Ecole Nationale de Formation Agronomique, BP 87, F- 31326 Castanet-Tolosan
Tél. : (+33) 05.61.75.32.61. Fax : (+33) 05.61.75.03.09 - E-mail : mohamed.gafsi@educagri.fr

Résumé

Les opérations de changement des pratiques agricoles pour la protection de l'environnement modifient profondément les rapports des exploitations agricoles à leur contexte local. Elles limitent les marges de manoeuvre des agriculteurs dans l'exercice de leur métier mais peuvent constituer en même temps des opportunités de développement de leurs exploitations. En nous référant à la théorie des organisations, nous abordons ici les relations d'interdépendance de l'exploitation agricole avec le contexte local à partir d'une étude de cas où les changements de pratiques agricoles sont imposées par des impératifs de protection de la qualité de l'eau. Notre démarche de recherche privilégie la dimension dynamique de la transformation des exploitations et de l'interaction des agriculteurs avec les autres acteurs du contexte local. Les résultats montrent que les rapports au sein de cette interaction sont basés sur le principe d'interdépendance. Les agriculteurs ont utilisé ces relations pour acquérir des ressources importantes pour le développement de leur exploitation sans pour autant perdre leur autonomie. Les conclusions de ce travail mettent en avant la nécessité d'élargir le champ traditionnel des recherches en gestion de l'exploitation pour intégrer comme objet de recherche les rapports de l'exploitation à son contexte local.

Mots-clés : interdépendance asymétrique, gestion d'exploitation agricole, changement contractuel.

Abstract

Analysis of interdependence between farms and their local context. A case study of mineral water quality protection. Schemes designed to modify farming practices for environmental protection purposes induce profound transformations in the relations between farms and their local context. Although such schemes curtail the farmers' room for manoeuvre in exercising their profession, they may also provide opportunities for farm development. We used the theory of organisations to analyse the interdependence that exists between farms and their local context. The analysis was based on a case study of imposed change of farming practices to protect water quality. We chose to focus on the dynamic aspects of farm change and farmer interaction with the other agents involved in creating the local context. The results show that, in these interactions, relations are based on interdependence. The farmers used these relations to secure resources that were important for the development of their farms without, however, giving up their autonomy. Our study concludes to the need to extend the traditional field of farm management research and incorporate the relations between the farm and its local context as a research objective.

Keywords: asymmetrical interdependence, farm management, contractual change.

Introduction

Les rapports des exploitations agricoles à leur environnement socio-économique se sont fortement développés ces dernières années avec l'émergence de nouvelles demandes sociales concernant notamment la gestion des ressources naturelles, la qualité des produits alimentaires, les mesures agri-environnementales (Allaire *et al.*, 1998 ; Sebillotte, 1996). Ces rapports se caractérisent par une certaine pression exercée sur les agriculteurs pour qu'ils modifient leurs pratiques agricoles jugées nuisibles à la qualité de l'environnement naturel (Chia *et al.*, 1992 ; Barrué-Pastor *et al.*, 1995). Ainsi, on a assisté à un important développement des actions et des mesures agri-environnementales. Bien que celles-ci s'inscrivent dans une politique européenne ou nationale, elles sont marquées par leur caractère local ; elles consistent en effet en un traitement spécifique des problèmes de la qualité de l'environnement par les activités agricoles sur des territoires bien circonscrits (Alphandéry *et al.*, 1996 ; Barbier, 1995). Ce caractère local est primordial dans la suite de notre propos. Il signifie que les exploitations agricoles se trouvent impliquées dans des dynamiques locales d'interaction, de négociation, de coopération/conflit qui aboutissent à la construction des rapports contractuels avec d'autres organisations dans le contexte local. Dans le contexte agricole actuel, les situations de changement des pratiques agricoles basées sur des procédures de contractualisation sont amenées à se développer (Gillarneau, 1992 et 1994 ; Torres, 1995).

Cet article part d'une situation concrète de changement des pratiques agricoles sur la base d'une procédure contractuelle entre des agriculteurs et une entreprise d'exploitation des eaux minérales¹ souhaitant protéger la qualité de son eau. Il porte sur l'étude des rap-

ports des exploitations agricoles à la Société des Eaux et sa filiale AV. La question du fonctionnement de l'exploitation et de son autonomie dans un cadre de contractualisation est au cœur de ces réflexions. Pour ce faire nous avons privilégié l'étude de l'exploitation agricole comme organisation et dans ses relations avec les autres organisations, en se référant à certaines théories des organisations (Pfeffer et Salancik, 1978 ; Morgan, 1989 ; Rojot et Bergmann, 1989 ; Mèlèse, 1990). L'objectif est de montrer que ces exploitations ne font pas que subir la pression du changement et conduire des processus d'adaptation passive aux exigences de leur environnement socio-économique, mais qu'elles ont une attitude active permettant de valoriser leurs rapports avec cet environnement comme un potentiel de ressources important dans leur performance technico-économique. Nous présenterons dans la première partie du texte les matériaux empiriques de notre travail ainsi que des éléments méthodologiques. Nous montrerons dans la deuxième partie comment les exploitations étudiées ont valorisé leurs rapports avec la Société des Eaux comme un potentiel de ressources nécessaires à leur développement. Cette valorisation n'est pas sans créer des relations d'interdépendance entre les exploitations et leur co-contractant. L'étude de ces relations fera l'objet de la troisième partie. Enfin dans la quatrième partie, nous discuterons des résultats et des enseignements quant au fonctionnement et à l'autonomie des exploitations, ainsi que des éléments d'une nouvelle approche de l'exploitation agricole.

1. Cas d'étude : changement des pratiques agricoles pour la protection de la qualité de l'eau

1.1. Les données du changement de pratiques agricoles

Notre cas d'étude porte sur une situation de changement des pratiques

¹ Pour des raisons de confidentialité nous gardons l'anonymat des différents acteurs. L'entreprise d'exploitation des eaux minérales est nommée « la Société des Eaux » ; sa filiale est dénommée AV ; les agriculteurs sont désignés par des lettres alphabétiques.

agricoles mettant en scène une entreprise privée (la Société des Eaux) et une quarantaine d'exploitations agricoles laitières dans le Nord-Est de la France. Après avoir constaté une augmentation des taux de nitrates dans son eau, la Société des Eaux a demandé aux agriculteurs exploitant sur le périmètre d'alimentation de la nappe (environ 5 000 ha dont 3 500 en terres agricoles) de modifier leurs pratiques agricoles. L'activité agricole paraît être une des causes importantes de l'accroissement du taux de nitrates dans les nappes. Certes les pratiques des agriculteurs causent un préjudice majeur pour la Société des Eaux qui est tenue à respecter un taux de nitrates inférieur à 10 mg/l, mais les agriculteurs refusent d'être considérés comme pollueurs parce que la norme de potabilité de l'eau (50 mg/l) n'est pas atteinte (le taux de nitrates dans les eaux superficielles était de 35 mg/l). Dans ce cas, la solution du problème ne peut que passer par un arrangement entre la Société des Eaux et les agriculteurs (Barbier, 1997).

Ainsi, la Société des Eaux a engagé en 1988 une dynamique d'interactions et de tentatives de résolution du problème. Après un long processus de recherche de solutions, de coopération et de négociation, un cahier des charges a été proposé en 1992 et des contrats ont été signés par l'entreprise et certains agriculteurs (voir encadré pour le cahier des charges et les incitations). Pour conduire les négociations individuelles avec les agriculteurs et les accompagner dans le changement des pratiques agricoles, la Société des Eaux a créé en 1992 une filiale, dénommée ici AV. L'analyse longitudinale du processus montre que l'adhésion des agriculteurs au projet de changement a suivi une dynamique interactive progressive (Gafsi, 1997). Ainsi en 1992 seuls les quatre agriculteurs ayant participé à la recherche de solutions et signé des contrats d'essai ont signé le contrat avec la Société des Eaux. Cette dernière a continué le processus de négociation avec les autres agriculteurs. En 1996, sur les trente-six agriculteurs qui ont des terres sur le périmètre 25 ont signé le contrat.

Deux éléments nous paraissent importants à souligner ici : (i) le changement dans l'exploitation agricole est demandé par une organisation (entreprise privée) faisant partie de l'environnement socio-économique de cette exploitation, et (ii) ce changement est basé sur un rapport contractuel entre l'exploitation et cette organisation, issu d'une dynamique d'interaction dans la durée entre les deux organisations. L'article se centre volontairement sur les relations des exploitations avec la Société des Eaux et sa filiale et ne traite pas le rôle des autres acteurs dans le changement². Ce choix est justifié par deux raisons : premièrement, la Société des Eaux est un acteur local inhabituel, pour les exploitations, et volontariste, souhaitant intervenir directement dans les manières de produire des agriculteurs, et deuxièmement les exploitations et la Société des Eaux sont les principaux acteurs du projet de changement sur le périmètre.

1.2. Une démarche de recherche-interactive

Notre travail de recherche est basé sur une démarche inductive, à partir d'une « étude de cas » (Mitchell, 1983). Nous avons adopté une démarche de recherche-interactive (Girin, 1986) basée sur l'observation de l'intérieur du fonctionnement des exploitations étudiées et l'interaction dans la durée avec les agriculteurs sur la base de position symétrique. Cette position signifie que le chercheur n'est pas un « expert » qui produit « la solution objective », mais un intervenant qui tente, avec l'agriculteur, de résoudre le problème et d'éclairer l'action. Cette méthodologie de recherche est assez répandue aujourd'hui dans les recherches dites « de terrain » en gestion d'entreprise (Avenier, 1989 ; Arnaud, 1996), en particulier pour l'étude des situations du changement

² En effet, d'autres acteurs concernés directement ou indirectement par le changement sur le périmètre (la recherche - INRA, la profession agricole, l'administration publique, les acteurs de l'eau notamment l'agence de l'eau) ont joué un rôle de médiation entre les agriculteurs et la Société des Eaux.

Les prescriptions du cahier des charges

Le cahier des charges, qui concerne l'ensemble du système de production et des surfaces de l'exploitation même celles qui sont hors du périmètre, mentionne les mesures suivantes :

- (1) - suppression de la culture du maïs de l'assolement sur toute la Surface Agricole Utile (SAU),
- (2) - compostage de l'ensemble des déjections animales,
- (3) - non dépassement d'une Unité de Gros Bétail par hectare (UGB/Ha) de surface fourragère réservée à l'alimentation animale,
- (4) - non utilisation des produits phytosanitaires et des engrais chimiques ; la fertilisation azotée sera assurée en priorité par les déjections animales compostées.

Il est par ailleurs suggéré de conduire une nouvelle rotation culturale à base de luzerne.

Les incitations au changement

- 1/ *Mise à disposition des terres achetées* : la Société des Eaux propose aux agriculteurs signataires la mise à disposition gratuite, pour une durée de 18 ans, des terres dont elle est propriétaire. Ces terres ont été achetées auparavant aux agriculteurs à un prix très intéressant : 20 000 francs pour le droit de propriété (le prix sur le marché local est de l'ordre de 17 000 francs) et 20 000 francs pour le droit de fermage (le prix usuel est de l'ordre de 8 000 francs), ce qui pour un propriétaire exploitant revient à 40 000 francs à l'hectare.
- 2/ *Subventions* : la Société des Eaux verse aux agriculteurs signataires des subventions de l'ordre de 1500 francs par ha et par an, pour une période de 5 à 7 ans.
- 3/ *Investissements* : la Société des Eaux a pris en charge les investissements rendus nécessaires par le changement, au sein de chaque exploitation. Le montant total des investissements s'élève à environ un million de francs par exploitation. Ces investissements restent la propriété de la Société des Eaux durant la période du contrat (18 ans) puis ils appartiendront à l'agriculteur.
- 4/ *Réalisation de certains travaux* : la filiale AV de la Société des Eaux est chargée de réaliser certains travaux, au sein des exploitations, liés à la gestion des déjections animales (vidange, compostage et épandage du fumier).

	Exploitations				
	B	C	S	T	Z
SAU (ha)	93	170	96.3	65	181
Nbre de vaches laitières	36	36	42	35	72*
Niveau d'équipement	Moyen	Faible	Bon	Faible	Moyen
Revenu agricole (x1000 F)	120	-70	200	70	-80
Dettes moyen et long terme (x1000F)	214	1400	670	220	970
Production lait/VL (L)	6500	2900	5900	4500	-
Maîtrise technique	Bon	Faible	Moyen	Faible	Moyen
Système de production **	Lait Moderne Intensif (Maïs)	Lait Foin Regain	Lait Ensilage Herbe	Lait Moderni- sation Limitée (Maïs)	Viande Foin Regain

NB : Les qualificatifs de faible, moyen et bon sont définis par rapport à des références locales.
* Vaches allaitantes plus quelques vaches laitières pour l'exploitation Z.
** Selon une typologie du Centre de Gestion du département

Tableau 1 : Caractéristiques des situations des exploitations étudiées avant le changement (1990)

organisationnel (Pettigrew, 1990 ; Hatchuel, 1994). Dans notre cas, elle permet de rendre compte des pratiques de gestion des agriculteurs et de saisir la dynamique interactive entre l'exploitation et la Société des Eaux. Dans cette démarche, nous avons utilisé plusieurs méthodes de recherche allant de l'enquête à l'observation participante et le suivi continu des exploitations étudiées :

- Suivi rapproché et continu de cinq exploitations ayant accepté de s'engager dans le processus de changement, avec des visites régulières et discussion avec l'agriculteur pendant une période de deux ans. Par ailleurs, nous avons effectué des stages/séjours, chacun d'une durée d'une semaine, dans deux de ces exploitations en participant aux travaux sur l'exploitation. Cette observation participante (Jorgensen, 1989) nous a permis d'établir un rapport de confiance avec l'agriculteur et de comprendre de l'intérieur le processus d'adaptation de l'exploitation.
- Collecte de données quantitatives concernant les structures de l'exploitation, son fonctionnement technique et ses résultats économiques sur une période de six ans (de 1990 à 1995). Par ailleurs nous avons conduit des comparaisons, pour la même période, des résultats des cinq exploitations avec ceux de leurs groupes départementaux d'appartenance (selon une typologie du Centre de Gestion du département).
- Un entretien avec chaque agriculteur à partir d'un questionnaire semi-ouvert portant sur ses motivations pour l'adhésion au changement, le fonctionnement de son exploitation après la signature du contrat de la Société des Eaux et son évaluation de cette opération au regard de ses attentes et en termes d'autonomie ou de dépendance vis-à-vis de la Société des Eaux.

Cette démarche de recherche privilégie l'étude en profondeur des phénomènes d'où le nombre limité des exploitations étudiées (cinq). Parallèlement, pour nous permettre d'avoir des références externes, nous avons réalisé des analyses comparatives avec les groupes départementaux d'appartenance de nos

cinq exploitations. Notons que les exploitations étudiées représentent différents types de systèmes de production selon la typologie établie par le Centre de Gestion du département. Selon une autre typologie des exploitations du périmètre de protection de la nappe (quatre groupes) établie par les chercheurs en 1990 (Deffontaines *et al.*, 1993), deux des cinq exploitations étaient classées en groupe 2³, deux en groupe 3 et une en groupe 4. Le Tableau 1 présente les principales caractéristiques des exploitations étudiées.

2. Les rapports avec le contexte local comme ressources pour le développement de l'exploitation

Comment les exploitations ont-elles valorisé leurs rapports avec la Société des Eaux comme potentiel de ressources important dans leur développement ? C'est la question principale que nous développerons dans cette section. Premièrement elles ont consolidé leur structure productive (foncier, équipement et droit de production) ; deuxièmement elles bénéficient d'un apport important de travail de la part d'AV ; et troisièmement elles ont amélioré leur performance économique.

³ Groupe 2 : exploitations de taille moyenne ; l'alimentation hivernale est à base de foin. Groupe 3 : exploitations de grande taille, souvent des GAEC ; l'alimentation hivernale est à base de foin et d'ensilage de maïs (7 ha en moyenne) ; ces exploitations sont en phase de modernisation ce qui se traduit par des annuités importantes. Groupe 4 : exploitations de très grande taille avec une forte présence de l'ensilage de maïs (19 ha en moyenne) dans l'alimentation hivernale. Pour plus de détails concernant cette typologie voir Deffontaines *et al.* 1993.

	Exploitation				
	B	C	S	T	Z
Augmentation de SAU (/1990) (%)	53	27	32	22	0
Terre SE/SAU (%)	74	84	47	40	17
Terre vendue à SE (ha)	20	42	16	0	17

SE : Société des Eaux.

Tableau 2 : Evolution de la ressource foncière (chiffres 1995)

Exploitation	1990	1995	% d'augmentation
B	240	320	33
C	265	255	-4*
S	250	300	20
T	120	180	50

* L'exploitation C n'avait pas de bons résultats techniques ; elle n'a pas pu conserver son quota de 1990.

Tableau 3 : Augmentation de la référence laitière (en 1000 L)

Exploitation	Moy.90/91	Moy. 94/95	Age de l'exploitant en 1995
B	196	644	45
C	204	210	33
S	19	285	33
T	33	97	43
Z	96	370	47

Tableau 4 : Evolution des investissements réalisés par les agriculteurs (en 1000 F)

	Exploitation				
	B	C	S	T	Z
Apport de travail AV (h/an)*	255	339	186	208	243
Travail AV/Travail total dans l'expl.(%)	8	7	6	6	6
Travail AV/Travail Saisonnier (%)	22	15	20	30	27
Coût du travail fourni par AV /an (F)**	56 600	76 600	42 200	47 700	56 000

* AV est la filiale de la Société des Eaux.
** Estimation réalisée à partir des références du « Guide 96 des pris de revient du matériel en CUMA » établi par les CUMA des trois régions Lorraine, Bourgogne et Franche-Comté.

Tableau 5 : Apport de travail aux exploitations

2.1. Consolidation des structures pour un développement pérenne

Les exploitations étudiées ont pu consolider leur système de production par l'acquisition du foncier et des quotas laitiers, la restructuration foncière et la rénovation du parc d'équipements et des constructions. Elles assurent, par conséquent, à moyen terme voire à long terme, un développement durable grâce à la valorisation de leurs rapports avec la Société des Eaux.

2.1.1. Agrandissement important de la SAU

Quatre des cinq exploitations ont connu un important agrandissement foncier depuis 1990. Elles ont augmenté leur surface agricole utile (SAU) de 34 %. Cet agrandissement a été favorisé par la mise à disposition des terres de la Société des Eaux. En effet environ 52 % en moyenne de la SAU des cinq exploitations appartient à la Société des Eaux⁴ (Tableau 2). Les agriculteurs ont continué à exploiter des terres qu'ils ont vendu à la Société des Eaux et ont récupéré des terres en plus leur permettant de s'agrandir. Signalons qu'à l'échelle locale, seules les exploitations signataires du contrat avec la Société des Eaux ont connu cet agrandissement de SAU. Ceci est expliqué par une certaine cristallisation du marché foncier sur le périmètre : en proposant un prix très intéressant, la Société des Eaux a acheté environ 1 500 ha de terres agricoles sur le périmètre, soit 43 % de la SAU sur le périmètre, et a créé une sorte de monopole.

2.1.2. Restructuration foncière importante

La restructuration foncière constitue un élément important dans la consolidation du système de production, surtout

lorsqu'il s'agit, comme ici, d'exploitations d'élevage laitier car la gestion spatiale des activités agricoles détermine fortement le fonctionnement de l'exploitation (Benoît, 1985). En effet, pour ce type d'exploitations, la situation et la dimension du parc des vaches laitières constituent des éléments déterminants dans leur fonctionnement. En négociant avec la Société des Eaux, les exploitations signataires ont fortement amélioré le regroupement de leurs parcelles et agrandi les parcs de vaches laitières (surface attenante à l'étable).

Les exploitations ont réduit le nombre d'îlots de culture⁵ en augmentant la surface par îlot d'environ 75 %. Aujourd'hui, l'agriculteur B n'a plus de terres hors du périmètre et son parcellaire est bien groupé en deux grands blocs. Ayant des parcs de vaches laitières limitants, les exploitants C, S et T ont surmonté cette limite après la restructuration en agrandissant les parcs de vaches laitières de 40 % environ.

2.1.3. Forte augmentation des quotas laitiers

Les exploitations laitières (quatre des cinq étudiées) ont réalisé une forte augmentation de l'effectif des vaches laitières. L'augmentation moyenne des quatre exploitations (42 %) est plus importante que celle des groupes départementaux correspondants (14 %). Cette augmentation a été facilitée par, d'une part l'agrandissement de la SAU (ressource fourragère) et d'autre part l'acquisition de quotas laitiers supplémentaires. En fait, les exploitations ont augmenté leurs quotas laitiers, grâce à l'acquisition des terres de la Société des Eaux, de 50 000 à 80 000 litres, soit 25 % en moyenne sur les quatre exploitations (Tableau 3). Signalons que les quotas laitiers acquis, suite à l'achat et l'exploitation des terres de la Société des Eaux avant 1990, sont inclus dans les références laitières des exploitations en 1990. Par conséquent si on veut évaluer l'apport de la Société des Eaux

⁴ Il faut noter qu'en 1990, les exploitations bénéficiaient déjà des terres appartenant à la Société des Eaux. Si on ne compte pas ces terres dans la SAU en 1990 (avant le changement), on aurait des exploitations de 60 à 90 ha de SAU en 1990 qui deviennent en 1995 (avec l'acquisition des terres de la Société des Eaux) des exploitations de 140 à 200 ha de SAU.

⁵ L'îlot de culture est défini comme étant l'ensemble de parcelles jointives cultivées par un même agriculteur tel que celui-ci puisse passer d'une parcelle de culture à l'autre sans quitter le territoire de l'exploitation.

en termes de quotas laitiers aux exploitations étudiées, il faut rajouter à l'augmentation enregistrée entre 1990 et 1995, 15 000 à 25 000 litres, selon les exploitations. L'augmentation moyenne des quotas laitiers devient alors de 30 % environ.

2.1.4. Rénovation du parc d'équipements et des constructions

Les exploitations ont réalisé une importante rénovation de leurs systèmes de production. En plus des gros investissements (un million de francs par exploitation) réalisés par la Société des Eaux dans le cadre du contrat, les agriculteurs ont réalisé eux mêmes d'autres investissements, liés à *l'agrandissement* des outils de production (agrandissement des bâtiments, achat de tracteurs plus puissants), aux *caractéristiques du nouveau système* de production (aménagement des constructions, stabulations libres paillées intégrales) et surtout à la *rénovation du système* de production et *au confort du travail* (aménagement de salle de traite, installation de décrochage automatique, installation de distributeur automatique). Avec ces investissements et ceux réalisés à la charge de la Société des Eaux, les systèmes de production sont significativement rénovés, ce qui permet à l'exploitation de se dégager à moyen terme de contraintes structurelles et d'assurer un fonctionnement durable.

Le Tableau 4 montre que toutes les exploitations, mise à part C qui a gardé un niveau d'investissement moyen, ont fortement augmenté leurs investissements (investissement de la Société des Eaux non compris). Les agriculteurs ont réalisé ces investissements grâce d'une part aux subventions fournies par la Société des Eaux dans le cadre du contrat (1 500 F/ha pendant 5 à 7 ans) et d'autre part à la situation de fluidité financière créée suite à l'achat de terres de ces agriculteurs par la Société des Eaux (prix très intéressant : 40 000 F/ha pour l'exploitant propriétaire).

2.2. Une ressource de travail

Le travail est une autre ressource acquise gratuitement par les exploitations

signataires du contrat avec la Société des Eaux. En effet, AV réalise dans ces exploitations du travail concernant la gestion de la chaîne des déjections animales et la fertilisation des sols. Cet apport de travail représente de 6 à 8 % du travail total dans les exploitations étudiées, soit 23 % en moyenne des travaux saisonniers (20,5 h/mois). En termes monétaires, le coût annuel moyen (sur les cinq exploitations) de cet apport de travail s'élève à 56 000 F (Tableau 5). Ce montant confirme l'importance de cet apport de travail. Il représente 40 % du montant des subventions fournies en plus par la Société des Eaux. Il est en fait un « gain » pour l'agriculteur par diminution des charges. Cet apport est d'autant plus apprécié par les agriculteurs qu'il permet d'alléger des périodes de pointe dans la répartition annuelle du travail dans les exploitations. Les exploitants considèrent que l'apport de travail d'AV est déterminant dans la réussite du changement des pratiques et l'agrandissement.

2.3. Amélioration de la performance économique

Valorisant leur rapport avec la Société des Eaux dans le cadre du projet de changement des pratiques agricoles pour la protection de la qualité de l'eau, les exploitations ont amélioré leur performance économique. L'analyse des résultats économiques montre que les exploitations ont augmenté le Produit et la Marge Brute respectivement de 53 % et 75 % entre 1990 et 1995, ce qui leur a permis d'améliorer fortement leur revenu. La comparaison avec les groupes départementaux correspondants montre effectivement une évolution positive du revenu agricole (Figure 1). Mais la forte augmentation du revenu dans les exploitations résulte principalement de l'apport financier que constitue les subventions de la Société des Eaux. Ces subventions représentent 55 % environ du revenu dans les cinq exploitations. On le voit clairement, les exploitations ont valorisé le rapport de transaction qu'elles ont établi avec la Société des Eaux pour améliorer d'une façon considérable leur performance malgré les

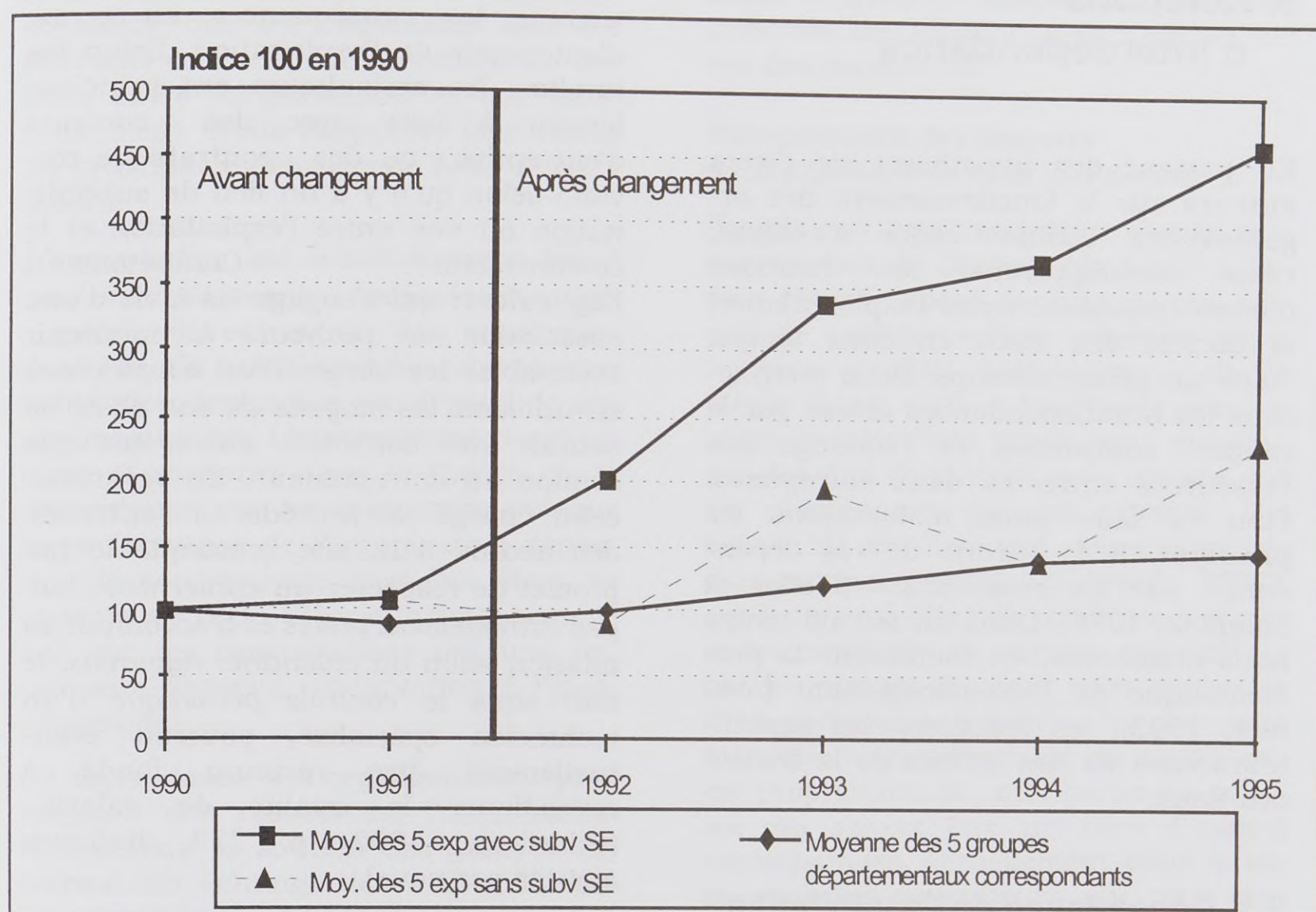


Figure 1 : Evolution des revenus des exploitations agricoles avant et après l'attribution de subventions par la Société des Eaux.

conséquences techniques de l'application du cahier des charges (baisse du niveau de production du lait d'environ 600 l/VL/an et chute des rendements des cultures d'environ 25 qx/ha).

Ces résultats positifs peuvent être temporaires, étant donné la durée limitée (5 à 7 ans) des subventions de la Société des Eaux. Ceci pose la question de la pérennité de ces exploitations après la fin de la période des subventions. Nous avons traité cette question ailleurs (Gafsi, 1997 ; Gafsi et Brossier, 1997b) et nous avons montré qu'en valorisant les ressources acquises de la part de la Société des Eaux (SAU, restructuration, quotas laitiers, équipements) les exploitations peuvent avoir à moyen terme un développement pérenne. D'où l'importance de ces ressources dans le développement endogène par la suite des systèmes de production. Elles constituent en fait un important potentiel de développement pour l'avenir.

En résumé, on peut dire que les exploitations ont valorisé leur rapport avec la Société des Eaux pour améliorer leur performance économique à court terme et pour assurer un développement durable à long terme. Il faut souligner que pour tirer parti de leur rapport avec la Société des Eaux, les exploitations se sont engagées dans une transformation radicale des pratiques agricoles et appliquent un cahier des charges somme toute assez limitatif. L'acquisition des ressources de la part de la Société des Eaux et l'engagement dans le changement des pratiques agricoles aboutissent à l'établissement de relations d'interdépendance entre l'exploitation et la Société des Eaux, qui pourraient limiter l'autonomie des exploitations. C'est ce que nous nous proposons d'étudier maintenant.

3. Relations d'interdépendance

En partant des hypothèses de divers auteurs sur le fonctionnement des organisations comme cadre d'analyse, nous développerons les relations d'interdépendance entre l'exploitation et la Société des Eaux en deux temps. Dans un premier temps, nous analyserons les interdépendances créées par le rapport contractuel et l'échange des ressources entre les deux entreprises. Pour ce faire nous mobiliserons les principes de la théorie de « la dépendance sur les ressources » (Pfeffer et Salancik, 1978). Dans un second temps nous étudierons, en mobilisant la problématique de l'éco-management (Avenier, 1993), les réactions des agriculteurs vis-à-vis des actions de la Société des Eaux.

3.1. Dépendance de l'exploitation vis-à-vis du co-contractant

La dépendance de l'exploitation vis-à-vis la Société des Eaux a deux origines : le rapport contractuel à long terme et l'exploitation gratuite des ressources appartenant à la Société des Eaux. Il résulte de cette dépendance des conséquences au niveau du fonctionnement de l'exploitation et au niveau de ses orientations stratégiques.

3.1.1. Dépendance induite par le contrat

Le contrat entre la Société des Eaux et l'exploitation, certes mutuellement accepté, constitue déjà une contrainte pour cette dernière puisqu'il limite ses marges de manœuvre. En effet le cahier des charges réduit la marge de choix de l'agriculteur en spécifiant des pratiques à suivre et d'autres à éliminer. Il entraîne une transformation radicale des manières de produire et introduit une nouvelle logique de fonctionnement de l'exploitation (logique contractuelle). De plus la durée du contrat (18 ans) renforce les enjeux que représente le rapport contractuel, et implique une *interdépendance durable* entre l'exploitation et la Société des Eaux.

Par ailleurs, la nature de ce contrat détermine les conséquences en terme d'autonomie de l'exploitation. Selon les juristes, les agriculteurs ont principalement à faire avec des « contrats d'entreprise » ou des « contrats de travail » selon qu'il y a un lien de subordination ou non entre l'exploitation et le co-contractant. « Concrètement, l'agriculteur qui s'engage vis-à-vis d'une association de pêcheurs à maintenir accessibles les berges d'un cours d'eau en utilisant *les moyens de son choix* ne saurait être considéré autrement que comme un entrepreneur. En revanche, celui chargé de procéder à l'entretien des abords d'un site remarquable qui promet de respecter un *cahier des charges extrêmement précis* et d'accomplir sa mission selon un *calendrier rigoureux*, le tout sous le *contrôle périodique* d'un technicien spécialisé, pourrait éventuellement être reconnu fondé à revendiquer la qualité de salarié » (Gilardeau, 1992, p. 223, italiques ajoutés par nous).

Dans notre cas d'étude, l'agriculteur n'utilise pas les moyens de son choix. Il est tenu à appliquer un cahier des charges extrêmement précis. Par contre, le contrat ne mentionne pas un calendrier de travaux. Quant aux modalités de contrôle, elles ne sont pas explicitement définies. Néanmoins par l'intervention d'AV (travail, soutien technique, visites), la Société des Eaux peut contrôler l'application du cahier des charges par l'exploitant. Il résulte de ces caractéristiques que le contrat passé entre l'exploitation et la Société des Eaux est plus proche du contrat de travail que de celui d'entreprise. Ceci implique plus de dépendance à l'égard de la Société des Eaux (Gafsi et Brossier 1997a).

3.1.2. Dépendance sur des ressources

Les rapports d'interdépendance entre l'exploitation et la Société des Eaux ne se limitent pas à la forme contractuelle et vont au-delà puisqu'ils contiennent l'affectation de certains moyens de production nécessaires à l'exploitation. Aborder ces rapports sous l'angle du mode de gestion des ressources renvoie à « la théorie de la dépendance sur les ressources » proposée par J. Pfeffer et

G.R. Salancik (1978). Cette approche considère que les ressources sont les éléments essentiels de structuration des liens entre l'organisation et son environnement. Nous rappelons brièvement les principaux éléments de base de cette théorie.

L'organisation est inévitablement liée à son environnement : l'organisation doit acquérir et entretenir des ressources dont elle n'a pas le contrôle total et pour l'obtention desquelles elle dépend de son environnement. L'environnement est un concept essentiel dans la théorie de la dépendance sur les ressources puisque la performance de l'organisation dépendra de ses rapports avec lui. Mais les auteurs de cette théorie insistent sur le fait que les organisations ont une importante capacité d'adaptation à l'environnement.

La dépendance des organisations : pour acquérir des ressources, l'organisation doit obtenir le soutien des groupes externes. En échange de ce soutien, ces groupes exigent des contreparties de la part de l'organisation, ce qui amène des situations de dépendance de l'organisation vis-à-vis des groupes qui détiennent les ressources. Les groupes n'ont pas le même poids ; les plus importants sont ceux qui détiennent des ressources critiques pour l'organisation. Selon J. Pfeffer (1982), la réponse d'une organisation aux exigences d'un groupe dépend de (i) l'importance des ressources considérées pour son développement ou sa survie, (ii) le contrôle effectivement exercé par le groupe extérieur sur l'allocation ou l'usage de ces ressources, (iii) l'existence ou non des ressources alternatives accessibles.

Le rôle des dirigeants de l'organisation est la gestion « des dépendances extérieures pour remplir deux objectifs : assurer la survie de l'organisation et acquérir plus d'autonomie et de liberté vis-à-vis des contraintes extérieures » (Pfeffer, 1982).

Dans notre cas, cette théorie constitue un cadre d'analyse tout à fait pertinent pour étudier les relations de dépendance entre les exploitations et la Société des Eaux autour des ressources et leur évolution. Avant d'analyser ces relations, nous retracerons leur évolution

avant et après le changement, avec une inversion des situations de dépendance sur des ressources.

Renversement des rapports de dépendance sur des ressources

En effet on peut considérer que la ressource dont la Société des Eaux a besoin est un espace dans le sol qui permet de « stocker » l'eau minérale d'une certaine qualité. L'agriculteur, de la même façon qu'il a besoin de terre a aussi besoin d'une place pour entreposer des flux de matière non utilisés par les plantes tels que les nitrates. Cet espace de stockage est, alors, un bien d'usage incompatible (Schmid, 1987), car il ne peut à la fois servir pour stocker les excédents de nitrates non utilisés par les plantes et servir pour garder de l'eau minérale « propre ». Vu de cette manière, le problème est de savoir qui est propriétaire de cette partie du sous-sol qui s'avère être un bien d'usages incompatibles. Actuellement selon la loi, ce sont les agriculteurs qui sont propriétaires de cette ressource. Comme tout non-propriétaire d'une ressource nécessaire pour sa fonction de production, la Société des Eaux essaye de se procurer cette ressource. Nous sommes donc bien dans le cadre de la dépendance par les ressources. Mais cette entreprise est en position dominante, économiquement et politiquement⁶. Elle a donc cherché à acheter les terres pour assurer leur gestion de telle façon que les nitrates ne puissent pas percoler dans le sol. Cette solution a permis à l'entreprise de se rendre propriétaire de plus de 40 % du territoire agricole. Ne voulant pas gérer elle-même ces terres, l'entreprise les rétrocède aux agriculteurs. En fait, elle utilise ces terres comme un moyen de négociation avec

⁶ La Société des Eaux est leader sur le marché des eaux minérales. En 1988, l'année où elle a posé le problème de la protection de son eau, elle a réalisé un chiffre d'affaires de 1064 millions de francs, soit cinquante fois le chiffre d'affaires de l'ensemble des exploitations sur le périmètre. Localement cette entreprise occupe une place importante dans l'activité économique et la dynamique de la zone. Elle emploie un effectif de 1400 salariés, dont la moitié est implantée sur le canton où se situe l'entreprise. En plus, la présence de l'entreprise favorise le développement d'une forte activité touristique : elle accueille chaque année près de 3000 curistes.

les agriculteurs. Elle renverse ainsi sa position en devenant propriétaire d'un bien essentiel pour les agriculteurs, ce qui lui permet de faire passer le contrat avec l'application du cahier des charges. Nous sommes alors partis d'une situation où les agriculteurs détiennent la ressource dont la Société des Eaux a besoin pour se trouver finalement dans une situation où cette entreprise détient des ressources nécessaires aux exploitations agricoles (Gafsi et Brossier, 1995). Cette situation finale est plutôt marquée par des relations d'interdépendance (dépendance réciproque) : la Société des Eaux détient des ressources exploitées par les agriculteurs et ces derniers détiennent toujours l'espace de « stockage » dans le sous-sol (ils sont propriétaires de plus de 55 % des terres agricoles sur le périmètre) qui est une ressource vitale pour l'entreprise.

Rapports d'interdépendance après le changement

Les ressources sur lesquelles portent les rapports d'interdépendance après le changement sont : le foncier, le travail et le financement. Ces ressources sont mises à la disposition des exploitations d'une façon durable (18 ans, sauf pour les subventions) par la Société des Eaux.

Concernant le foncier - le *premier* type de ressources - la Société des Eaux est propriétaire de près de la moitié des surfaces agricoles. Pour ne pas être soumise au statut de fermage qui donne une liberté relative au fermier dans le choix de son système de production, ces terres sont distribuées et mises à la disposition des agriculteurs signataires gratuitement pour une durée de 18 ans. Les terres de la Société des Eaux représentent une bonne proportion de la SAU, 52 % en moyenne (Tableau 2). Avec le foncier, la Société des Eaux fournit des quotas laitiers permettant aux agriculteurs d'augmenter leur production laitière. On imagine clairement le moyen de pression directe de la Société des Eaux pour le bon respect des conventions du contrat, puisque l'attribution de ces terres est directement liée à l'application du cahier des charges. Pour l'instant, les agriculteurs interro-

gés voient un faible risque lié au statut des terres de la Société des Eaux.

L'apport de travail d'AV représente 23 % du total des travaux saisonniers dans les exploitations, stratégiquement importants car correspondant aux périodes de pointes. La majorité des agriculteurs considèrent que AV joue un rôle déterminant dans la gestion du travail sur les exploitations. Cependant, il résulte de cet apport de travail une certaine présence permanente des salariés d'AV dans les exploitations. Cette présence pourrait être sentie par les agriculteurs comme une forme de contrôle.

Enfin le *troisième* type de ressource porte sur les investissements réalisés par la Société des Eaux et les subventions aux agriculteurs. Le montant des investissements tourne autour d'un million de francs. Ces investissements sont la propriété de la Société des Eaux durant la période du contrat (18 ans). Leur usage a été clairement mentionné dans le contrat et l'agriculteur est tenu à le respecter. Quant aux subventions versées par la Société des Eaux aux agriculteurs signataires, elles représentent une proportion importante dans les revenus disponibles de ces agriculteurs (55 %), ce qui constitue un indicateur, certes indirect, mais fort de dépendance de ces exploitations.

L'acquisition et l'exploitation par les agriculteurs de ces trois types de ressources crée une forme d'interdépendance durable entre les exploitations et la Société des Eaux. Quelles sont les conséquences potentielles de cette interdépendance exploitation - Société des Eaux au niveau du fonctionnement et des orientations stratégiques de l'exploitation ?

3.1.3. Conséquences des rapports d'interdépendance

Conséquences au niveau du fonctionnement de l'exploitation

Certaines pratiques introduites par le cahier des charges sont assez contraignantes : zéro pesticide, limitation des engrais, proportion limitée de céréales dans l'assolement, rotation prédéfinie, etc. Ces pratiques modifient énormément le fonctionnement de

l'exploitation, d'autant plus que la Société des Eaux peut contrôler directement le respect de ces pratiques. Par ailleurs, il est évident que AV, en réalisant une partie des travaux (Tableau 5), intervient dans le fonctionnement de l'exploitation. Le nombre moyen par mois de passages du personnel d'AV sur l'exploitation varie de 3 chez l'agriculteur Z à 4.8 chez l'agriculteur C, soit une fois par semaine. La Société des Eaux (via AV) peut ainsi suivre de près le fonctionnement de l'exploitation et contrôler l'application du cahier des charges. Ceci peut représenter dans certaines situations une forme de contrôle. Notons cependant que les cinq agriculteurs affirment qu'AV ne réalise des travaux sur leurs exploitations qu'après une demande de leur part ou une concertation entre les deux. Il faut reconnaître que certains des exploitants suivis sont les premiers signataires, ceux pour qui les changements étaient les moins importants (agriculteurs C et S) ou qui souhaitaient les faire (agriculteur Z). Ces derniers sont plutôt satisfaits de cette opportunité inespérée d'avoir plus de ressources. Les agriculteurs ont malgré tout l'impression que AV les pousse, d'une façon plus indirecte, à adopter un système d'élevage extensif par le biais du système de rotations fixé dans le cahier des charges, des plans de fumure, des surfaces mises à la disposition des exploitations et la gestion des quotas.

Conséquences au niveau des orientations stratégiques

Le contrat signé avec la Société des Eaux n'a pas d'influence directe sur le choix des activités de production dans l'exploitation, mais il fixe, indirectement, le cadre global de ces choix : un système de production extensif. Par le biais des rotations, on ne peut pas dépasser 25 % de SAU en céréales ; par le biais de la limitation du nombre d'UGB, on ne peut pas développer un élevage intensif de viande, etc. Par rapport aux orientations de développement, il est très difficile pour AV d'intervenir dans les grandes décisions qui engagent l'avenir des exploitations ; les agriculteurs ne le consultent pas pour cela. Les cinq agriculteurs considèrent qu'ils n'ont eu aucune limitation des objectifs de production ou

des choix de développement de leurs exploitations. On peut malgré tout faire observer que la Société des Eaux compense la diminution du chiffre d'affaires et surtout du revenu des agriculteurs par une subvention importante : 140 000 F/an, en moyenne. Intervenir sur le revenu, et dans certains cas dans des proportions importantes (plus de 75 % pour certains agriculteurs), c'est *interférer* sur les finalités qu'a la famille sur l'exploitation. Certes, la maximisation du revenu n'est pas la seule motivation, mais elle est importante.

3.2. Autonomie de l'exploitation et situation d'interdépendance

Nous venons d'étudier le premier sens des relations d'interdépendance entre les exploitations et la Société des Eaux ; c'est-à-dire la dépendance sur des ressources de l'exploitation vis-à-vis de l'entreprise d'eau minérale. Pour aborder le deuxième sens de ces relations, nous partons de la problématique de l'éco-management proposée par M.J. Avenier (1993). L'auteur ne considère pas l'environnement comme une sorte de déterminisme auquel l'organisation doit se soumettre pour survivre, et définit les relations entre une organisation et son environnement par les interactions relevant de processus d'éco-management. Chaque organisation « dispose d'une certaine autonomie d'action et d'un certain nombre de cartes qu'elle peut jouer pour tenter d'influencer le cours des choses en sa faveur. Mais aucune d'elles n'a de légitimité à se comporter comme le métapilote d'un quelque chose qui serait forcément actif et sans frontières » (Avenier 1993, p.78). Cela signifie, dans notre cas, que les relations d'interdépendance durable entre les exploitations et la Société des Eaux ne suppriment pas l'autonomie des exploitations. Les agriculteurs peuvent manifester une autonomie « réactive » (Mélèse, 1990), c'est-à-dire réagir à des actions de la Société des Eaux qu'ils jugent relevant des rapports d'interdépendance asymétrique ; comme ils peuvent manifester une autonomie « active », en influant sur la Société des Eaux. Nous commencerons par étudier certains cas de réactions des

agriculteurs. Ensuite, nous examinerons des facteurs déterminants dans ces réactions.

3.2.1. Réactions des agriculteurs

A partir de l'étude de quelques cas enregistrés de réactions, nous présenterons trois types de réactions des agriculteurs. Notons que ces cas ne représentent pas le processus global d'interaction entre les agriculteurs et la Société des Eaux. Nous tenons à faire cette précision pour éviter une interprétation uniquement conflictuelle des rapports entre les exploitations signataires et la Société des Eaux.

R1 - Réaction négative et adaptation interne : dans une phase de transition de changement (en 1994) des agriculteurs signataires ont utilisé, d'une façon limitée, des produits de traitement pour lutter contre des limaces. Alors qu'elle a toléré ce traitement pour d'autres agriculteurs signataires, la Société des Eaux a vivement protesté auprès de l'agriculteur C, en l'empêchant de continuer ce traitement. En se conformant à la décision de la Société des Eaux, l'agriculteur a très mal ressenti cette intervention. En fait, ses marges de manœuvre sont vraiment réduites : pratiquement la totalité de ses terres exploitées appartient à la Société des Eaux, sa situation économique et financière était critique (l'exploitation sans les aides de la Société des Eaux aurait disparu), ses résultats techniques sont faibles (il n'a réalisé son quota laitier qu'en 95-96), etc. D'ailleurs cet agriculteur est suivi de près par un représentant d'AV, qui est intervenu dans des décisions d'investissement de matériel dans l'exploitation.

R2 - Réaction externe faisant intervenir un tiers : comme convenu dans le contrat, la Société des Eaux a fait construire des plates-formes pour le compostage du fumier. Les choix techniques et les dimensions de cet ouvrage, notamment de la fosse à lisier pour récupérer le jus du compost, sont fixés par elle. Certains choix se sont avérés mal adaptés et certains agriculteurs ont enregistré des débordements des fosses à lisier pendant les périodes pluviales. Les demandes des agriculteurs à AV, de

trouver une solution, n'ont pas abouti. Pour faire pression sur la Société des Eaux, l'agriculteur G (qui ne figure pas parmi les cinq étudiés) a fait intervenir la presse en publiant un article dénonçant l'attitude de celle-ci et ses choix. Sous cette pression, la Société des Eaux a fait couvrir les plates-formes.

R3 - Réaction externe directe : la Société des Eaux a empêché l'agriculteur S de stocker des bottes de pailles sur la plate-forme de compostage pendant l'été, période où cette plate-forme est libre. Elle a envoyé une lettre recommandée fixant un ultimatum d'une semaine, au-delà duquel elle romprait le contrat signé avec lui trois ans plus tôt. L'agriculteur a protesté contre cette intervention et la « méthode d'ultimatum ». Il a refusé d'enlever la paille et l'a gardée sur la plate-forme pendant tout l'été. L'agriculteur a une bonne situation économique et technique qui lui permet d'avoir une bonne marge de manœuvre. Autre cas de réaction externe directe, l'agriculteur B a vivement protesté contre l'action d'AV de planter des haies, dans le cadre d'un projet de reboisement, dans une parcelle appartenant à la Société des Eaux et mise à la disposition de l'agriculteur, sans avoir demandé son avis. En lui proposant l'attribution des hectares en plus pour l'année en cours, AV a arrangé ce problème avec l'agriculteur.

Notons que le premier et le deuxième type de réaction portent sur le fonctionnement de l'exploitation. Ils illustrent les conséquences des rapports d'interdépendance sur le fonctionnement de l'exploitation et la différence de réaction des agriculteurs selon leurs marges de manœuvre. Le troisième type de réaction montre que l'utilisation des ressources (investissement et foncier) appartenant à la Société des Eaux ne prive pas les agriculteurs de possibilités de réagir à ce qu'ils perçoivent comme une action de contrôle de la part de la Société des Eaux. Ces derniers cas de réaction permettent de relativiser la dépendance sur les ressources de l'exploitation vis-à-vis de la Société des Eaux. Il faut souligner, enfin, que l'autonomie des exploitations ne se réduit pas à la forme réactive (réagir aux actions de la Société des Eaux). Les

agriculteurs ont des moyens pour exercer une influence sur la Société des Eaux. D'une part, propriétaires de plus de la moitié de la surface agricole sur le périmètre de protection de la nappe, ils détiennent toujours l'espace de « stockage » de l'eau minérale dans le sous-sol, qui est une ressource vitale pour la Société des Eaux. D'autre part, en mobilisant les médias, ils peuvent exercer une pression sur la Société des Eaux qui est très soucieuse de son image de marque sur le marché.

3.2.2. Facteurs déterminants de la réaction des agriculteurs

Il ressort de l'étude des cas de réactions des agriculteurs, que deux facteurs sont déterminants dans l'autonomie de l'exploitation : la situation technico-économique de l'exploitation et les valeurs de l'agriculteur.

Réserves propres, situation de l'exploitant : il s'agit principalement des ressources propres à l'exploitation (capitaux, équipements, foncier), de ses résultats technico-économiques (indicateurs de performance de l'exploitation et de la compétence de l'agriculteur). La différence des réactions des exploitants C et S est expliquée par la marge de manœuvre permise par la propriété des ressources. Notons à ce propos que certains agriculteurs sont très sensibles à la question de la propriété des ressources nécessaires. A titre d'exemple, l'agriculteur T a refusé de vendre le moindre hectare de terre à la Société des Eaux et justifie sa décision par le fait qu'il « veut être maître chez (lui) ». Cependant, cela ne l'a pas empêché

d'exploiter des terres mises gratuitement à sa disposition par l'entreprise. Par ailleurs, les réserves propres ont été identifiées par des auteurs des théories des organisations (Morgan, 1989 ; Mèlèse, 1990) comme étant une condition nécessaire à l'autonomie d'une organisation.

Valeurs de l'agriculteur, perception de la dépendance : la réaction de l'agriculteur aux rapports d'interdépendance asymétrique dépend premièrement de la perception qu'il a de ses rapports avec la Société des Eaux. Sont-ils des rapports de pouvoir et de contrôle, ou au contraire des rapports de transaction et d'interaction bilatérale ? Or la perception elle-même et notamment l'ouverture aux interdépendances avec l'environnement socio-économique dépend des valeurs de l'agriculteur. Les agriculteurs B, C, S et Z ont une vision entrepreneuriale, et sont très ouverts aux interdépendances externes. Ils favorisent la croissance (beaucoup d'investissements impliquant un fort endettement) sur l'autonomie. D'autres agriculteurs (T et G) ont plutôt une vision patrimoniale et sont moins ouverts aux interventions extérieures et privilégient l'indépendance sur la forte croissance. Ce dernier type d'agriculteurs attache beaucoup d'importance aux « frontières » de l'exploitation, car elles permettent de fonder son identité et son autonomie.

Le croisement de ces deux facteurs permet d'expliquer les types de réactions des agriculteurs. Dans la Figure 2 nous avons classé les agriculteurs par rapport à ces deux facteurs, ainsi que les trois types de réactions cités ci-dessus.

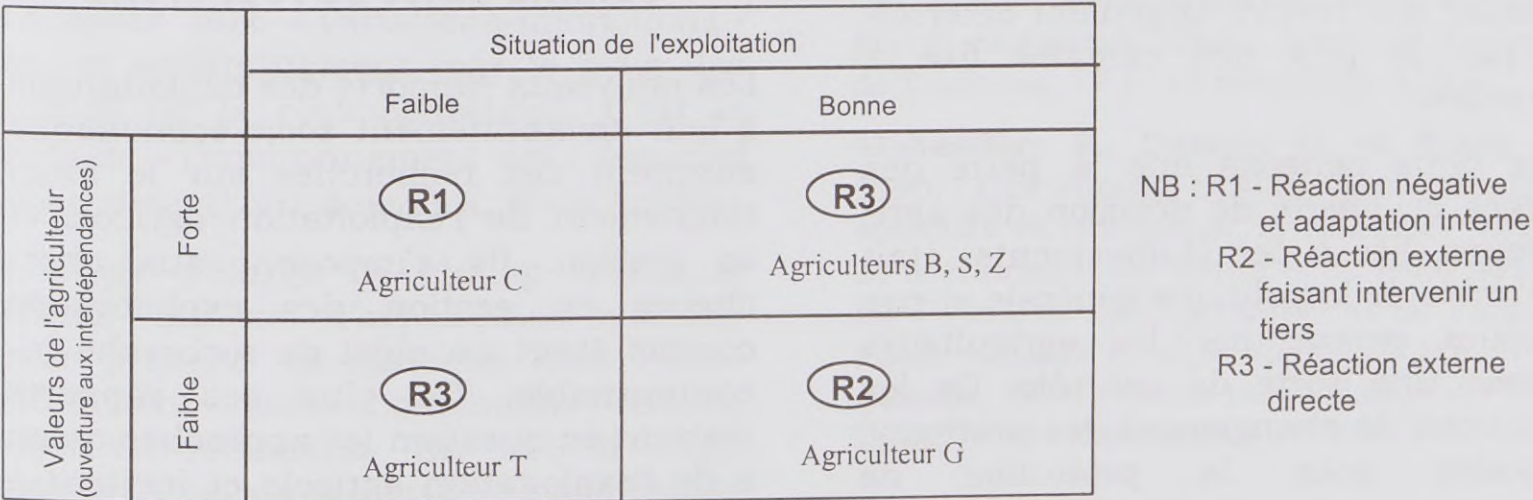


Figure 2 : Typologie des réactions des agriculteurs aux actions de la Société des Eaux

4. Discussion : valorisation des rapports au contexte local et autonomie de l'exploitation

4.1. Changement contractuel et autonomie de l'exploitation

Le changement des pratiques agricoles pour la protection de l'environnement naturel fait-il perdre aux exploitations leur autonomie ? Le fait que ce changement soit contractuel et local n'implique-t-il pas une forte intégration de l'exploitation dans son contexte local ? Les exploitations affrontent-elles pour la première fois ce défi d'intégration ?

Les exploitations agricoles ont connu dans leur histoire de grands bouleversements qui ont augmenté significativement leur intégration dans l'économie générale. Cette intégration s'est traduite par la construction d'un tissu dense d'interdépendances entre les exploitations et les organisations et organismes environnants. Ces interdépendances sont souvent asymétriques, ce qui entraîne des situations de perte d'autonomie pour l'exploitation. D'après H. Coudrieau (1990), les exploitations agricoles ont perdu de leur autonomie deux fois : la première, essentiellement à la fin de la guerre mondiale, avec l'industrialisation de l'agriculture (forte capitalisation de l'activité agricole ce qui l'a rendu très dépendante de la banque). La deuxième fois dans les années 80 avec « l'eupéanisation » de l'agriculture : le producteur de lait voit son revenu suspendu à la politique des quotas et le céréalier son revenu largement déterminé par le prix des céréales fixé à Bruxelles.

Mais nous pensons que la perte des marges de liberté de décision des agriculteurs, liée à ces changements, était de l'ordre de la politique générale et pas toujours perçue par les agriculteurs comme une sorte de contrôle. Or les situations de changement des pratiques agricoles pour la protection de l'environnement associent étroitement plusieurs acteurs locaux, dont certains sont des nouveaux venus dans le champ

de l'agriculture comme des entreprises d'eau, les agences de bassin, les collectivités locales. Ces nouveaux acteurs locaux sont plus volontaristes que les anciens et leurs actions de contrôle sont donc plus visibles. Le comportement de ces nouveaux acteurs réduit-il considérablement l'autonomie de l'exploitation ?

Notre travail, ainsi que d'autres travaux sur des changements de pratiques agricoles pour la protection de la qualité de l'eau (Morlon *et al.*, 1996 ; Diot, 1996), montrent que le changement contractuel, certes, réduit la marge d'autonomie de l'exploitation, mais pas au point que l'exploitation devienne dépendante des acteurs locaux. De plus, notre cas représente une situation où on a le cumul de l'interdépendance par le rapport contractuel et par l'échange de ressources, ce qui devrait favoriser l'emprise de la Société des Eaux. Or, nous avons vu que le contrôle exercé par cette dernière est limité et que les agriculteurs disposent des moyens pour influencer sur l'entreprise d'eau minérale. Par contre ces situations de changement contractuel impliquent beaucoup d'ouverture de l'exploitation (Osty, 1994) et une participation active dans la dynamique interactive, pour valoriser le potentiel des relations d'interdépendance. La conception de l'exploitation et de sa gestion doivent évoluer pour rendre compte de la richesse des processus d'interactivité que développe et valorise l'exploitation avec les autres organisations dans son environnement socio-économique.

4.2. Les rapports à l'environnement comme objet de recherche

Les nouveaux rapports des exploitations à leur environnement socio-économique suscitent des recherches sur le fonctionnement de l'exploitation agricole et sa gestion. Ils s'imposent aux chercheurs en gestion des exploitations comme étant un objet de recherche incontournable. De plus ces rapports mettent en question les approches qu'on a de l'exploitation agricole et incitent à une approche renouvelée valorisant la notion de « l'organisation active » (Le Moigne, 1990 ; Avenier, 1993).

Certes, les exploitations ont été protégées par l'administration publique (prix soutenus, garanties pour pouvoir écouler la production) ce qui a incité probablement les chercheurs à attribuer peu d'attention aux rapports de ces exploitations à leur environnement socio-économique. Dans la modélisation du fonctionnement de l'exploitation, ce sont les relations et les interactions internes qui ont été privilégiées par les chercheurs. « L'exploitation agricole est certes représentée par un système ouvert, mais les relations de l'organisation avec son environnement sont mises hors du champ d'étude. L'environnement économique est appréhendé comme une sommation abstraite de multiples facteurs et processus dits « extérieurs » ou « globaux », qui agiraient sur l'exploitation comme autant de contraintes auxquelles l'agriculteur est censé s'adapter » (Brossier et Valceschini, 1991, p. 6). Cette représentation met l'exploitation dans une position inconfortable par rapport aux changements dans son environnement socio-technique. Certes, elle dispose d'une marge de manœuvre pour « agir et réagir face aux changements extérieurs, mais ce dans un processus de type stimulus-réponse, d'adaptation de son organisation aux variations-injonctions de l'environnement » (Valceschini 1990, p. 272). Elle prive l'exploitation de son caractère actif, de l'initiative pour valoriser des ressources externes et améliorer ses performances. D'où la nécessité d'une approche renouvelée de l'exploitation agricole qui consiste à considérer l'exploitation comme une organisation active, agissant sur son environnement (les autres organisations) et non uniquement condamnée à s'adapter aux « variations-injonctions » de cet environnement (par le biais des prix et de la réglementation). C'est le sens de « l'environnement agi » (*enacted environment*) que défend K. Weik (1979).

Il s'agit d'élargir le champ d'analyse actuel, qui est l'exploitation-système, pour prendre les relations avec l'environnement socio-économique comme objet de recherche. En fait, il s'agit moins d'une simple prise en compte de ces relations dans l'étude, que d'un nouveau regard sur la conception même de l'exploitation. Certes, la théorie du

comportement adaptatif (Petit, 1981 ; Brossier, 1992 ; Brossier *et al.*, 1997) a renouvelé la conception traditionnelle de l'exploitation, en effectuant un déplacement considérable de la vision exploitation-structure (objets) à la vision exploitation-système, en insistant sur le projet de l'agriculteur et l'approche globale de l'exploitation. Ce que nous proposons consiste alors en un second déplacement de la vision exploitation-système (interactions exploitation - famille) à la vision *l'exploitation-organisation active* (relations). L'exploitation est un processus actif sans frontière (Avenier, 1993) qui dispose d'une autonomie d'action et puise ses ressources dans l'interaction avec son environnement. Ceci implique que les rapports avec l'environnement ne constituent pas uniquement des contraintes « externes », mais soient encore des ressources potentielles pour l'exploitation.

Dans le contexte actuel de changement, cette vision est extrêmement intéressante, surtout dans les situations de changement des pratiques agricoles pour la protection de l'environnement naturel où il y a des enjeux de négociation, de contractualisation et des rapports d'interactivité fort développés. Nous voulons insister sur la dynamique d'interrelation exploitation-environnement, l'exploitation ayant une certaine autonomie d'action.

Bibliographie

Allaire G. Hubert B. et Langlet A., (éds.), 1996. *Nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural. Enjeux et défis identifiés par la recherche*. INRA, Actes du Colloque de Toulouse, 17 et 18 décembre, 313 p.

Alphandéry P., Deverre C. et Rémy J., 1996. Opérations locales agri-environnementales et émergence de nouvelles formes de territorialité. In Allaire *et al.* (éds) *Nouvelles Fonctions de l'Agriculture et de l'Espace Rural : enjeux et défis identifiés par la recherche*. INRA, Actes du Colloque de Toulouse, 17 et 18 décembre : 9-21.

- Arnaud G.**, 1996. Quelle stratégie d'observation pour le chercheur en gestion ? Prolégomènes à toute recherche *in situ*. *Economie et Société*, SG, n° 22, 10/1996 : 235-264
- Avenier M.-J.**, 1989. Méthodes de terrain et recherche en management stratégique, *Economie et Sociétés*, SG, n° 14 : 199-218.
- Avenier M.-J.**, 1993. La problématique de l'éco-management. *Revue Française de Gestion*, n° 93 : 73-85.
- Barbier M.**, 1995. *La Co-Construction du couple produit-territoire : une analyse en terme de réseau technico-économique d'une situation de gestion de la qualité d'une eau minérale*. Communication au Séminaire Qualification des produits et des territoires, Toulouse, 20 p.
- Barbier M.**, 1997. Quant le pollué et les pollueurs se découvrent conventionnalistes. *Revue Française de Gestion*, n° 112 : 100-107.
- Barrué-Pastor M., Deverre C., Billaud J.-P. et Alphanéry P.**, (dir), 1995. *Agriculture, protection de l'environnement et recomposition des systèmes ruraux : les enjeux de l'Article 19*. Ed. CNRS-PIREN, Paris.
- Benoît M.**, 1985. *La gestion territoriale des activités agricoles, L'exploitation et le village : deux échelles d'analyse en zone d'élevage, Cas de la Lorraine (région de Neufchâteau)*. Thèse de Docteur-Ingénieur, INAPG, Paris, 150 p. + annexes.
- Brossier J.**, 1992. *Gestion et agriculture*. Thèse doctorat en Sciences de Gestion, Université de Bourgogne, Dijon, 160 p.
- Brossier J., Valceschini E.**, (éds), 1991. *Les exploitations agricoles et leur environnement : essais sur l'espace technique et économique*. Ed. INRA, Paris, 329 p.
- Brossier J., Chia E., Marshall E., Petit M.**, 1997. *Gestion de l'exploitation agricole familiale - éléments théoriques et méthodologiques*. Ed. ENESAD - CNERTA, Dijon.
- Chia E., Brossier J. et Benoit M.**, 1992. Recherche-Action : Qualité de l'eau et changements des pratiques agricoles. *Economie Rurale*, n° 208-209 : 30-36.
- Coudrieau H.**, 1990. *L'exploitation agricole : pilotage, tensions, complexités*. Ed. Universitaires, Paris.
- Deffontaines J.-P., Benoit M., Brossier J., Chia E., Gras F., et Roux M.**, 1993. *Agriculture et qualité de l'eau, Diagnostic et propositions pour un périmètre de protection* INRA Paris : 336 p.
- Diot F.**, 1996. *L'adoption par les agriculteurs de la mesure agri-environnementale « réduction des intrants » : raisons et conséquences dans le cas du Haut-Saintois (Région Lorraine)*. Mémoire de fin d'étude, ENESAD, Dijon.
- Gafsi M.**, 1997. *Ingénierie d'un processus de changement dans les exploitations agricoles. Cas des modifications de pratiques agricoles pour protéger la qualité d'une eau minérale*. Thèse de Doctorat en Science de Gestion, Université de Bourgogne, 327 p.
- Gafsi M., Brossier J.**, 1995. The farm in an increasingly complex economic and administrative environment : the question of external control. In Beers G., Huirne R. et Puis C. (ed) *Farmers in small-scale and large-scale farming in a new perspective*. Ed. DLO, La Haye : 231-246.
- Gafsi M., Brossier J.**, 1997a. Farm management and protection of natural resources: analysis of adaptation process and the dependence relationships. *Agricultural Systems*, vol 55, n°1 : 71-97.
- Gafsi M., Brossier J.**, 1997b. Exploitations agricoles et protection de la qualité de l'eau - Analyse d'un processus d'adaptation. *Economie rurale*, n° 241 : 3-10.
- Gilardeau J.-M.**, 1992. De l'agriculture à l'environnement : contrats, initiatives privées. *Revue de Droit Rural*, n° 203 : 215-227.
- Gilardeau J.-M.**, 1994. Les contrats naturels. *La Semaine Juridique[JCP]*, Ed N, n° 18-1 : 289-301.
- Girin J.**, 1986. L'objectivation des données subjectives : éléments pour une théorie du dispositif dans la recherche interactive. Communication au colloque FNEGE, Novembre 1986.
- Hatchuel A.**, 1994. Les savoirs de l'intervention en entreprise. *Entreprise et Histoire*, n° 7 : 59-75.
- Jorgensen D.L.**, 1989. *Participant observation. A methodology for human studies*. Ed. Sage Pub. Newbury Park.
- Le Moigne J.-L.**, 1990. *La modélisation des systèmes complexes*. Ed. Dunod, Paris.
- Mélèse J.**, 1990. *Approches systémiques des organisations*. Ed. les Editions d'Organisation (première édition en 1979), Paris.
- Mitchell J.C.**, 1983. Case and situation analysis. *The Sociological Review*, 31 (2) : 187-211.

- Morgan G.**, 1989. *Images de l'organisation*. Ed. Les Presses de l'Université Laval et Editions Eska, Ottawa.
- Morlon P., Soulard C., Guyard P.P., Maigrot J.L., Trouche G.**, 1996. *Comment traiter un problème de pollution par les nitrates ? Evaluation de l'opération du Migennois (Yonne)*. Rapport de recherche, INRA-SAD, Dijon : 97 p.
- Osty P.-L.**, 1994. The Farm Enterprise in its Environment : proposition for structuring an appraisal of strategy. In Brossier J. et al., (ed.) *Systems Studies in Agriculture and Rural Development*, Ed INRA, pp. 362-372. Version actualisée de Osty (1988).
- Petit M.**, 1981. Théorie de la décision et comportement adaptatif des agriculteurs. In *Formation des agriculteurs et apprentissage de la décision*. Actes journée 21 Janvier 1981. ENSSAA-INRA-INRAP : 1-36.
- Pettigrew A.M.**, 1990. Longitudinal field research on change : theory and practice. *Organization Science*, 1 (3) : 267-292.
- Pfeffer J.**, 1982. *Organisations and organization theory*. Ed. Ballinger P.C., Cambridge.
- Pfeffer J., Salancik G.-R.**, 1978. *The external control of organisations : a resource dependence perspective*. Ed. Harper and Row, New York.
- Rojot J., Bergmann A.**, 1989. *Comportement et organisation*. Ed Vuibert, Paris.
- Sebillotte M.**, 1996. *Les mondes de l'agriculture : une recherche pour demain*. Ed. INRA, Paris.
- Schmid A.**, 1987. *Property, Power and Public Choice. An Inquiry into Law and Economics* Ed. NEX-YORK Praeger.
- Torres E.**, 1995. Contrats et conventions de développement patrimonial : la régulation locale des rapports environnement-économie. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°1 : 103-124.
- Valceschini E.**, 1990. Exploitation, filière et méso-système. In Brossier et al. (dir). *Modélisation systémique et système agricole*. Ed. INRA, Paris : 269-282.
- Weick K.**, 1979. *The social psychology of organizing*. Ed. Random House (2e édition), New York.

La coordination entre exploitations agricoles et entreprises agro-alimentaires

Un exemple dans le secteur des légumes transformés

Alain CAPILLON
Egizio VALCESCHINI

INRA – INA-PG, SAD Ile-de-France, 16, rue Claude Bernard, F- 75231 Paris cedex
Tél. : (+33) 01.44.08.16.94 – Fax : (+33) 01.44.08.16.57 – E-mail : capillon@inapg.inra.fr

Résumé

Cet article analyse les relations contractuelles entre les exploitations agricoles et les entreprises industrielles à partir des concepts d'incertitude, de spécificité des actifs et de coûts de transaction. Il s'appuie sur l'étude des coordinations économiques et agronomiques dans le secteur de la transformation des légumes. L'objectif est de montrer que l'efficacité des procédures contractuelles, minimisation des risques et économie sur les coûts de transaction, peut être améliorée grâce à l'élaboration de typologies d'exploitation.

Mots-clés : contrat, coordination, exploitation agricole, incertitude, légumes transformés, spécificité des actifs.

Abstract

Coordinations between farmers and food processors in the vegetable industry: contractual and agronomic issues. This article analyses contractual relationships between farms and canning firms. The analysis is based on concepts of uncertainty, assets specificity and transaction costs. Data are drawn from a case study of agronomic and economic coordinations in the vegetable processing sector. The aim is to show that efficiency of contractual rules, control of risks and transaction costs economies, could be improved through better knowledge of the suppliers based on a comprehensive analysis of the farming systems around the processing manufactory.

Keywords : assets specificity, contract, coordination, farming system, uncertainty, vegetable processing sector.

La déréglementation des marchés agro-alimentaires, la segmentation de la demande, ainsi que la différenciation des produits font souvent affirmer que les relations contractuelles entre les exploitations agricoles et les entreprises industrielles sont susceptibles de se développer. Elles constitueraient un mode d'ajustement économique plus efficace que les mécanismes du marché. Cet article vise à éclairer cette question à partir d'un cas de figure extrême : la coordination par contrat de production

dans le secteur des légumes transformés.

A l'échelle européenne, le secteur des légumes transformés est très hétérogène, tant à cause des nombreuses cultures concernées et de la diversité des techniques de transformation, que du fait de l'existence de structures productives, agricoles et industrielles, très différenciées. L'analyse menée dans cet article est centrée sur les activités d'appertisation et de surgélation. Elle

exclut de son champ les tomates, les champignons et les pommes de terre. Les légumes considérés sont principalement le pois, le haricot vert, le flageolet, les carottes, l'épinard, les scorsonères, le maïs de bouche, etc. L'ensemble de ces légumes destinés à l'industrie représente en 1995 en Europe près de 320.000 hectares de superficies et 3.300.000 tonnes de production. Avec plus du tiers de ces surfaces et un quart de la production, la France est le leader européen. L'analyse s'appuie sur des connaissances précises de la situation (Valceschini, 1996) dans différentes régions françaises (Sud-Ouest et Nord-Picardie), ainsi que sur des investigations menées dans d'autres pays (notamment la Belgique et l'Espagne).

L'analyse des relations contractuelles est menée à partir d'un référentiel théorique (cf. Brousseau, 1993) qui met en avant les concepts d'incertitude, de spécificité des actifs et de coûts de transaction. L'objectif est de montrer que l'efficacité des procédures contractuelles (minimisation des risques et économie sur les coûts de transaction) peut être sensiblement améliorée grâce à une approche globale des exploitations agricoles.

Dans la première partie sont analysées les motivations économiques et agromatiques qui conduisent des agriculteurs et un industriel à régler leurs transactions par un contrat de culture. La deuxième partie montre que le contrat formel est inséré dans un dispositif de coordination qui repose également sur des procédures de planification et sur un contrat relationnel. Du point de vue de l'industriel, l'efficacité de ce dispositif dépend pour partie de la sélection des fournisseurs. Les typologies d'exploitations constituent à cet égard un outil qui permet d'améliorer la coordination. La troisième partie met en évidence que l'importance croissante des ajustements en temps réel nécessite de réviser les procédures de coordination, en particulier le système d'information et de contrôle sur les fournisseurs.

1. La contractualisation des transactions : les motivations des acteurs

La question traitée dans cette partie est la suivante : quelles sont les motivations économiques qui poussent les producteurs de légumes et les transformateurs industriels à régler leurs transactions par des contrats qui présentent deux caractéristiques essentielles : (i) ils sont passés avant la production agricole, (ii) ils comportent aussi bien des clauses de prix que des clauses concernant les techniques de culture ?

Trois facteurs déterminent, selon nous, le recours à des contrats de production plutôt qu'aux mécanismes du marché (contrat « spot »).

1.1. La dépendance de l'industriel vis-à-vis des fournisseurs agricoles

L'activité de transformation des légumes a pour fonction de stabiliser des produits saisonniers et hautement périssables. Leur vente et leur consommation peuvent ainsi être étalées tout au long de l'année et avoir lieu sur un marché dont la géographie dépasse largement l'espace du bassin de production agricole. Le degré d'élaboration du produit final est faible et met en jeu des technologies de transformation relativement simples et maîtrisées, principalement l'appertisation (conservation en boîte métallique) et la surgélation. En revanche, l'activité du transformateur est fortement contrainte par les caractéristiques de la matière première agricole.

1.1.1. Qualité de la matière première et qualité du produit final

Les caractéristiques du légume transformé prêt à consommer sont en rapport étroit avec les critères qui spécifient la qualité du légume en provenance du champ. L'aspect du légume transformé (forme, couleur, taches,...), sa qualité organoleptique et sa qualité sanitaire

(présence de résidus, etc.) sont directement liés aux caractéristiques et à l'état de maturité du légume brut à l'entrée des appareils de fabrication. Les industriels ont l'habitude de dire que « 80% de la qualité du produit fini se joue au champ ». L'objectif de la transformation se limite essentiellement à ne pas dégrader la qualité de la matière première¹.

1.1.2. Productivité industrielle et performances agricoles

La productivité des processus industriels dépend pour une grande part de la qualité technologique (aptitude à la transformation) du légume brut et de l'homogénéité des lots récoltés. Le fonctionnement optimal de l'unité de transformation est lié à la régularité des flux de matière première. La maîtrise de la conformité du produit fini au standard prédéfini dépend des réglages des appareils de transformation et de conditionnement. Or, la difficulté du réglage provient, en grande partie, de l'hétérogénéité des lots de légumes bruts. Ceci souligne l'importance de l'homogénéité des lots et leur régularité à l'entrée des lignes de fabrication. A la qualité technologique du légume s'ajoute ainsi une « qualité de service » des lots.

En termes de productivité comme de qualité, les performances du transformateur industriel sont donc étroitement dépendantes de l'efficacité des fournisseurs agricoles. Les caractéristiques du produit final ainsi que son coût sont essentiellement déterminés par les caractéristiques et l'état du légume brut et par le rendement des cultures. Une indication grossière, mais significative de cette dépendance est donnée par la structure des coûts. Globalement, 35% (appertisés) à 50% (surgelés) du prix de revient sont imputables au coût de la matière première agricole.

1.2. Incertitudes et spécificité des transactions

Les incertitudes qui entourent la mise en oeuvre de l'itinéraire technique², ainsi que certaines caractéristiques structurelles des exploitations agricoles d'un bassin de culture confèrent aux transactions entre les fournisseurs et le transformateur un fort degré de spécificité. On entend par spécificité le degré avec lequel un actif peut être redéployé dans un usage et pour un usager alternatif sans perte de valeur (Williamson, 1975, 1996).

1.2.1. Incertitude exogène et spécificité temporelle : l'instabilité de la matière première

Le principal facteur d'incertitude exogène à la transaction tient aux propriétés biologiques du légume, en particulier à son instabilité (tableau 1). La culture légumière est très sensible aux variations climatiques et les légumes récoltés constituent une matière première non seulement périssable, mais surtout en évolution constante et rapide. Cette instabilité signifie que le légume change rapidement de classe de qualité. Cet aspect est encore renforcé par le fait que les légumes sont caractérisés par une « maturité industrielle » précise qui empêche pratiquement toute souplesse en matière de récolte. Ainsi le petit pois doit être récolté à la bonne tendreté, c'est-à-dire à une date déterminée, et on dispose d'un délai réduit de 2 à 3 jours seulement pour la récolte. Le délai dont on dispose pour récolter les haricots et les petites carottes, par exemple, au calibre déterminé ne dépasse pas quelques jours. L'évolution de ces légumes en maturité est tributaire du milieu physique (température, vitesse de réchauffement des sols) et de la variété (ce qui explique que d'une manière générale les variétés sont sélectionnées pour être d'évolution lente).

¹ Une « qualité ajoutée » peut également provenir du mode d'emballage (boîte un quart, sachet vrac, etc.) et d'ouverture, ainsi que d'une élaboration plus importante des produits (purées et mélanges par exemple). D'une manière générale cependant on peut considérer que l'activité de transformation confère au légume peu de "qualité ajoutée".

² L'itinéraire technique est la combinaison logique et ordonnée des techniques culturales appliquées à une culture, en vue d'atteindre des objectifs divers (rendement, qualité, effets sur le milieu, etc.), accompagnée des raisons qui justifient ces choix (Sebillotte, 1978).

Les principales caractéristiques techniques de ces légumes sont données dans le Tableau 1.

L'extrême instabilité du produit objet de la transaction implique de minimiser les temps de transport, donc de localiser l'unité de transformation à proximité de la zone de culture. A cause du faible délai entre la récolte et la transformation (3 à 6 heures pour le petit pois par exemple), et de l'impossibilité de constituer des stocks tampons de matière première, l'approvisionnement de l'usine pendant la campagne de fabrication est réalisé en « flux tendus ». A la spécificité temporelle est étroitement associée une spécificité de site.

1.2.2. Incertitude endogène et spécificité de site : les caractéristiques structurelles des producteurs agricoles

L'incertitude endogène provient de l'atomisation de la production agricole qui contraint une unité de transformation à faire appel à une multitude de fournisseurs d'un même bassin d'approvisionnement pour obtenir les volumes de matière nécessaire aux économies d'échelles. Ces fournisseurs se trouvent dans des conditions agro-climatiques diverses qui peuvent avoir pour conséquences l'hétérogénéité des lots et l'irrégularité des flux de matière brute.

	Critères	Pois			Carotte		Scorsonère
		Lisse	Ridé	Garden	Jeune	Grosse	
Caractéristiques temporelles	Type légume		Grain		Racine	Racine	Racine
	Période récolte		Juillet		Juillet	Septembre	Hiver
	Durée récolte		35 jours		40 jours	60 jours	100 jours
	Contraintes	Tendérométrie, calibre, grains cassés			Longueur, collet, aspect et rugosité de surface		
Caractéristiques de la transformation	Nb de calibres		5		3	1	1
	Qualité	Tendérométrie, calibre, tâches, cassés, couleur.....			Forme, collet.	Couleur, taille...	Collet, longueur
Caractéristiques de l'approvisionnement	Transport	En moins de 2 heures			En moins de 2 j	Plusieurs jours	Plusieurs jours
	Matériel récolte	Matériel commun au pois et au flageolet			Commun aux légumes racines		Lég. racine
	Région appro.	Nord			Nord		Nord
	Climat	Tempéré			Humide		Semi-humide
Caractéristiques agronomiques	Pédologie	Sol aéré (synthèse azote organique)			Sols sableux sans cailloux		
	Type exploit.	Présence d'un autre légume souhaitée (intensification)			Fréquence de retour - de 6 ans		

Tableau 1 : Caractéristiques techniques de quelques légumes

Pour maîtriser ces phénomènes et les risques techniques qu'ils font peser sur l'activité de transformation, l'industriel est dans l'obligation de gérer son approvisionnement en organisant la complémentarité entre les divers fournisseurs du bassin de culture (répartition des variétés, échelonnement des dates de récolte, etc.). Le bassin de culture est pour l'industriel l'unité de gestion pertinente de son approvisionnement.

Cette nécessité d'organiser l'implantation des cultures confère à la transaction avec les agriculteurs une double dimension : des relations individuelles avec des fournisseurs indépendants et une relation bilatérale avec un ensemble d'opérateurs considéré comme un producteur collectif. La coordination de nombreux fournisseurs agricoles au sein d'un bassin de collecte comporte ainsi une particularité essentielle. Il ne s'agit pas seulement de coordonner verticalement les fournisseurs et l'industriel, mais aussi de coordonner horizontalement les agriculteurs entre eux. Ils constituent *de facto* un « producteur collectif » à centres de décision multiples et chaque transaction élémentaire entre un fournisseur et un industriel dépend de toutes les autres transactions   l  mentaires³. Synchroniser la coordination verticale et la coordination horizontale correspond à une planification : un pilotage centralisé et une gestion simultanée d'un ensemble de transactions entre l'acheteur et les fournisseurs.

1.3. Des transactions marquées par de fortes asymétries d'information

Dépendance, incertitude et spécificité accroissent considérablement les risques liés aux asymétries d'information entre fournisseurs et transformateurs.

³ Ce qui constitue une différence fondamentale avec la situation des donneurs d'ordre dans l'automobile, qui peuvent gérer individuellement les transactions avec les sous-traitants.

1.3.1. Action cachée et risque moral

Sur l'industriel pèse principalement un « risque moral ». *A priori* en effet, l'industriel en effet ne connaît ni la compétence du fournisseur et la qualité de son travail, ni l'effort qu'il fournit⁴. Le comportement de l'agriculteur dans son activité de production s'apparente pour le transformateur à une action cachée. Pour remédier à cette situation, deux stratégies, non exclusives l'une de l'autre, sont envisageables pour l'industriel : superviser l'activité de production ou sélectionner *ex ante* les fournisseurs.

La stratégie de supervision consiste à mettre en place un dispositif d'observation et de contrôle en temps réel de l'activité productive du fournisseur. Cette action de « suivi technique » permet de s'assurer de la conformité des méthodes et des pratiques de culture au cahier des charges de la transformation. Poussée à l'extrême cette solution aboutit à ce que l'industriel réalise lui-même certaines opérations comme, par exemple, l'implantation de la culture, les traitements phytosanitaires ou la récolte. Cette stratégie suppose alors que l'agriculteur délègue son autorité technique et sa responsabilité à l'industriel (ou que l'entreprise industrielle intègre l'activité agricole).

La stratégie de sélection des fournisseurs suppose de mettre en place un dispositif d'acquisition d'information sur l'intérêt, les compétences et les pratiques de l'agriculteur en matière de production légumière, ainsi que sur les caractéristiques technico-économiques de son système d'exploitation. Le but est de sélectionner *ex ante* les agriculteurs offrant *a priori* le plus de garantie quant au respect du cahier des charges, en matière de capacité organisationnelle, de comportement stratégique et de compétence technique.

⁴ Le risque d'opportunisme lié à cette asymétrie d'information est encore renforcé par la place minoritaire (rarement plus de 15%) de la culture légumière dans les exploitations agricoles et son caractère spéculatif, ainsi que par les faibles investissements spécifiques qu'elle nécessite. L'agriculteur possède donc une large marge de manoeuvre dans ses choix.

1.3.2. Information cachée et sélection adverse

Le producteur agricole engagé dans la culture du légume destiné à la transformation subit pour sa part un risque inhérent à un autre type d'asymétrie informationnelle : le risque de « sélection adverse ». Dans la mesure où pour écouler son produit, l'agriculteur est entièrement tributaire de l'industriel, dont il ne connaît pas précisément les conditions de marché en aval, il est soumis au comportement loyal (ou déloyal) du transformateur pour l'acceptation, l'évaluation et la rétribution de la matière première⁵.

La dépendance, la spécificité des transactions et les asymétries informationnelles constituent des obstacles majeurs à un ajustement entre l'offre et la demande de légumes par le strict mécanisme des prix de marché. Dans le secteur des légumes transformés, toute transaction se présente à la fois comme un acte d'échange et un acte de production. Un accord plus complexe que le simple accord commercial d'achat/vente est nécessaire pour soutenir la coordination entre le transformateur et les fournisseurs agricoles au niveau d'un site agro-industriel⁶. Il ne s'agit pas seulement en effet d'ajuster une offre et une demande, mais de coordonner au sens de mettre en oeuvre des « procédures qui rendent compatibles les plans des unités économiques élémentaires, ou qui obligent celles-ci à modifier ces plans au cours du temps » (Ménard, 1990, p.120).

⁵ L'agriculteur subit également un aléa moral puisqu'il ne connaît ni l'efficacité technique ni la capacité concurrentielle. Le producteur agricole rencontre aussi un problème d'irréversibilité qui le rend fondamentalement dépendant de l'industriel. Du fait de la sélection variétale notamment, la plupart des légumes destinés à la transformation ne peuvent pas avoir d'autres débouchés que l'industrie, de sorte qu'une fois qu'il a engagé le processus cultural, le fournisseur est totalement lié au transformateur.

⁶ Un site agro-industriel est défini par le lieu d'implantation d'une unité de fabrication et par la délimitation de la région où sont organisées les cultures nécessaires à son approvisionnement (bassin d'approvisionnement).

2. Planification, coordination agronomique et contrat relationnel

Dans le secteur de la transformation des légumes l'accord pour la production et la fourniture de la matière première agricole prend la forme d'un contrat formel bilatéral. Ce contrat engage juridiquement l'agriculteur et le transformateur avant la production. Mais compte tenu des spécificités et des incertitudes analysées ci-dessus, en particulier de la nécessité d'articuler coordination verticale et coordination horizontale, le contrat bilatéral n'est pas suffisant à lui seul pour assurer une coordination optimale, en termes de risques, à moindres coûts de transaction. Le contrat est alors encadré dans un dispositif de coordination qui possède deux caractéristiques : (i) être centralisé afin d'économiser sur les coûts d'organisation et d'information, (ii) capable d'anticiper et de prendre des décisions *ex ante* afin de réduire certains risques. Certaines décisions pourtant ne peuvent pas s'inscrire dans cette planification et réclament l'existence de relations bilatérales qui ne peuvent pas être formalisées (sans coût prohibitif).

2.1. Le dispositif de coordination

Au niveau d'un site agro-industriel, la maîtrise des risques qui pèsent sur la production et l'approvisionnement est réalisée au travers de deux outils de pilotage : (i) la localisation des zones de culture et la sélection des exploitations agricoles, (ii) l'organisation de la campagne d'approvisionnement (de l'implantation des cultures à la récolte).

Les décisions dans ces deux domaines revêtent cependant des enjeux majeurs, aussi bien pour les agriculteurs que pour l'industriel : efficacité technique et rentabilité économique pour le transformateur, organisation du travail et niveau de revenu pour les fournisseurs agricoles. Ces décisions sont potentiellement sources de divergence d'intérêt qui peuvent mettre en péril l'existence même de l'activité de transformation. Le

pilotage de la coordination est donc objet de négociation, dont un enjeu est l'allocation de l'autorité en matière de conduite des différentes opérations tout au long de la campagne.

2.1.1. Planification et variables de gestion agronomiques

Dans le sens retenu ici, planifier c'est établir et conduire de façon coordonnée des programmes de vente, de production industrielle, et d'approvisionnement en matière première. D'une façon générale, la planification consiste alors à définir, en fonction de prévisions commerciales les besoins de production industrielle (conserves et surgelés) (cf. tableau 2), puis les volumes de légumes frais à acquérir, les surfaces à implanter, et les contrats à mettre en place avec les agriculteurs.

Au niveau du site industriel, la planification vise à (1) synchroniser l'activité de production agricole des multiples

fournisseurs et l'activité de l'unité de transformation ; (2) attribuer les tâches de chacun des intervenants dans la production (agriculteurs et différents services de l'usine). Elle a pour objet la maîtrise du déroulement de la campagne en fonction du planning prévisionnel de l'unité industrielle. La planification joue sur quatre leviers d'action de gestion agronomique au niveau d'un bassin d'approvisionnement : la planning prévisionnel des semis, la sélection des exploitations agricoles contractantes, le suivi de la culture et la détermination de la date de récolte.

(i) La planification des semis cherche à ajuster la production du bassin de collecte, en quantité et par classe de qualités commerciales, au programme prévisionnel déterminé par l'unité de fabrication. Elle consiste à affecter aux agriculteurs des superficies de légumes (espèces et variétés) en tenant compte de la nature des terrains et des cultures précédentes.

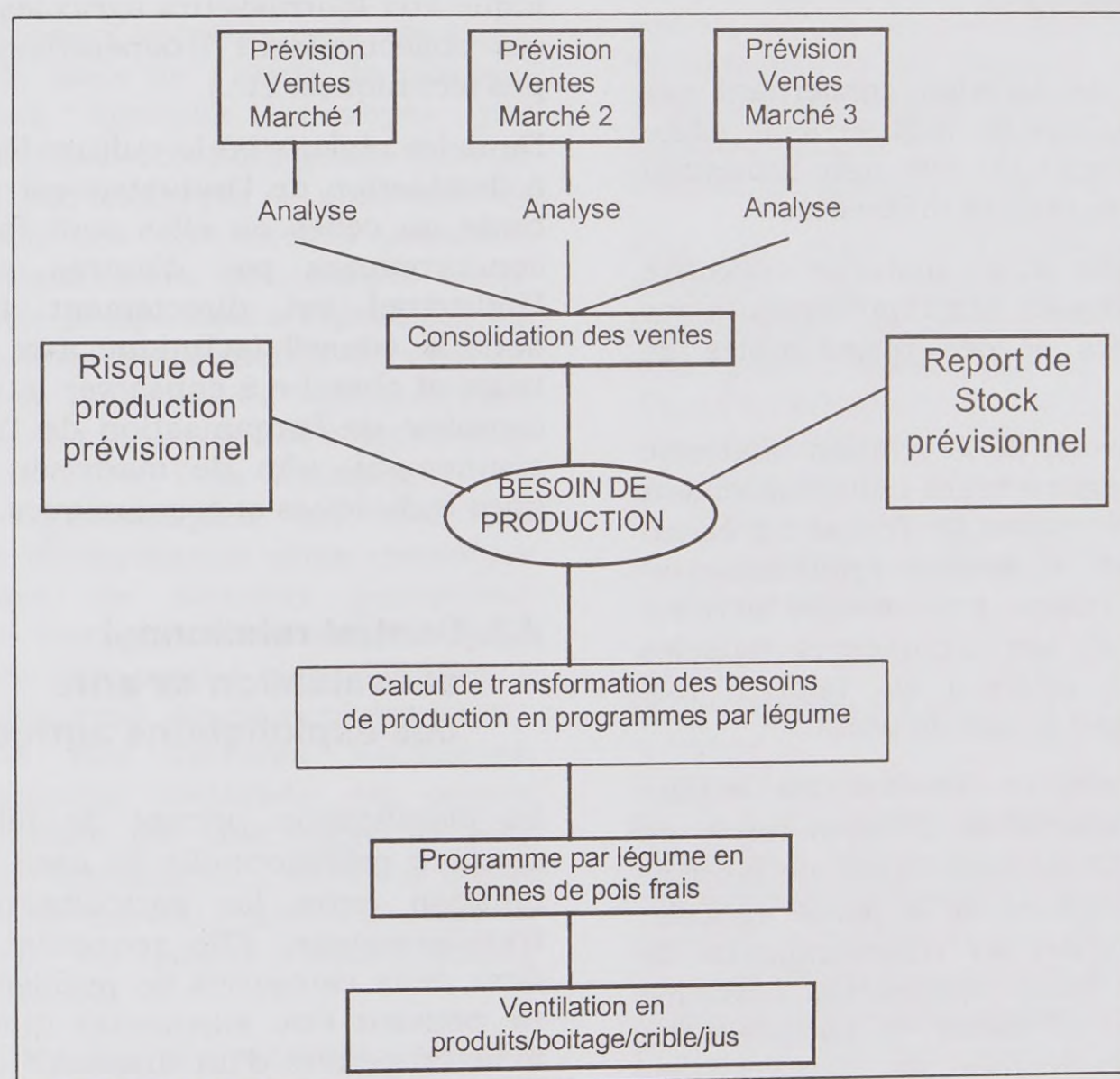


Tableau 2 : Elaboration des programmes initiaux par l'industriel

(ii) La sélection des fournisseurs prend en compte la variabilité pédologique et climatique dans la région d'approvisionnement, dans le but d'optimiser la combinaison entre rendement élevé, niveaux de qualité et échelonnement des récoltes, ainsi que de répartir les risques agro-climatiques. Elle vise à identifier les agriculteurs les plus productifs et les plus fiables avec qui passer contrat.

(iii) Le suivi de la culture légumière sur l'exploitation consiste à s'assurer que les techniques mises en oeuvre sont optimales et conformes au cahier des charges techniques.

(iv) La détermination de la date de récolte, qui agit directement sur le niveau de qualité des légumes et sur le flux d'approvisionnement de l'usine, est la variable clé de l'ajustement en temps réel dans le courant de la campagne entre la production agricole et les besoins de l'usine.

2.1.2. Pilotage de la coordination et délégation de l'autorité opérationnelle

Les prises de décision concernant ces quatre variables de gestion sont négociées au niveau du site agro-industriel selon deux modalités différentes :

- soit au sein d'une instance collective mixte composée des représentants des agriculteurs et des responsables de l'usine,
- soit au niveau de la relation bilatérale entre les agriculteurs individuellement et le représentant de l'usine ; à ce niveau c'est le service approvisionnement de l'usine (dit « service agronomique ») et ses techniciens (appelés « chefs de plaine ») qui ont un rôle central dans la coordination.

Empiriquement on constate que, le plus souvent l'autorité de décision relève *de facto* de l'initiative de l'unité de fabrication, avec l'accord de la partie agricole. Cette allocation au transformateur de l'autorité a pour justification l'extrême importance (efficacité et compétitivité) de la planification de l'approvisionnement et la conformité de la matière première aux standards de fabrication. Un département spécialisé, le « service agronomique », a en charge la fonction

approvisionnement, la gestion du bassin de culture et le conseil technique aux agriculteurs. En concertation avec l'instance mixte, mais de manière hiérarchique vis-à-vis des agriculteurs individuels, il fixe les dates de semis et de récolte, les variétés, le suivi de l'itinéraire technique et les caractéristiques des parcelles aptes à recevoir la culture. Dans ce cadre, le chef de plaine assume le suivi des opérations clés de l'activité légumière à tous les stades du processus cultural jusqu'à la récolte.

Les particularités locales et l'histoire de l'agriculture régionale sont déterminantes dans l'allocation de l'autorité. On peut distinguer deux principaux cas de figure.

Dans les régions où la culture légumière destinée à la transformation est implantée depuis longtemps, où les agriculteurs ont un fort degré de maîtrise technique et d'organisation collective, les industriels sont enclins à déléguer certaines fonctions d'organisation ou certaines tâches de vulgarisation technique aux fournisseurs agricoles organisés collectivement (coopératives, groupes techniques, etc.).

Dans les régions où la culture légumière à destination de l'industrie est plus récente ou celles où elles sont fortement concurrencées par d'autres cultures, l'industriel est directement impliqué dans le conseil technique aux agriculteurs et cherche à conserver la maîtrise complète de l'organisation de l'approvisionnement, afin de maîtriser les risques techniques et économiques.

2.2. Contrat relationnel et évaluation *ex ante* des exploitations agricoles

La planification permet de piloter de manière prévisionnelle *ex ante* la coordination entre les agriculteurs et le transformateur. Elle rencontre cependant deux catégories de problèmes, qui ne peuvent être surmontés que par la mise en oeuvre d'un dispositif de coordination complémentaire au contrat formel.

La synchronisation entre l'activité de transformation et l'activité de production agricole est d'autant plus économique en coûts d'organisation, d'information et de négociation, que les plans des agriculteurs et de l'industriel sont susceptibles *a priori* d'être coordonnés. A cet égard le choix des exploitations agricoles avec lesquelles négocier l'implantation des cultures constitue un domaine de décision particulièrement important, qui demande des instruments spécifiques d'évaluation des performances (anticipées) des exploitations.

Par ailleurs, la coordination centralisée ne peut pas assurer efficacement certaines coordinations locales. Il en est ainsi en particulier des coordinations qui ne peuvent être réalisées qu'en temps réel, c'est à dire au cours du déroulement même de l'activité de production et d'approvisionnement. Un dispositif d'ajustement est alors indispensable.

2.2.1. Coordination et sélection des exploitations agricoles

La coordination opérationnelle est assurée par le biais de « chefs de plaine », techniciens agricoles employés par l'unité de transformation, qui au sein du « service agronomique » assurent la prospection des agriculteurs potentiellement demandeurs de contrats. Longtemps cette prospection a reposé sur les connaissances personnelles du chef de plaine des potentialités agronomiques des zones de culture et des compétences des agriculteurs. Plus récemment, les services agronomiques ont créé des systèmes d'information pour constituer des bases de données permettant d'élaborer des critères de sélection plus formalisés. L'essentiel des données a d'abord concerné strictement les caractéristiques des cultures légumières. Cette approche sectorielle est depuis peu complétée par une approche plus globale de l'exploitation, mieux à même (du point de vue du transformateur) de contrecarrer les risques d'aléas moral et d'opportunisme.

La sélection des fournisseurs agricoles parmi la diversité d'exploitations à l'intérieur d'un même bassin de production vise des objectifs qui sont fixés en fonction de la gestion des processus

de fabrication industrielle et de la stratégie commerciale. L'obtention d'une production régulière avec des rendements élevés et les classes de qualité requises met d'abord en cause le milieu physique des exploitations : microclimat et types de sols, mais aussi les aménagements : drainage et irrigation que les agriculteurs ont pu intégrer. Elle dépend aussi de la capacité des producteurs à respecter le cahier des charges technique : respect des successions de cultures minimisant les risques parasitaires et capacité à intégrer les techniques préconisées dans l'organisation du travail de l'exploitation. Au niveau de la production, l'évaluation de l'exploitation ne se résume donc pas à l'appréciation du milieu ou de la technicité des producteurs.

Pour sélectionner les producteurs susceptibles de contracter durablement avec l'industriel, il faut s'interroger sur : (i) l'intérêt stratégique (à moyen terme) pour l'agriculteur à cultiver des productions légumières, en comparaison avec d'autres productions végétales concurrentes, (ii) la capacité agronomique de l'ensemble des productions végétales à intégrer durablement plusieurs types de légumes industriels (en termes d'assolement, d'organisation du travail, etc.).

Sur le plan méthodologique, des enquêtes par approche globale de l'exploitation permettent d'élaborer des typologies d'exploitations sur le bassin d'approvisionnement. Elles comportent une connaissance du fonctionnement de l'exploitation au travers des décisions d'assolement, d'acquisition de moyens de production, d'organisation du travail et de son évolution.

L'approche proposée consiste à considérer l'exploitation agricole comme un système (i) finalisé par les objectifs de l'agriculteur et de sa famille et (ii) confronté à un ensemble de facteurs et de conditions externes qui jouent comme contraintes ou atouts. L'association de données actuelles et passées obtenues par voie d'enquêtes permet de mettre en évidence le fonctionnement de l'exploitation. Par fonctionnement, on entend l'enchaînement de prises de décision de l'agriculteur et de sa famille en vue d'atteindre des objectifs qui régissent des choix de productions et de processus et

tiennent compte de l'environnement socio-économique de l'exploitation. C'est l'enquêteur qui reconstitue cet enchaînement et qui le valide en le soumettant à l'agriculteur (Capillon, 1993).

L'élaboration de typologies consiste à créer des groupes d'exploitations assez semblables entre elles pour présenter des caractéristiques communes de fonctionnement et par là, être redevables des mêmes modes d'action de développement ou d'avoir des positions identiques vis-à-vis d'une production ou d'une industrie contractante.

Le Tableau 3, tiré de l'étude d'un bassin légumier picard, donne une clé de lecture de la diversité d'un bassin d'approvisionnement en légumes du double point de vue de l'industriel et des agriculteurs. Dans cet exemple, la gamme des légumes transformés par l'usine impose le maintien d'une variété de fournisseurs, tout particulièrement en ce qui concerne les « petits légumes » non encore intégralement mécanisés qui exigent une main d'œuvre importante. On constate que l'intérêt de l'industriel pour le type d'exploitations peut ne pas converger avec un intérêt des agriculteurs pour le légume (cas des types E et F pour le pois et B pour le haricot).

Pour un industriel, le choix des exploitations qui assureront la production voulue en quantités et qualités se fera sur la base d'un classement établi selon

deux principaux axes : le milieu (climat, sols) et le fonctionnement technico-économique des exploitations.

Sur la base de ce classement, on peut se prononcer sur deux considérations :

1- l'intérêt des légumes de conserve pour l'agriculteur, gage de durabilité et de bon traitement de ces productions : les exploitations du bassin procèdent de leur propre stratégie quant aux choix de production et accordent aux légumes une place variable (part de la surface, terrains dédiés, moyens affectés en équipement et en main d'oeuvre ; les agriculteurs ne peuvent être considérés comme de simples producteurs de légumes mais comme des entrepreneurs accordant aux légumes un intérêt dépendant du fonctionnement global de leur exploitation.

2- l'intérêt du type d'exploitation pour le conserveur, selon le critère précédent et l'importance en superficie et nombre de légumes qui pourront être garantis à terme. Cette dernière dépend de la surface qu'il peut réserver aux légumes ; de la possibilité d'irriguer (garantie de la qualité) ; de la technicité pour assurer la production en quantité et en qualité ; de la main d'oeuvre disponible, en particulier pour les « petits légumes ». Ces facteurs constituent les indicateurs figurant au Tableau 3 (colonne « Caractéristiques des exploitations »).

Types (exem- ples)	Caractéristiques des exploitations				Intérêt pour l'industriel		Intérêt pour les agriculteurs		
	surface en lé- gumes	Surface irrigable	techni- cité	main d'œuvre	pour pois et haricots	Pour petits légumes	pois	haricot	brocoli
A	+	+	+	+	+	+	++	++	-
B	+	+	++	++	+	++	++	+++	-
C	+++	+	+++	+	+++	+	++	++	-
D	+	++	+++	++	++	++	+	++	-
E	+++	++++	+++	+	+++	+++	+	+++	++
F	+++	++++	+++	+++	++++	++++	++	+++	+++

le nombre de croix indique une progression : - : nul ; + : faible ; ++ : moyen ; +++ : important ; ++++ : très important.

Tableau 3 : Types d'exploitations et légumes. Intérêt des types pour l'industriel et intérêt des légumes pour les agriculteurs

En conséquence, les relations entre industriel et agriculteurs doivent être modulées selon les types d'exploitations reconnus et validés par la pratique du service agronomique de l'usine.

2.2.2. Ajustement en temps réel et apprentissage

Certaines décisions demandent à être prises de manière coordonnée, mais ne peuvent pas l'être à l'avance et un ajustement local en temps réel s'impose. Il est réalisé par le moyen de « contrats relationnels qui spécifient les procédures à suivre pour prendre les décisions et résoudre les conflits, tout en laissant de côté l'essentiel du contenu de la relation ». « Les termes du contrat sont en grande partie implicites et il n'est pas toujours du ressort des tribunaux de les faire respecter ». « Ces accords implicites correspondent à des ententes entre les parties qui évoluent en fonction des circonstances ». « C'est la réputation qui permet de garantir le respect de ces ententes : ceux qui les transgressent perdent la confiance des autres » (Milgrom & Roberts, p. 215, 1992).

Dans l'activité légumière, le service agronomique et ses employés assument donc une fonction de contrat relationnel avec les agriculteurs pour compléter le contrat formel. Le « chef de plaine » en particulier est un élément qui complète le dispositif de coordination pour les décisions qui ne peuvent pas être fixées à l'avance ou totalement anticipées, mais qui doivent être prises localement et « en temps réel » en fonction des rendements obtenus, de l'évolution de la température, du déroulement de la récolte ou des opérations de transformation par exemple. Le tableau 4 inventorie les ajustements de programme qui effectue le service agronomique à la parcelle et pour l'ensemble du bassin d'approvisionnement. La détermination de la date de récolte illustre parfaitement la nécessité du contrat relationnel. Cette date ne peut pas être connue et fixée par avance de manière précise. Il est stipulé dans le contrat formel que la décision dans ce domaine doit être prise « d'un commun accord » entre l'agriculteur individuel et l'industriel. Or, le plus souvent, les intérêts en la matière sont

divergents⁷, et seule une conciliation interpersonnelle en situation permet un accord.

Une fonction du contrat relationnel est notamment de susciter et d'entretenir la confiance, mais elle n'a pas toujours la même importance selon l'état de l'environnement local des exploitations agricoles.

Un premier type de situation est celui où, en temps normal au cours de la campagne, il est nécessaire de discuter avec l'agriculteur ; (1) les décisions qui ne peuvent pas être prises à l'avance mais obligatoirement « en temps réel » (date de la récolte, abandon de surface, etc.) ; (2) ou bien les décisions à prendre pour faire face à un événement totalement imprévisible (attaque parasitaire par exemple). Le service agronomique et les chefs de plaine soutiennent la régularité et la stabilisation de la relation avec les producteurs agricoles. Leur connaissance de la zone de culture, mais plus encore la relation individuelle qu'ils entretiennent avec les « planteurs » assure en partie un comportement fiable et « *digne de confiance* » de leur part, aussi bien en matière de pérennité de la relation d'année en année que sur le plan de la qualité du travail fourni.

Un second type de situation correspond à une phase de diffusion d'une technique nouvelle ou d'introduction d'une nouvelle culture mal connue dans son utilisation industrielle, qui demandent aux agriculteurs l'acquisition de nouvelles méthodes de culture et de nouveaux savoir-faire. Dans cette situation d'innovation, le service agronomique et le chef de plaine constituent les instruments d'une fonction d'apprentissage technique. Ils sont des éléments clés de la maîtrise de l'innovation technique qui

⁷ L'agriculteur a intérêt à ce que la date de récolte soit la plus proche possible de la date où la maturité des légumes correspond avec la rémunération maximale de la qualité. Pour déterminer la date de récolte, le transformateur pour sa part prend aussi en considération des critères (principalement régularité et coût) liés à la gestion des flux d'approvisionnement et de fabrication de l'usine. Pour des raisons climatiques ou de gestion commerciale, il est rare que les deux intérêts convergent totalement. C'est la confiance réciproque créée (ou non) lors des campagnes précédentes et tout au long de la campagne en cours qui permet de donner une issue à cette indétermination.

Niveau d'observation et de contrôle	Objet d'observation et de contrôle	Eléments de diagnostic par le chef de plaine	Conclusions et prévisions	Instruments éventuels d'ajustement du S.A.
PARCELLE	Semis	Conditions de semis : - structure du sol - humidité	Homogénéité de la parcelle au semis	Conseiller les producteurs sur le travail au sol
Implantation et suivi de la culture	Levée	Régulière/ irrégulière	Homogénéité spatiale : quantité/qualité	- Rouler le sol après semis - Irrigation
	Croissance	Climat : Sec / Humide « Unités chaleurs »	Rendement, date de récolte	Irrigation
	Traitements phyto.	Observation des maladies et adventices	Quantité/qualité (coût de traitement)	Date / dose / nombre
	Irrigation	Humidité du sol Aspect de la plante	Accidents éventuels répercussion sur quantité et qualité	Fréquence et dose d'application
BASSIN D'APPROVISIONNEMENT	Récolte	Maturité, évolution	Prévision date récolte, rendement, qualité	Avancement/ Retardement
Récolte et approvisionnement de l'usine	Déficit quantité	Programme de Fabrication non atteint	Modification du plan d'approvisionnement	- Récolte plus tardive - Semis autres parcelles - Achats externes
	Excédent quantité	Programme de Fabrication non atteint	Modification du plan d'approvisionnement	- Abandon de parcelles - Récolte + jeune - Ventes externes
	Déficit qualité	Tendérométrie, calibre	- Modif. plan appro. - Ajustements récolte	- Récolte + jeune - Irrigation avant récolte - Ajustement variétaux

Tableau 4 : Ajustement des programmes. Niveaux d'observation et de contrôle

consiste principalement à tester les meilleures espèces et variétés en fonction d'objectifs commerciaux, compte tenu des milieux physiques concernés, à expérimenter les produits phytosanitaires et à déterminer leurs conditions d'application, à rechercher les meilleurs matériels de récolte, à mettre au point des méthodes pour prévoir le rendement et la qualité des produits.

Le transfert aux agriculteurs des acquis de la recherche agronomique pose encore question. La proposition d'ensembles de techniques, azote et pesticides par exemple, voire d'itinéraires techniques entiers nécessite d'intégrer les contraintes et les finalités de la prise de décision technique dans l'exploitation. La recherche et le diagnostic ne se limitent pas au champ cultivé, ils intègrent l'acteur et sa capacité décisionnelle. Les indicateurs biotechniques de pilotage doivent pouvoir être intégrés aux modalités de conduite globale telle l'organisation du travail. Comme l'indique F. Papy (1996), pour aider à la décision des agriculteurs, pour former des experts, il faut connaître les modes d'organisation des agriculteurs et les usages qu'ils peuvent faire des outils d'aide. On conçoit, là aussi, l'intérêt d'une typologie d'exploitations rendant compte de la diversité des exploitations c'est-à-dire des différents contextes de raisonnement des techniques.

3. La coordination agronomique face aux objectifs de variété et de flexibilité

Les conditions économiques qui caractérisent le secteur des légumes transformés depuis le début de la décennie 1990 (Valceschini, 1993) posent de manière inédite le problème des procédures de coordination. Il ne s'agit plus de gérer l'approvisionnement des unités industrielles uniquement selon une logique de « flux poussés » par les spécificités et les incertitudes qui pèsent sur la production agricole et l'approvisionnement des unités de transformation. Il s'agit aussi

d'impulser une logique de « flux tirés » par la dynamique de la demande (Treillon, 1991). Cette nouvelle logique donne à la fonction approvisionnement de nouveaux objectifs. La conséquence en est la rénovation des procédures de pilotage de la coordination.

3.1. Les nouveaux objectifs de la coordination

3.1.1. Variété et flexibilité

A la minimisation du coût de revient⁸ est désormais associée la contrainte de flexibilité. Elle consiste à absorber une éventuelle modification de programmes rendue nécessaire par d'éventuelles évolutions non programmées des besoins commerciaux. Elle vise également à répondre rapidement à une demande de gamme de produits beaucoup plus étendue. Le problème de la variété est posé dans deux domaines. Au niveau de l'activité de transformation proprement dite, l'unité industrielle doit gérer la multiplication des modes de conservation, des types de conditionnement et de la destination commerciale⁹. Le problème posé au service fabrication de l'optimisation de l'utilisation des lignes de fabrication est rendu d'autant plus difficile. Il est en grande partie reporté sur le service approvisionnement. Dans une usine on a observé par exemple que l'introduction d'une fabrication de bocal sur une des lignes boîtes métal avait entraîné la nécessité de synchroniser trois qualités au lieu de deux. Le service approvisionnement a dû modifier sa tactique en ajustant les objectifs de récolte non plus sur une campagne, mais à la semaine en cherchant à se rapprocher d'un ajustement à la journée.

Un autre problème au niveau de l'approvisionnement, est la gestion d'une gamme de légumes bruts plus

⁸ Qui couvre notamment le prix de production de la matière première agricole et les coûts logistiques du champ cultivé à l'usine.

⁹ Par exemple : le bocal s'ajoute à la surgélation et à la conserve ; le boîtage est diversifié en fonction du volume ou de l'ouverture ; vente sous marque propre ou sous marque de distributeur.

étendue et dont les caractéristiques peuvent s'éloigner considérablement du pois, longtemps considéré comme un « légume modèle » en matière de conception des contrats de culture. Dans le domaine de diminution des coûts d'approvisionnement, la stratégie employée est souvent celle dite « *de la double culture* » qui consiste à contracter avec le « *planteur* » non pas pour une culture, mais pour un « paquet », en l'occurrence deux cultures. Cela permet de diminuer le tarif unitaire payé à l'agriculteur tout en maintenant sa recette globale.

L'extension de la gamme de légume pose également la question de la pertinence du mode de contractualisation du « petit pois » comme référence pour élaborer les contrats concernant les autres légumes¹⁰. Ainsi, une partition en deux grandes catégories apparaît nettement entre les légumes qui ont une période de récolte de plus ou moins soixante jours et une période de maturité industrielle de plus ou moins un jour (cf. Tableau 1). Par exemple, ceux qui ont une période de récolte longue et une période de maturité large font courir à l'industriel beaucoup moins de risques en termes de qualité que ceux dont ces deux périodes sont courtes.

3.1.2. Conformité et sécurité

La conformité consiste à minimiser l'écart entre les besoins planifiés et le programme de production réalisé, tant sur le plan des quantités que sur celui des qualités.

¹⁰ Historiquement, en France, la mise en forme la plus achevée d'un contrat dans le secteur des légumes transformés a concerné le petit pois, qui a été le premier légume à être « industrialisé » (cultivé en plein champ, récolté mécaniquement, etc.). Par la suite la plupart des légumes destinés à l'industrie de transformation ont donné lieu à la conception de contrats se référant au contrat pois. Même s'ils tiennent compte de certaines spécificités des produits et de leur culture, la structure de ces contrats (clauses) et leur philosophie (modalités d'application, de reconduction et de révision) sont semblables à celles du contrat pois. Ce dernier a donc eu non seulement un rôle de précurseur, mais plus fondamentalement une fonction de modèle de référence pour les autres cultures légumières destinées à l'industrie.

Au cours des quinze dernières années, la maîtrise des processus de planification a déjà été sensiblement améliorée : au niveau industriel par l'amélioration de la fiabilité des équipements et la mise en place de lignes flexibles ; au niveau commercial, les industriels ont cherché à améliorer la fiabilité et la précision de leurs instruments de prévision commerciales.

Sur le plan agricole, l'évolution des techniques de culture et la mise au point de nouvelles variétés ont visé principalement à rendre plus réguliers les rendements agricoles interannuels. Le principal moyen a été le développement de l'irrigation, exigée par les industriels pour passer contrat avec un agriculteur. L'irrigation a été de pair avec l'utilisation généralisée des pesticides afin de lutter contre les maladies associées à l'extension de l'irrigation. Les usines et leurs services agronomiques ont alors systématiquement ajouté un complément technique au contrat, rappelant notamment les conditions d'emploi des produits phytosanitaires et la clause de responsabilité juridique des fournisseurs en la matière. De plus, pour limiter les risques d'attaque parasitaires et ceux liés aux traitements, les contrats peuvent comporter des clauses concernant le délais de retour des légumes sur une parcelle et la nature de la culture précédente. Equipement d'irrigation et qualité du travail du « *planteur* » en matière de traitements phytosanitaires sont devenus deux critères majeurs de la sélection des zones de culture au sein d'un bassin d'approvisionnement et des exploitations.

Malgré ces évolutions, tant au niveau commercial qu'au niveau de l'approvisionnement en matière première, des écarts importants peuvent exister entre quantités et qualités prévues et quantités et qualités obtenues. Le problème de maîtrise des flux internes qui en découle est d'autant plus difficile à résoudre que l'on s'inscrit dans une logique de réduire au minimum les stocks de conserve et de surgelés. Les industriels ont donc cherché à améliorer la performance de la planification en modifiant certaines clauses contractuelles et les procédures de coordination.

3.2. Pilotage de la coordination et ajustement en temps réel

3.2.1. Vers une coordination flexible

Les modifications de la planification sont problématiques pour l'industriel (Soler *et al.*, 1995), elles supposent de réviser les principes de la coordination avec les agriculteurs. On a observé qu'au cours des dernières années, le planning de culture s'est traduit par :

- le retard de plus en plus grand de la signature des engagements,
- la fréquence de plus en plus élevée des révisions des engagements de la part de l'industriel,
- des ajustements de plus en plus tardifs,
- des ajustements de la récolte au jour le jour.
- des abandons de récolte systématiques en cas de dépassement des programmes commerciaux effectifs (et non prévisionnels).

La planification est plus ou moins bien calée sur le cycle budgétaire du fait des temporalités différentes des différents processus en jeu. Elle s'appuie sur des phases de prévision et de re-prévision qui s'échelonnent, en matière commerciale, sur près de deux années. Les demandes adressées par les services commerciaux aux fabricants agricoles et industriels peuvent donc évoluer en cours de réalisation des programmes tandis que des décisions, aussi structurantes que la signature des contrats d'approvisionnement ou l'organisation

des lignes de production, ont été prises par les services concernés. Les démarches de planification doivent alors résoudre une tension interne que l'on peut expliciter de la façon suivante.

D'un côté, après la phase de planification *ex ante*, il faut s'attendre à des modifications non négligeables des demandes commerciales adressées aux unités industrielles. Celles-ci peuvent varier (positivement ou négativement) de 15% sur l'horizon de planification en valeur globale, mais porter de façon très variable sur chacun des produits mis en marché, ce qui rend très difficile la définition des plans de fabrication.

D'un autre côté, l'irréversibilité progressive des processus engagés accroît au cours du temps les coûts de la re-planification (cf. tableau 5). Par exemple, jusqu'à la phase de semis, des révisions sont possibles tant au niveau des variétés à semer que des surfaces à implanter. Après les semis, les marges d'action se rétrécissent fortement et le coût des remises en cause de programmes augmente : abandons de récoltes, remises en cause de contrats signés avec les producteurs agricoles entraînent le paiement d'indemnités qui augmentent le prix d'achat des légumes « rendus » usine. On peut faire un raisonnement équivalent en partant des processus de production agricole dans la mesure où leurs résultats en volumes et caractéristiques peuvent remettre en cause certaines perspectives commerciales envisagées (en particulier sur des critères de qualité qui peuvent être décalés *in fine* vis-à-vis des attentes exprimés par les commerciaux).

Etapes de décisions	Définition du programme initial	Réservation des hectares à semer	Définition des plans de semis	Surfaces semées non récoltées	Production récoltée non transformée	Production transformée
Révisions possibles face aux aléas		Révision du programme initial	Révision des réservations	Révision des plans des semis	Abandons des récoltes	Changement de destination de la production
Coûts des révisions			Coûts de la réaffectation des surfaces	Coûts de culture (semences, traitements)	Indemnités	Coûts de déclassement de la production

Tableau 5 : Etapes et coûts de reprogrammation

3.2.2. Le principe du « rendez-vous »

S'il faut donc tenir pour acquis que les plans initiaux ne peuvent être définitivement garantis et qu'ils peuvent donner lieu à des révisions non négligeables, soit en provenance des commerciaux, soit des fabricants agricoles ou industriels, le problème majeur qui se pose alors est de définir la manière dont les re-coordinations doivent s'opérer. Comment aborder les problèmes de coordination en cours d'horizon de planification ? Avec quelle instance négocier les modalités de la re-coordination et ses conséquences sur les coûts ?

Pour les acteurs économiques, industriels et agriculteurs, il s'agit de se doter d'une capacité de « *flexibilité dynamique* » (Cohendet & Llerena, 1990), c'est-à-dire de la capacité à faire face aux situations imprévues et imprévisibles. Dans cette perspective, la conception de la coordination contractuelle doit abandonner l'ambition de « *complétude* » (déterminer *ex ante* au moment de la négociation de toutes les décisions à prendre). Elle doit privilégier une forme de négociation qui ménage la possibilité de réviser au cours du déroulement de la production les objectifs du contrat en fonction des ajustements nécessaires en *temps réel* pour faire face à des fluctuations non maîtrisables (fluctuations de marché ou de production). Dans ces circonstances, l'importance du contrat relationnel est sensiblement accrue.

Cependant pour que ce type de procédure soit acceptable par les deux parties, elles doit reposer sur des principes généraux définis lors de la négociation contractuelle *ex ante*. Les séquences temporelles précises du déroulement de la campagne doivent alors être connues pour aménager par avance les possibilités de « *rendez-vous* » intermédiaires et les variables de décision à négocier. Pour l'industriel cela a pour conséquence de devoir prêter plus d'attention encore au choix *ex ante* des exploitations susceptibles de s'adapter à ces exigences. L'amélioration des méthodes de prospection des exploitations avant la contractualisation est un impératif afin de restreindre les (nouveaux) coûts de re-négociation.

Conclusion : améliorer l'efficacité de la coordination par une typologie des exploitations agricoles

La conception des engagements réciproques entre l'industriel et les agriculteurs a intérêt à prendre en considération les stratégies et les caractéristiques structurelles et agronomiques des exploitations agricoles dans leur diversité.

Les outils de connaissance précise des différents types d'exploitations peuvent participer à améliorer : (i) la définition des règles de prospection et la sélection *ex ante* des fournisseurs dans le bassin d'approvisionnement ; (ii) le contrôle *ex ante* des compétences des agriculteurs et l'efficacité de leur organisation ; (iii) l'adaptation des méthodes de suivi technique des cultures aux caractéristiques structurelles et agronomiques des systèmes de production des fournisseurs. On peut ainsi accroître la fiabilité des prévisions des volumes de production par classes de qualité et améliorer les capacités de re-coordination, diminuer les coûts de soutien technique (coûts d'observation et de contrôle) et réduire les coûts de prospection, de marchandage et de re-négociation. D'une manière plus globale, le service agronomique dispose des données pour infléchir la stratégie d'approvisionnement en fonction des capacités des exploitations du bassin de culture.

Dans ce cadre, l'identification des différents types d'exploitations devient un outil d'analyse de la confrontation des stratégies d'acteurs (exploitations agricoles, entreprises de collecte ou de transformation). Elle vise à mettre en évidence (i) les points critiques nécessitant une coordination et les points de convergence sur lesquels peut s'appuyer la coordination ; (ii) les points forts autorisant un contrat entre elles. La stratégie de sélection des fournisseurs sur cette base permet de s'assurer *ex ante* de leur capacité à répondre au cahier des charges industriel ou commercial, du bien-fondé des actions de soutien technique vis-à-vis des agriculteurs et de la stabilité des relations établies.

C'est bien là une nouvelle approche des exploitations, qu'il faut parachever, dont la finalité est de contribuer à faire converger les comportements stratégiques des acteurs en présence et à améliorer la compatibilité de leurs plans.

Cette perspective entraîne également à reconsidérer les approches des phénomènes biotechniques y compris les diagnostics et, en particulier, à adopter des points de vue différents selon les niveaux de décision. Les activités agricoles sont perçues à 3 niveaux d'échelle (Capillon & David, 1996) : (i) la parcelle culturale, niveau classique pour le raisonnement des techniques par l'agronome et objet de conseil et de contrôle par le chef de plaine ; (ii) l'exploitation où l'on intègre des dimensions micro-économiques pour les choix de productions et de manières de produire ; (iii) le bassin d'approvisionnement où s'exprime la diversité (la complémentarité) des milieux et des exploitations.

Bibliographie

- Brousseau E.**, 1993. Les théories des contrats : une revue. *Revue d'Economie Politique*, 103(1), 1-82.
- Capillon A.**, 1993. *Typologies des exploitations agricoles. Contribution à l'étude régionale des problèmes techniques*. Thèse de doctorat INA P-G, Paris, 48p + Annexes.
- Capillon A., David G.**, 1996. Framework for a diagnosis of the sustainability of agriculture, from the plot up to the regional level. In *Proceedings FSR/E. Grenade 1996*. (à paraître).
- Cohendet P., Llerena P.**, 1990. Nature de l'information, évaluation et organisation de l'entreprise. *Revue d'Economie Industrielle*, 51, 141-165.
- Ménard C.**, 1990, *L'économie des organisations*. Repères n° 86, La Découverte, Paris.
- Milgrom P., Roberts J.R.**, 1992, *Economics, Organization and Management*. Prentice Hall International Editions.
- Papy F.**, 1998. Farm models and diffusion support. A summary review. In Colin J.-P., Crawford E., Fillonneau C. (eds.) : *Research methodology for agricultural systems analysis*. Ed. Lynne Rienner (à paraître).
- Sebillotte M.**, 1978, Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *C.R.Acad.Agric.Fr.* 64 (11), 906-914.
- Soler L.G., Tanguy H., Valceschini E.**, 1995. Problèmes de planification, systèmes de gestion et organisation interne de la firme. *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, 37, 201-225.
- Treillon R.**, 1991. Agro-industrie et flux de production : quels systèmes de gestion ? *Revue Française de Gestion Industrielle*, 3, 49-69.
- Valceschini E.**, 1993. Conventions économiques et mutation de l'économie contractuelle dans le secteur des légumes transformés. *Economie Rurale*, 218, 19-26.
- Valceschini E.**, 1996. *Contracts between Growers and Processors in the European Vegetable Processing Industry*. OECD, Directorate for Food, Agriculture and Fisheries Committee for Agriculture, Group on Fruit and Vegetables, 25 p.
- Williamson O.**, 1975. *Markets and Hierarchies: analysis and antitrust implications*. The Free Press, New York.
- Williamson O.E.**, 1996. *The Mechanisms of Governance*. Oxford University Press.

The adoption and diffusion processes of a regional marketing project in Swiss mountain agriculture

Implications for innovation management

Christoph THELER
Prof. Dr. Bernard LEHMANN

Department of Agricultural Economics, Swiss Federal Institute of Technology Zürich
Sonneggstrasse 33, CH-8092 Zürich -T  l.: (+41) 01.632.53.20 - Fax : (+41) 01.632.10.86
E-mail : theler@iaw.agrl.ethz.ch

Abstract

In this article, renewal processes in agriculture are analysed from the point of view of innovation theory and innovation management. On the basis of a marketing project for regional label products in a Swiss mountain region, factors influencing the adoption and, thereafter, the diffusion of the innovation « production of regional label products » are identified. To this end, the survey method is used. Data was acquired by interviewing experts (explorative investigation) and by means of a mail survey (testing of hypotheses). For the data evaluation a descriptive data analysis and a Logit-analysis were used. The results show that the perception of action incentives as well as knowledge about, and attitudes towards the innovation studied, are important determinants of farmers' adoption decisions. Finally, these results serve as the basis for the elaboration of measures to improve innovation management, both on farm and sectoral levels. The evaluation of the compatibility of the innovation under investigation with the situation prior to its introduction shows that difficulties arise in the key areas « production processes », « value systems » and « social networks », which subsequently impede the diffusion of the innovation.

Keywords: innovation management, adoption, diffusion, Logit-analysis, label products

Résumé

G  rer l'innovation : adoption et diffusion d'un projet de marketing r  gional en agriculture de montagne en Suisse : enseignements pour la gestion de l'innovation. L'article étudie les processus d'innovation en agriculture du double point de vue de la théorie et de la gestion de l'innovation. On identifie les facteurs qui influencent l'adoption et la diffusion de l'innovation présentée ici qui porte sur la production de produits régionaux labelliss  s. Dans le cadre d'un projet de marketing relatif à une région de Suisse. Les données d'enquête ont été recueillies par interviews auprès d'experts (enquêtes exploratoires) et par questionnaires écrits envoyés par la poste (test des hypothèses). Les données ont été évaluées par analyse descriptive et par analyse Logit. Les résultats montrent que la perception des incitations à l'action ainsi que l'information sur l'innovation et l'attitude adoptée envers cette innovation sont des déterminants importants de la décision d'adoption prise par les agriculteurs. Enfin, ces résultats ont servi à élaborer des mesures permettant d'améliorer la gestion de l'innovation au niveau de l'exploitation comme au niveau de l'ensemble du secteur agricole. L'évaluation de la compatibilité de l'innovation étudiée avec la situation préexistante de l'exploitation révèle clairement plusieurs points d'achoppement liés aux critères « procédés de production », « systèmes de valeurs » et « réseaux sociaux » qui freinent la diffusion de l'innovation.

Mots-clés : gestion de l'innovation, adoption, diffusion, analyse Logit, produits labelliss  s

Introduction

Innovations are important for the welfare of society and the profitability of companies. By the beginning of the seventies at the latest, this fact had gained wide recognition in Switzerland. Today however, their importance has increased and this trend is expected to continue. Nowadays, for an increasing number of companies, it is less a question of whether or not they should implement innovations, but rather a matter of how innovations can be used in a planned and organised manner to promote development and ensure the company's survival (Thom, 1992).

There is a marked discrepancy between the degree of theoretical penetration of innovation phenomena (in particular in the field of efficient innovation process management) and the practical importance in economics and politics. This also applies to the agricultural sector. Therefore, innovation phenomena in agriculture should be examined in depth, with the purpose of identifying those factors which influence the innovation process on the farm itself. Further, the relationships between these factors should be analysed and appropriate conclusions should be reached concerning « on-farm » as well as sectoral innovation management.

The aim of this article is to analyse innovation processes in agriculture from the point of view of innovation theory and innovation management, using a Swiss mountain region as an example. The central issue is the innovation « manufacture of regional label products (or branded goods) ». In the region selected, a regional marketing project provides the opportunity to observe the adoption and diffusion of this innovation from the very outset. This article seeks to show the extent to which this innovation is a relevant future strategy for farmers and which determinants influence the decision to adopt or reject the innovation. From the point of view of innovation management, we are not only interested in those determinants which are relevant to the adoption of the innovation on the farm level, but also in those factors which influence its

diffusion process on the sectoral level. Finally, based on these results, ways will be described showing how adoption and diffusion of the innovation can be managed and promoted.

2. Theoretical background

2.1. Definition of the innovation

Innovations, such as restructuring a farm from the investment point of view, its production processes or marketing (in particular, performance structure and communication) are essential if its income potential is to be maintained. The farm's adaptation processes can be constant and marginal, or of a basic nature, as for example in the case of more far-reaching decisions or a restructuring of the farm (e.g. switch to organic farming). Therefore, the changes carried out can be:

- primarily on the factor side (production processes and technologies, enhanced efficiency),
- primarily on the performance side (production programme, product and performance structure),
- as well as on both factor and performance sides.

Nowadays, in training and extension, more and more emphasis is placed on the analysis of the environment, the farm, the objectives of the farmer and his family as well as on the planning of strategies. Figure 1 illustrates the general management or decision process. The diagram shows, in highly simplified form, how decisions are reached by examining various strategies or innovations.

There are many different approaches when defining the term innovation (Schumpeter, 1964; Baker, 1967; Gabersek, 1990; Hauschildt, 1997). For example, according to Baker (p. 160), an innovation only exists in the presence of a new « purpose-means » combination (technology provides new « means », or there is a demand for the fulfilment of new « purposes »).

This results in the following typology:

- *means-generated innovation*: New means are provided to fulfil existing or new purposes.
- *purpose-generated innovation*: A new purpose emerges which must be met using modified or new means. Gabler (1993) submits that innovations must be understood both as objects (as subjective new ideas, procedures or new products) and processes. Figure 2 illustrates this process using a technical innovation as an example.

Adoption is the process undergone by an individual entrepreneur or a group from the moment of original awareness of the innovation (as an object) up until its factual adoption¹. The length of time required by this process is referred to as the *adoption period*. It forms the basis which allows the quantification of the adoption process of persons or groups. The best-known adoption categorisation is based on the « innovativeness scale » as put forward by Rogers (1962). Finally, the spread of the innovation, both from the spatial point of view and over a period of time, by individuals, groups or other adoption units is referred to as *diffusion*.

Hauschildt (*op. cit.* p. 7) considers the aspects of economic exploitation or in-house utility to be decisive when defining the term innovation. Any invention which fails to reach the level of in-house utility or economic exploitation does not rate as an innovation. In addition, with a view to avoiding misunderstandings, there is a clearly defined description of the term innovation whereby it is separate from routine. « Innovations are not routine, but one day they should become routine. It's a strategic task to disconnect the innovation and the operative management, because they need different instruments. They have to be combined the day that the new products or the new production processes are introduced on the market » (Hauschildt, p. 42). Based on these theoretical considerations, the following explains the definition attributed to the term

innovation, or, what is referred to as an innovation in this article.

Box 1: The LaNaTour project

The innovation "production of branded goods" is part of the regional marketing project "LaNaTour". This project was launched in spring 1994 in the Oberwallis region by a group of farmers and regional promoters. The Oberwallis region is part of the Canton Valais, which is located in the Southern Swiss Alps bordering Italy. Its surface measures 2620 km², of which 490 km² are agricultural area. About 2 % of the occupied population are working full-time in the agricultural sector and roughly 5 % of them currently participate in the LaNaTour project. The term LaNaTour stands for "Landwirtschaft" (the German word for agriculture), **Nature** and **Tourism**. The purpose of the project is to process more agricultural products within the region and to manufacture branded goods. From the innovators' point of view, branded goods are a possible strategy designed to increase the value of regional agricultural products and to support the competitiveness of farmers, manufacturers and retailers in the region under consideration. Therefore, in 1996, the innovators founded the LaNaTour association which provides an organisational structure to bear the responsibility of manufacturing (i.e. production and processing) and sale of LaNaTour products. Further, the association represents the interests of their members in the foodstuff supply chain. The association is financed by members' subscriptions, donations from public authorities and third parties (sponsors). Contributions from public authorities account for roughly 80 % of the budget of 220,000 sFr./year. Since 1996 about 10 different LaNaTour products, like LaNaTour-cheese, -bread, -meat -honey and -tea are on the regional market. All these products are produced by Oberwallis farmers, processed in local industries (e.g. dairy industries, bakeries, and butchers) and sold in local shops.

In this article, the innovation « production of branded goods »² is considered from the farmers' point of view. To them, the LaNaTour innovation means the production of regional branded goods (or the necessary raw materials) aimed at securing market potential for regional agricultural products and the realisation of higher added value. When a farmer decides to

¹ The adoption process differs from the (overall) innovation generation process illustrated in Figure.

² By way of simplification this innovation will henceforward be referred to as the LaNaTour innovation.

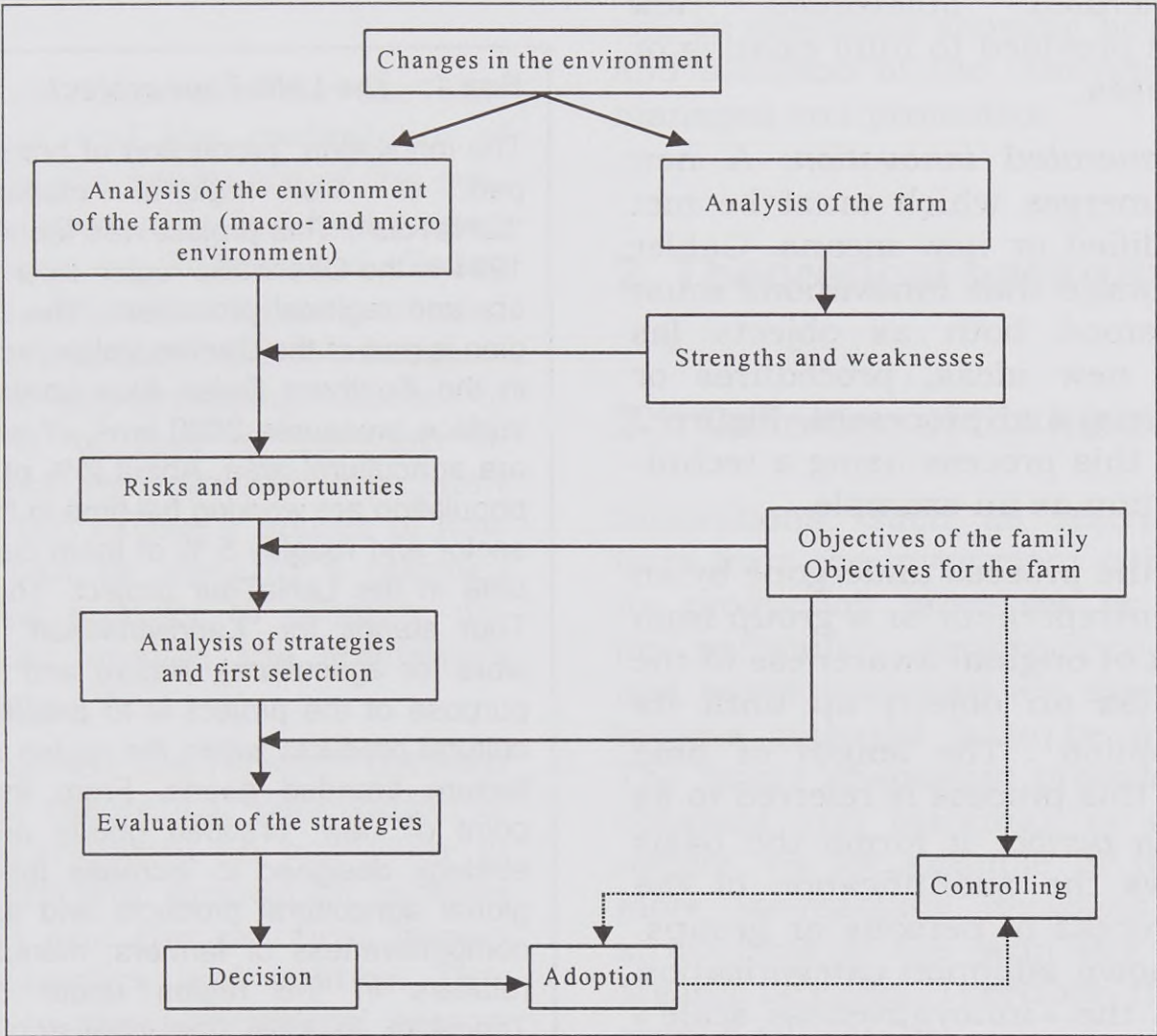


Figure 1: General management process

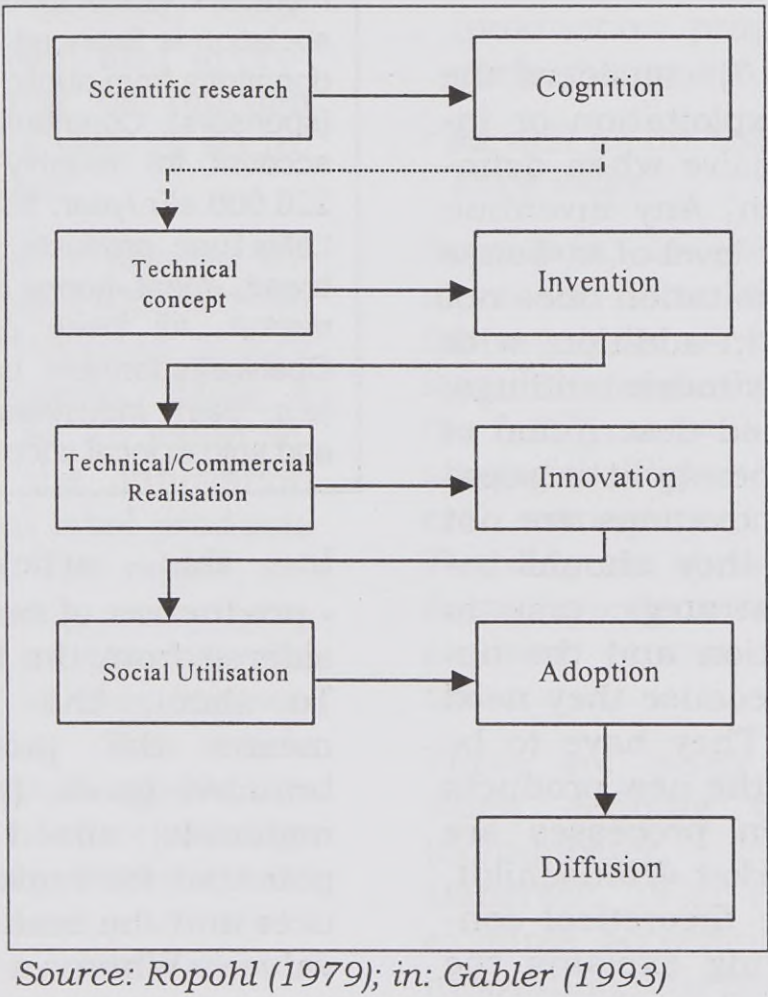


Figure 2: Model for the generation of a (technical) innovation

produce LaNaTour products (or the necessary raw materials) he becomes a member of the LaNaTour association. This step represents the initiation of active vertical integration into the foodstuff supply chain. The production of regional branded goods takes place in co-operation with regional manufacturers and retailers. This is a new purpose using new organisational and social channels (new means), such as new communication networks or a specific system for product quality control. On the other hand, the application of production factors and methods does not necessarily differ from those currently used in integrated or organic farming.

Based on these explanations, LaNaTour can be described as an organisational (or marketing) innovation, implying the active vertical integration of the associated farmers into the foodstuff chain and close co-operation with regional manufacturers, retailers and, finally, consumers.

2.2. Theoretical approach

Adoption and diffusion are commonly discussed in literature as two distinctly separate subjects. « Most of the theoretical studies of adoption behaviour ... use static analysis that relates the degree of adoption to factors affecting it », while « diffusion models are dynamic and derive analytically the behaviour of the diffusion process over time » (Feder *et al.*, 1985, p. 260). The present article is primarily focused on adoption behaviour and the analysis of relevant determinants forming the basis of adoption decision.

Economists, sociologists and psychologists have given considerable attention to the selection of determinants for innovation decisions in agriculture. In the case of economic aspects (e.g. Feder *et al.*, 1985; Saha *et al.*, 1994; McWilliams & Zilberman, 1996), the investigation focuses on the individual *farm* and its commercial status (e.g. size) and the *innovation* with its economic consequences. Social-psychological innovation theories (proposed by Gabersek, 1990; Schur, 1990; Lettmann, 1995)

focus on the *personality of the farm manager* and his *social environment*.

In the case of LaNaTour, it is necessary to extend the economic approach. By adopting the LaNaTour innovation, farmers are not merely breaking new ground in the economic field, but also in the ecological, social and individual dimensions. In the case of these aspects, it can be assumed that attitudes, values and personal goals as well as the anticipated social consequences of the innovation are of great importance to the individual making the decision. Therefore, the Fietkau and Kessel (1981) model is used, in combination with the approaches of Thom (1992) and Lemery (1996)³. Lemery's approach serves as an alternative model to cluster possible reasons of adoption.

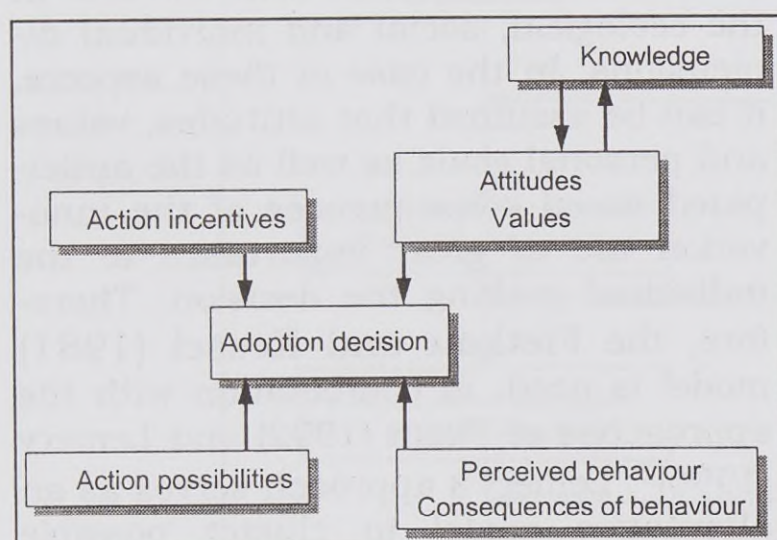
3. Methods

As mentioned above, social-psychological innovation theories provide the theoretical background of this study. The relevant theoretical and empirical reasons for deciding the adoption of an innovation are applied to the investigation of the LaNaTour regional marketing project. As far as possible, existing operationalisations are used, otherwise the dimensions of our own field of study will be operationalised in a similar way and, if necessary, extended. Individual, assumed empirical facts concerning existing relationships are verified in order to answer the question under investigation, namely which relevant factors at farm level influence the decision to adopt an innovation (investigation designed to test hypotheses)⁴. The Fietkau and Kessel model used illustrates this in the form of potential empirical relationships. The terms and concepts used in this model to explain ecologically relevant behaviour in agriculture are derived from various theories. According to

³ Lemery's approach is explained in detail in Appendix 1.

⁴ This procedure must be differentiated from the verification of an existing innovation theory based on a quantity of logically related, consistent hypotheses (theory verification check).

Fietkau and Kessel, ecological behaviour is governed by action possibilities and action incentives (external factors), verbal commitment, ecologically-orientated attitudes, ecologically-orientated knowledge as well as perceived behaviour (inner ecological awareness).



Source: Fietkau & Kessel (1981)

Figure 3: Reasons for decision for adoption of an innovation

In the present study, the hypotheses of the Fietkau and Kessel model are applied to the investigation of the LaNaTour innovation. For conceptualisation and operationalisation purposes they are adapted and extended to suit the relevant aspects concerning the adoption of the LaNaTour innovation.

In this study the survey method is used. In an initial phase, 10 interviews with experts (explorative survey) were undertaken in the investigated area in order to identify possible reasons which influence the decision to adopt the LaNaTour innovation. A fully-standardised questionnaire was developed using the results of these interviews combined with those well-known theoretical and empirical reasons for adopting an innovation already expounded in literature. To a large extent, the questionnaire was formulated in accordance with the relevant constructions of the Fietkau & Kessel model. Thus, for each construct in the model a group of questions was drawn up. The draft version of this questionnaire was pre-tested with 15 farmers. Finally, within the scope of the mail survey, 287 full-time farmers under the age of 65 (full-scale inquiry) and 91 part-time farmers working farms of over 10 ha (targeted selection) in the

Oberwallis region (study region) were approached.

Of those questionnaires which were returned, 167 could be evaluated. This corresponds to a usable response of 46 %. The results show that, in the main, the questionnaires were completed and returned by younger farmers, those working larger farms and farmers whose land is located in valley regions or upper mountain areas. There was an above-average failure to reply from older farmers and those with smaller farms. Therefore, it must be assumed that the response represents a positive selection. This fact must be taken into account with respect to the implications for the target population⁵.

The evaluation of the data acquired is carried out in two stages. In the first stage, we estimate the determinants of the farmers' decision to adopt. To this end a descriptive evaluation of the data gathered by the mail survey is made. The adaptation processes which have actually been initiated, knowledge about the LaNaTour innovation and possible reasons for and against the innovation are of particular interest. In the second stage, a Logit analysis is used in order to determine which factors have significant influence on the decision to adopt or reject the innovation. On the basis of these evaluations, measures are then elaborated to improve innovation management on the farm level as well as on the sectoral level, i.e. for the diffusion of the LaNaTour innovation. At this point, the Lemery (1996) approach is applied.

Lemery suggests that three so-called key areas should be analysed to evaluate the adoption and diffusion process of an innovation. These key-areas are: (1) the production process, (2) the existing value system and (3) the existing social network. Each key area is defined with the help of criteria. The evaluation of these criteria is based on theoretical and empirical reasons for adoption of innovations as well as the descriptive data analysis of this study. The situation prior to the adoption of the innovation and the anticipated situation

⁵ This could only apply to full-time farmers, if at all, since part-time farmers represent a targeted/intentional selection.

following its adoption are compared for each of these key areas, i.e. the corresponding criteria. Thus, the chances of a successful adoption of an innovation are related to the compatibility of the initial status with the situation following its adoption.

The use of Lemery's approach facilitates structuring of the relevant reasons for adoption of an innovation as revealed by the survey. As a result of this, it can be shown which of these reasons are of importance in which key areas. This allows definite conclusions to be drawn on the subject of innovation management.

4. Results

4.1. General adaptation processes in Oberwallis agriculture

In the typology of Swiss regions, the Oberwallis region is described as a highly rural mountain area. Agriculture in this region faces problems which are typical for mountain regions in general. Owing to these problems and in view of the changing economical, ecological and social framework, there will probably be a decline in the competitiveness of farms specialising in the production of raw materials. In this context, it is of interest to know which strategies farmers in this region have envisaged for the future development of their farms and which position the LaNaTour innovation occupied in the range of the strategies selected.

The adaptations which have been implemented by farmers in the last five years⁶ relate mainly to changes in the ratios work/surface area, capital/surface area and work/capital, as well as the degree of vertical integration in the foodstuff supply chain. The majority of the implemented adaptations relate to the utilisation of available production factors, i.e. land (expansion of the farm) and capital (new and substi-

tute investments) as well as changes in production methods (switch to integrated or organic farming). Changes relating to the factor work (e.g. taking on a non-agriculture side-line) are mentioned less frequently. Other adaptations mentioned include commencement of direct marketing and closer contact with the non-agricultural population. The form and frequency of the adaptations mentioned are significantly governed by the criteria sub-region, altitude, education and age.

In the future the farmers who responded plan in particular to modify their use of the production factors land, capital and labour. Above all, these plans include new and substitute investments in buildings, increase in size of the farm as well as changes in use of the work-force available (on the one hand, increased part-time activities outside agriculture, on the other hand, reduction of work outside agriculture). In addition, there are plans to modify production processes (switch to integrated production or organic farming), commencement of direct marketing as well as improvements in intersectoral co-operation and interactive relationships with the non-agricultural community. The most important strategies are shown in Figure 4 according to the frequency with which they are mentioned.

Figure 4 shows that, compared to other farm strategies, the LaNaTour innovation receives below average consideration. The LaNaTour innovation project was launched in spring 1994 and the first products came onto the market in November of the same year. The project was not of topical interest to farmers until 1996. In the initial phase of the project (February 1994 to February 1996), a mere 5 % of farmers actually produced either raw products or branded goods for LaNaTour. Based on the results of the survey, about 20 % of the farmers regard LaNaTour as a relevant strategy. They have decided to join in the project in the next five years. Thus, the significance of the LaNaTour innovation is comparable to that of conversion to organic farming.

⁶ The investigation period of five years was chosen because reforms started in Swiss agriculture at the beginning of the '90s.

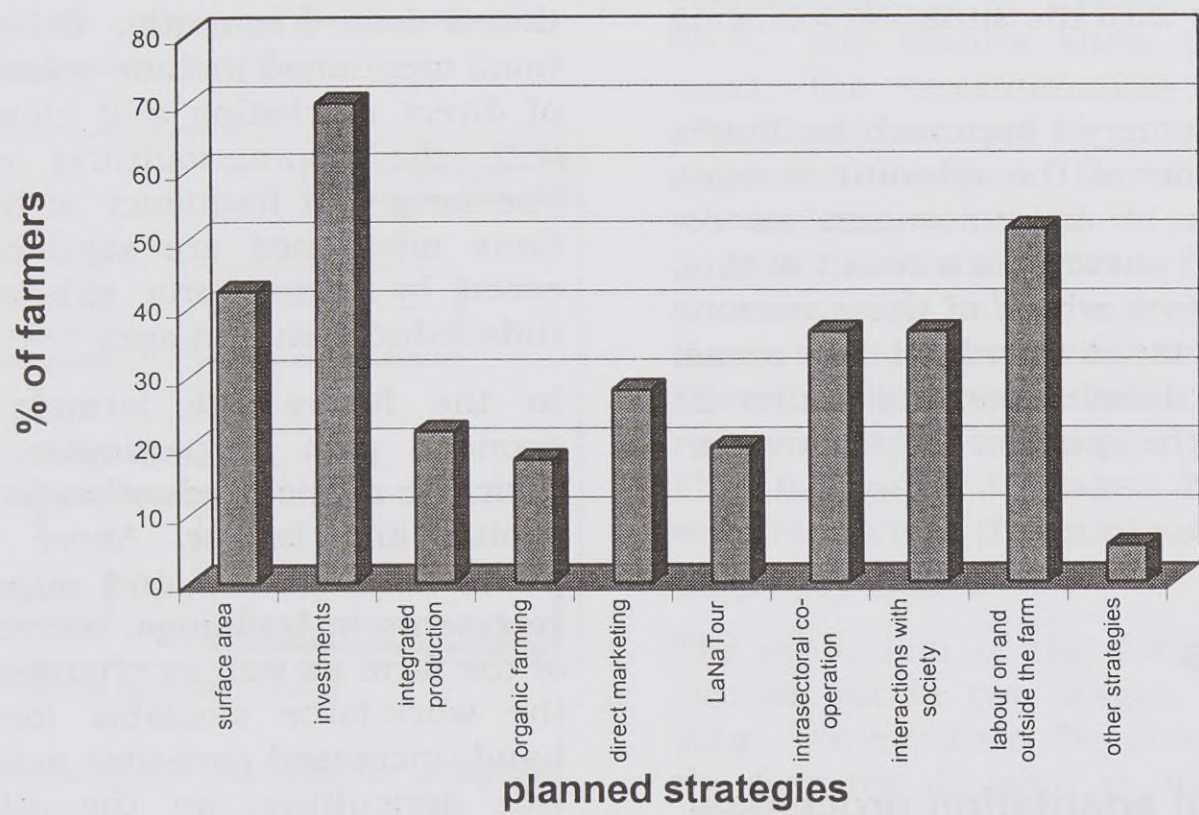


Figure 4: Farm modifications planned for the next five years

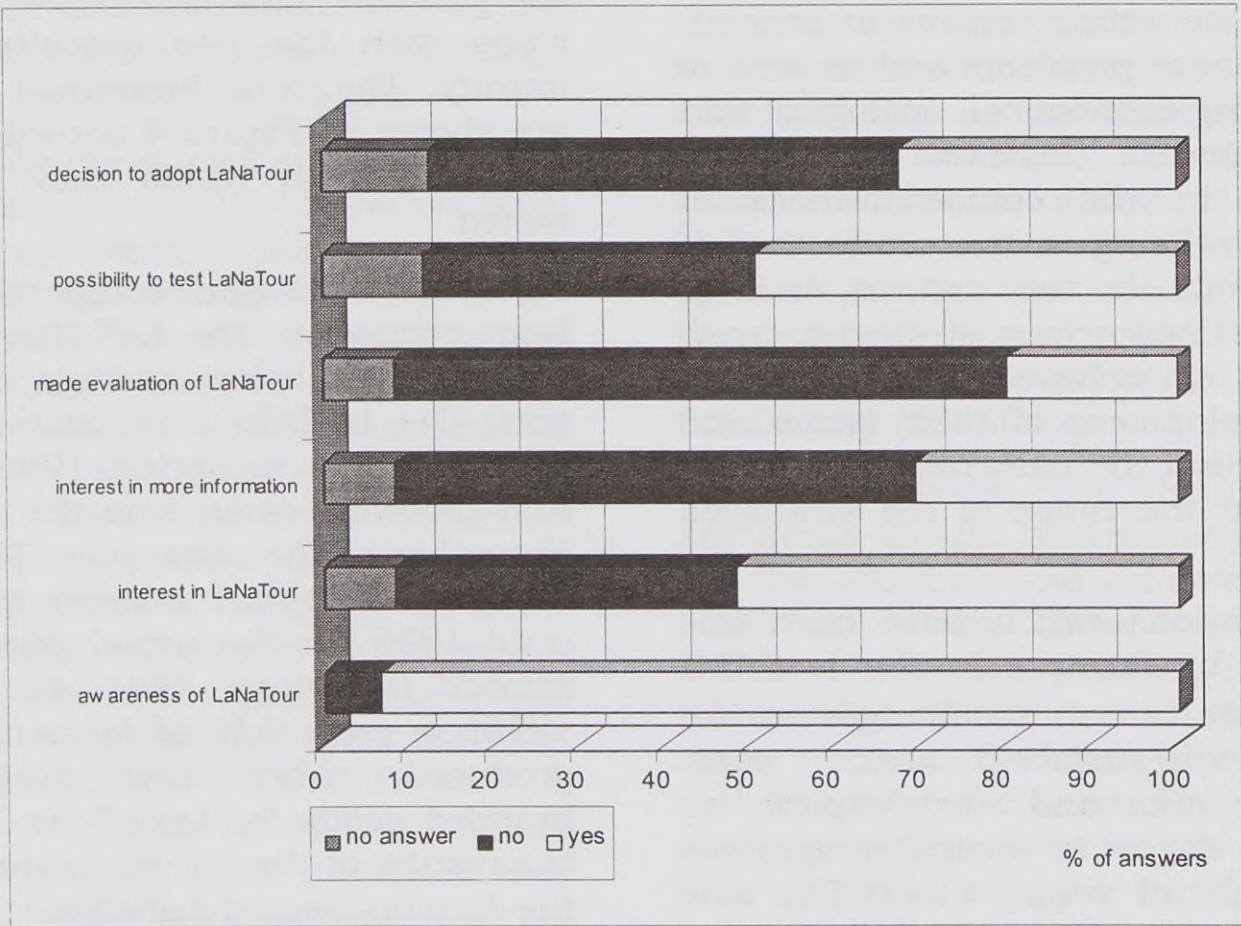


Figure 5: Information behaviour of farmers regarding the LaNaTour innovation

4.2. Farmers' opinions about the LaNaTour innovation

From the farmers' point of view, the most important *reasons for the adoption* of the LaNaTour innovation are product declaration (e.g. place of origin and production methods), anticipated increase in prices and sales quantities for local products, as well as guaranteed quality and place of origin of branded goods through appropriate controls. Other reasons for participation in LaNaTour are the positive effects on self-confidence thanks to the branded goods and the increased awareness of the population for local products. The main *arguments against the adoption* of the LaNaTour innovation are uncertainty about financial gains, customer confusion when confronted by yet another label and fear of new controls. Furthermore, the rapid reforms taking place in agriculture were also mentioned as well as the opinion that LaNaTour would result in further ecological restrictions for agricultural production. In addition, a large number of those who replied feared that entry into the production of branded goods would entail more work (e.g. for marketing controls).

Taken overall, the reasons given pro and contra the LaNaTour innovation present a contradictory picture. On the one hand, farmers expect improved positioning of their products against competitors from other Swiss regions and abroad. On the other hand, they do not feel they are in a position to assess the financial benefits or resource requirements of the innovation (e.g. work involved, controls). Together with aversion to risk and well-known stereotypes regarding alternative production methods (e.g. integrated production or organic farming, which are associated with LaNaTour), these uncertainties are stated as reasons for rejecting adoption.

Information plays an important role in the adoption process (Gabersek, 1990; Schur, 1992; Hauschildt, 1997; p. 135). Therefore, the farmers under investigation were questioned about their information behaviour regarding the LaNaTour innovation (search for and processing of information). According to Wilkening (1953; in: Gabersek, 1990,

p.16), information behaviour for the evaluation of innovations can be divided into five stages: 1. awareness stage, 2. interest stage, 3. evaluation stage, 4. trial stage and 5. adoption stage.

Most farmers, with few exceptions, have heard about the LaNaTour project (awareness stage). Information about the project is carried almost completely by the daily press and the local radio station. As a rule, knowledge about the project is limited to hearsay. About 45 % of the farmers claim to know farmers who already produce branded goods, or they can name some of these products. About half of the farmers who answered the questionnaire already had some interest in the project and a third had taken the trouble to get further information (interest stage). About one fifth of the farmers claim to have made an assessment of the innovation (evaluation stage) and about half of the farmers declared they would be prepared to give it a try and participate in the LaNaTour innovation (trial stage). Finally, one third of the farmers decided to adopt the LaNaTour innovation (adoption stage).

Figure 5 is a decline in the interest and information status of the farmers between the moment when they become aware of the innovation and their adoption decision. Statistical calculations reveal that farmers' information behaviour varies depending on whether they have decided to adopt or reject the LaNaTour innovation. It is noticeable that 80 % of those farmers who decided to adopt the LaNaTour innovation went through most of the information search and processing stages. Assuming that the innovators and initial adopters in particular (or at least most of them) went through all the information search and processing stages⁷ it can be confirmed that the LaNaTour project is in the early adoption phase.

⁷ Those who adopt the innovation at a later date do not have to go through all the stages of the adoption process since they can follow the examples set by the original adopters.

4.3. Determinants of farmers’ adoption decision

In addition to the results shown above, determinants which have a significant influence on the decision to adopt the innovation are of interest. It is not a matter of quantifying, in terms of exact values, the influence exerted on the adoption decision by individual variables, but rather of showing which factors the farmers take into account during the decision-making process. For this reason, a Logit-analysis is used.

Only a short period of time (< 1 year) elapsed between the first possible market appearance of the innovators with their LaNaTour products and the survey. Therefore, emphasis is placed on the analysis of possible determinants in the adoption decision in the narrow sense, rather than on the analysis of relevant factors which influence the diffusion of the LaNaTour innovation.

The Logit-analysis serves to determine the interdependence of categorial data.

We attempt to relate the dependent variable (y=decision to adopt the LaNaTour innovation) to the independent variables ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$). We suspect that a clear causal interdependence exists between the dependent and the independent variables (asymmetrical approach). The Logit model reveals the probability with which, given a certain answer combination of $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ variables, a farmer can be numbered among the “adopter” or the “rejecter” group.

The quality of the overall model, as well as the declarative efficacy of the individual regression coefficients (parameter b) are determined using the SAS statistic programme. The results of the Logit estimation are provided in the second and third column of Table 1. The presented Logit model is the best possibility for the database under consideration. Together, the variables listed explain the adoption decision to a large extent (Log-Likelihood-Ratio Test: p-value = 0,0001, i.e. the model is valid).

Constructs	Variables	Logit Model	
		Regression Coefficient	t-Ratio
	Constant	-0.0275	-0.0660
Action incentives	Expected higher prices of LaNaTour products	0.9255***	2.8671
	Decreasing agricultural income	0.6668**	2.2680
Action possibilities	Having tested LaNaTour	1.2110***	4.1802
	Production method conventional	-0.8454***	-2.3418
	Integrated	-0.0137	-0.0463
	organic farming	0.8591**	2.2051
Knowledge	Level of knowledge about LaNaTour	0.5744***	2.5827
Intention	Self-confidence thanks to the branded goods	0.6348***	2.5836
	Expected competition between farmers	1.1716***	2.9534
	Log Likelihood Ratio	59.74	

Note: *** Significant at 1 % level, **Significant at 5 % level, * Significant at 10 % level

Table 1: Empirical results of decision to adopt the LaNaTour innovation

The results confirm the hypotheses that determinants of almost all constructs of Figure 3 influence the innovation decision. The t-Test is used to test the regression coefficients (value of the regression coefficient b_j divided by the standard deviation of the regression coefficient s_{bj}). The effects of the expected higher prices of LaNaTour products (action incentives), knowledge about and attitudes to the LaNaTour innovation are significant at the 1 percent level. Furthermore, the present production methods (conventional production, integrated production or organic farming) can be shown to contribute significantly to the LaNaTour adoption decision. The more ecological the production methods of a farmer, the greater the likelihood of the innovation being adopted. An additional influence on the adoption of the LaNaTour innovation is exerted by farmers' expectation of inter-professional competition. If farmers did not expect increasing inter-professional competition, the probability of an adoption decision would sink. On the other hand, if farmers reckon with increasing competition, this probability increases.

As mentioned above, exact quantification of the influence exerted on the innovation decision turned out to be difficult. Nevertheless, some interesting conclusions can be drawn from the results above, and the findings in the descriptive analysis can be confirmed. It can thus be shown that the perception of action incentives as well as knowledge and attitudes are of great importance for the innovation decision. The perceived behaviour of other farmers, action possibilities (in the field of branded products) as well as other determinants examined (i.e. farm size, education and farmers' age) have no or only little influence on the adoption decision. It can be assumed that, given the current status of the adoption and diffusion process, potential innovators are not yet in a position to form any ideas about the possibilities and the possible consequences of the LaNaTour innovation. However, if any such ideas exist (i.e. by farmers who have turned to direct marketing in the last years), they neither impede nor promote the innovation.

5. Implications for innovation management

The preceding chapter discussed the importance attached by farmers to the LaNaTour innovation as compared to other possible strategies. Furthermore, mention was made of the principal arguments pro and contra the adoption of the innovation, respectively which determinants influence the adoption decision. This chapter aims to reach appropriate conclusions for innovation management, on both farm and sectoral levels, based on the evaluation of the LaNaTour innovation by farmers in the studied region. At the *farm level* (see chapter 2.1), decision and management instruments must be developed to support farmers in the selection of strategies for their farms (effectiveness) as well as for optimising the realisation of the chosen strategy (efficiency). Therefore, innovation management demands the use of instruments other than those used for the everyday production process of agricultural goods and services (Hauschildt, 1996, p. 42). Finally, on a *sectoral level*, the diffusion of an innovation has to be supported and controlled efficiently, in the interest of advisory services or policy.

The reasons indicated in the survey for adoption of the innovation are structured according to Lemery's (1996) approach. In the following, it is shown which clusters of reasons are important in which of the three key areas for the successful adoption of the innovation. This allows definite conclusions to be drawn on the subject of "on-farm" and sectoral innovation management.

5.1. Economic and technical feasibility

The relevant criteria for evaluating the economic and technical feasibility are presented in. In the opinion of the farmers, the LaNaTour innovation is technically feasible with regard to configuration of the production factors, production direction and product quality. How

Criteria	Description of the criteria
Production factors	Configuration with the factors soil, capital and work; availability of these factors for LaNaTour
Production direction	Depends on fulfilment of integrated production or biological guide-lines; possibilities for switching to integrated production or organic farming
Requirements for the protec-tion of nature and the country-side	Additional conditions in the fields of protection of nature and the countryside; fulfilment of these requirements
Product price	Price as incentive for offer
Factor price Production costs	Cost structure of farm; marginal cost for the production of LaNa-Tour products
Product quality	Requirements for product manufacture; quality of LaNaTour products
Controls	Administrative implementation of controls; additional work in-volved for controls
Marketing	Individual and/or collective marketing of products; additional work involved for marketing
Marketing contributions	Amount of contributions for marketing, administrative implemen-tation
Information	Access to information on project, production requirements, mar-ket (supply, demand, etc.), coordination of supply and demand

Table 2: Criteria for evaluation of technical and economic feasibility

Criteria	Description of the criteria
Competitiveness (entrepreneurial think-ing)	Switch from production in a relatively well-protected system with guaranteed sales to a more competitive agriculture; demands more entrepreneurial thinking
Type of products: branded goods or standard products	Production of branded goods as a strategy; differentiation of branded goods/standard products; vertical integration in foodstuff supply chain
Willingness to accept risk	Evaluation of market risk (e.g. demand and its development)
Competitive thinking	Compatibility of inter-sector joint-projects with increasing individuality and competitive thinking in agriculture
Assumption of responsibility for self	Assumption of more responsibility for self, with simultaneous withdrawal of State as production regulator
Self-assurance	Branded goods contribute to producers' self-assurance
Attitudes	Attitudes and opinions: "The State will help out", "You can sell the same products at a higher price without switching to inte-grated production or biological methods".

Table 3: Criteria for evaluation of the compatibility with existing, generally accepted system of values

ever, this assumes that the farms are worked according to integrated production or biological guide-lines, because these production methods are a requirement for participation in the project. In terms of exploitation of the available production factors, a change of the production method must be regarded as the most important modification demanded by the adoption of the innovation. The results of the Logit analysis confirm this conclusion. The probability of adoption of the LaNaTour innovation is significantly higher (lower) depending on whether the farm operates along biological (conventional) lines. In those cases where a farm operates on conventional principles, it can be assumed that any change in the production method is generated by the effects of agricultural policy rather than by the prospect of participating in the LaNaTour innovation (cross compliance). Further, the additional conditions imposed by LaNaTour in the fields of protection of nature and the countryside do not involve any great investments since most of the farms in mountain regions already fulfil these requirements.

The results of the survey clearly confirm that the anticipated financial benefits, the control of the products (e.g. origin, production method, quality) as well as the expected influence on demand are important for the adoption of the LaNaTour innovation. However, it cannot be concealed that farmers find themselves confronted by several open questions. To many farmers the LaNaTour innovation appears too complex and incomprehensible. Therefore, in order to ensure compatibility of the situation before and after adoption, it is essential that potential adopters should be able to evaluate the financial benefits and disadvantages of the innovation, as well as the technical requirements which must be fulfilled in order to participate. Appropriate information must be provided for use at the *farm level*. At the *sectoral level*, detailed information concerning the innovation must be made available and in addition technical prerequisites, such as project financing, co-ordination of offer and demand, organisation and performance of production and product controls as well as organisation of various production processes involving

producers, manufacturers and retailers must likewise be guaranteed. At present, farmers consider that these conditions are not fulfilled.

5.2. Compatibility with existing (generally accepted) systems of values

Innovators are breaking new ground when they adopt LaNaTour. They become suppliers of regional branded goods (or raw materials for these products). Thus they are distancing themselves from the role they have fulfilled to date - namely as producers of commodities for the manufacture of standard products. Membership of the LaNaTour association means that they achieve vertical integration in the food-stuff supply chain and accompany their products right through to the consumer. This demands that the innovators be willing to assume a higher degree of responsibility for themselves and accept the risk factor. Furthermore, contrary to today's trend towards tougher competition within the branch, collective marketing of regional branded goods demands more cooperation with professional colleagues.

Some of the criteria within this key area (Table 3) can only be recorded and measured with great difficulty. As a result, the perception of the compatibility of the LaNaTour innovation (i.e. the modified roles and obligations it entails) with existing systems is problematic in some degree. In this context, it must be noticed that the social system and the values which form its basis are changing continuously. The majority of farmers are aware of pressure towards change and realise that renewal is essential. However, at the same time, there is general uncertainty about the direction, degree and speed of the necessary changes. In this type of situation, farmers tend to cling to proven patterns, namely the traditional role of agriculture, and only test innovations on a step-by-step basis. The assessed importance of LaNaTour in the field of possible renewal strategies, i.e. in the field of change to organic farming, confirms this assumption. This is the starting

point of departure for innovation management.

At the *farm level*, the ability to innovate (creativity) and motivation must be given particular encouragement. In this context, it is important to show that a farmer's self-esteem can find renewal in a changing environment. It must be shown that the production of branded goods and active integration in the foodstuff supply chain can contribute to professional self-confidence. In this respect, innovation management can offer support by encouraging reflection on existing duties and roles and prompting orientation in new directions. Finally, at the *sectoral level*, the professional organisations should point out that collaboration in a collective, common marketing project is a potential alternative to other strategies which only intensify competition. In the opinion of the farmers, this would indeed be breaking new ground.

5.3. Integration of the new organisational form in the network of existing structures

It must be assumed that the existing market structures (among other things, significant dependence on the processing branches within the foodstuff supply chain) leave farmers very little scope for the realisation of their own product and

market innovations (apart from direct marketing with its limited quantities). However, potential possibilities are open to them in the field of process innovations (e.g. switch to integrated production or organic farming) and organisational innovations (e.g. inter-sector or inter-professional cooperation).

The organisational success of the LaNaTour innovation depends largely on the willingness of farmers and other participants to work hand-in-hand with new partners in a new organisation (Table 4). For many of the participants (producers, processors, dealers, retailers, consumers), this form of co-operation is unusual and not (yet) desired. At the same time, inter-professional co-operation is equally important. This deals with both reaching agreements on the interests of the branches within the new organisation and with the solution of technical requirements.

Innovation management at *farm level* must demonstrate the advantages of enhanced co-operation, in the form of the LaNaTour association, for realising the concept of branded goods. For example, these advantages must be compared with the benefits inherent in a direct marketing strategy. In addition, it must be made clear how the individual farms can contribute to this co-operation, namely how the farmers should discharge their commitment.

Criteria	Description of the criteria
Inter-sector cooperation	Getting together with "other" partners who have different interests and goals; compatibility with other organisations
Inter-professional cooperation	Cooperation versus competition within agriculture; compatibility of the new organisation with existing agricultural organisations
Public interest	Pilot project subject to great public interest and must succeed: protection of innovators
LaNaTour Association	Constitution of the association; establishment of decision-making competence
Office	Integration and authorisation as contact and coordination office; catalogue of duties

Table 4: Criteria for the evaluation of the new organisation in the network of existing organisation structures

At *sectoral level*, innovation management must develop and prepare instruments for the realisation of organisational innovations. It must be shown how the individual partners in the LaNaTour association can reach their target of the production of branded goods along the foodstuff supply chain. In this context, transaction costs must be reduced to a minimum. This blend of instruments also includes protection of the innovators during the test phase and transparent information on the status of the project as well as on current market successes and failures. Furthermore, there must be transparency concerning the tasks of the LaNaTour association, i.e. there must be clarity concerning the interactive relationships between this new form of organisation and the existing network of organisations and professional associations.

6. Conclusions

The preceding chapter showed which determinants in the three key areas suggested by Lemery are of importance for the adoption, and therefore indirectly for the diffusion, of the LaNaTour innovation. Based on these determinants, measures designed to improve innovation management, both on the farm and sectoral levels, were listed for each of the three areas. It is assumed that, when they have been fulfilled, these measures will lead to an increase in the probability of adoption. On the one hand, these measures should present proof of the technical feasibility and economic benefits of the innovation and thus serve as a basis on which potential adopters can form their decision. On the other hand, the measures proposed also serve to present proof of the innovation's compatibility with the existing, generally accepted system of values and with the existing social system. The elaboration of innovation management measures in these two domains goes beyond merely proving the economic benefits of the innovation. However, the LaNaTour example reveals the limitations of including the person who makes

the decision (his/her personality, objectives, attitudes and values) and his/her social environment (generally accepted system of values, social network). Although up to a certain point it can be shown that the factors in these sectors which are difficult to quantify have a conditional influence on the innovation decision, there is nevertheless a danger of them being generalised or even omitted from the evaluation.

Innovation management is aware of the significance of the individual and social environment. For example Thom (1992, p. 10) wrote: « New ideas can only be generated and realised by people. The individual represents the « bottle-neck factor » so to speak in a comprehensive approach to innovation promotion in companies ». According to Thom, individual characteristics, such as « innovation ability » (in particular, creativity) and « innovation motivation » represent a focal point in the person-orientated requirements of innovation management.

At present, the LaNaTour project is stagnating in a situation where a few innovators bring small quantities of niche products onto the local market. This situation is due mainly to lack of information and uncertainties about economic benefits prevalent among all actors (i.e. farmers, manufacturers, retailers). Furthermore, the actors consider the transaction costs excessive for integrating LaNaTour (as an organisational innovation) into the existing organisation networks structure. On the one hand, this is dictated by the existing structures (organisations, production, distribution and sales channels) and on the other, stems from a lack of mental willingness to go ahead with vertical integration into the foodstuff supply chain.

Following Hauschildt's definition (see chapter 2, p. 3), an innovation only exists when, regarded ex-post, it has actually proved itself. In the case of the LaNaTour regional marketing project, we adopt the hypothesis that the innovation is a success, both from an economic and organisational point of view. The consideration of LaNaTour from the point of view of innovation theory and innovation management permits the use

of the according methodology instruments, which differ from those used in routine production processes of agricultural products and services. Finally, decisive innovation management measures can be elaborated on the basis of the intensive debate regarding the reasons pro and contra the adoption of LaNaTour. Therefore, the principal contribution of this present article lies in the elaboration of measures in the three key areas (1) production process, (2) the existing system of values and (3) the existing social network. References

Baker N.R., Siegman J., Rubenstein A.H., 1967. The effects of perceived needs and means on the generation of ideas for industrial research and development projects. *IEEE-Transactions on Engineering Management*, vol. EM-14

Feder G., Just R.E., Zilberman D., 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33 : 255-298

Fietkau H. J., Kessel H., 1981. Umweltlernen - Veränderungsmöglichkeiten des Umweltbewusstseins; Königstein

Gabersek E., 1990. *Die Adoption investitionsgebundener Innovationen in der Landwirtschaft - Empirische Analyse der Einflüsse auf eine Innovationsentscheidung*; Dissertation; Kiel

Gabler Wirtschaftslexikon, 1993. 13. vollständig überarbeitete Auflage; Wiesbaden

Hauschildt J., 1997. Innovations management; 2. Auflage; München

McWilliams B., Zilberman D., 1996. Time of Technology adoption and learning by using. *Econ. Innov. New Techn.*, 4 : 139-154

Lemery B., Couix N., Barbier M., Cartier S., 1996. Agriculture et environnement: Jeux d'acteurs, émergence de nouvelles formes d'organisation et recherche de nouvelles coordinations sur les espaces ruraux in Allaire G., Hubert H., Langlet A. (éds). *Nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural*. Toulouse, 17-18 décembre 1996. INRA Paris, Série Orientation et Organisation, 1996 : 35-67

Lettman A., 1995. Akzeptanz von Extensivierungsstrategien in Nordrhein-Westfalen; Bonn

Saha A., Love H.A. and Schwart R., 1994. Adoption of emerging technologies under output uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics*, 76 : 836-846

Schumpeter J.A., 1964. Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung - Eine Untersuchung über Unternehmergewinn, Kapital, Zins und Konjunkturzyklus; 6. Auflage; Berlin

Schur G., 1990. *Umweltverhalten von Landwirten*. Campus Verlag (Frankfurt/Main).

Thom N., 1992. Innovationsmanagement. *Die Orientierung* 100; Schweizerische Volksbank; Bern

Further references

Abt Th.; 1988; Progress without loss of soul: Toward a holistic approach to modernisation planning; Hallwag Verlag; Zürich

Allaire G.; 1992; La grande transformation de l'agriculture : lectures conventionnalistes et regulationnistes; INRA Editions; Paris

Allaire G.; 1995; Projets innovateurs et mutation de l'agriculture; Societe d'edition PROCIVAM; Paris

Ansoff I.H.; 1984; Implanting strategic management; Prentice Hall International;

Barthez A.; 1997; Notre partenaire, la famille paysanne; SRVA; Lausanne

Carlson G.A.; Zilberman, D. and Miranowski, J. A.; 1993; Agricultural and Environmental Resource Economics; Oxford University Press; New York

Feder G., Slade, R.; 1984; The acquisition of information and the adoption of new technology; *American Journal of Agricultural Economics*, No. 66; pp 312-320

Gomez P., Probst G.; 1995; Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens; Verlag Paul Haupt; Bern

McGregor M. et al.; 1996; Links between psychological factors and farmer decision making; *Farm Management*, Vol. 9 No. 5

Kotler, Ph.; Biemel, F.; 1995; Marketing-Management; 8th Edition; Stuttgart

Kroker, D.; 1977; Innovatives Handeln und Motivation; Schriften des Zentrum für regionale Entwicklungsforschung der Justus-Liebig-Universität Giessen, Bd. 5

Linnartz, Th.; 1994; Die Landwirtschaft und ihre Probleme im Meinungsbild der Bevölkerung; Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V.; Bonn

Lynn, G.S.; Morone, J.G.; Paulson, A.S.; 1996; Wie echte Produktinnovationen entstehen; Harvard Business Manager, 4/96, pp 80-91

Pang, J.; 1992; Innovationsorientierte Analyse der ländlichen Entwicklung in Ninxia, Volksrepublik. China; Schriftenreihe: Studien zur integrierten ländlichen Entwicklung, Nr. 39; Hamburg

Rogers, E.M.; 1962; Diffusion of innovations; New York

Rogers, E.M.; Shoemaker, F.F.; 1971; Communication of innovations; New York

Sprenger, R.K.; 1994; Mythos Motivation: Wege aus einer Sackgasse; Campus Verlag, Frankfurt / New York

Theler, Ch.; 1996; Innovationen in der Oberwalliser Landwirtschaft - am Beispiel der Produktion von Markenprodukten; Institut für Agrarwirtschaft; ETH Zurich

Appendix

Model of LEMERY (1996)

Lemery (1996) suggests that three so-called key areas should be analysed to evaluate the adoption and diffusion processes of an innovation. These key areas are: (1) production process (current practices), (2) the existing system of values and (3) the existing social network. Each key area is defined with the help of criteria. Evaluation of these criteria is based on theoretical and empirical reasons for adoption of innovations as well as the descriptive data analysis of this study. The first key area deals with the production process as it exists in the studied region prior to the introduction of the innovation (i.e. existing production methods, selected combination of production factors, etc.). The second key area covers the valid system of values, attitudes and image factors which are regarded as the sociological basis for farmers' activities. Finally, the third key area deals with the current participant and organisation networks into which the farmers are integrated both on an everyday professional basis and in their leisure time.

The situation prior to the adoption of the innovation and the anticipated situation following its adoption are compared for each of these key areas on the basis of the chosen criteria. Thus, the chances of a successful adoption and, on sectoral level, of diffusion of an innovation are related to the compatibility of the initial status with the situation following its adoption. Figure 6 illustrates this relationship.

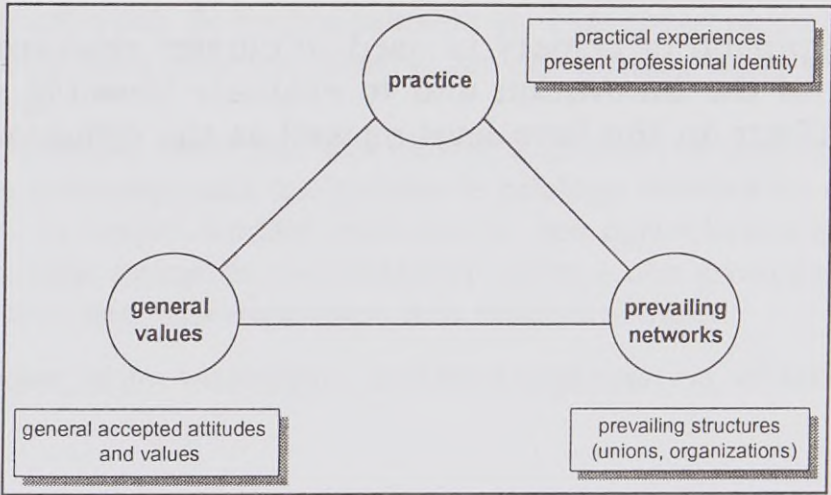


Figure 6a: Initial status

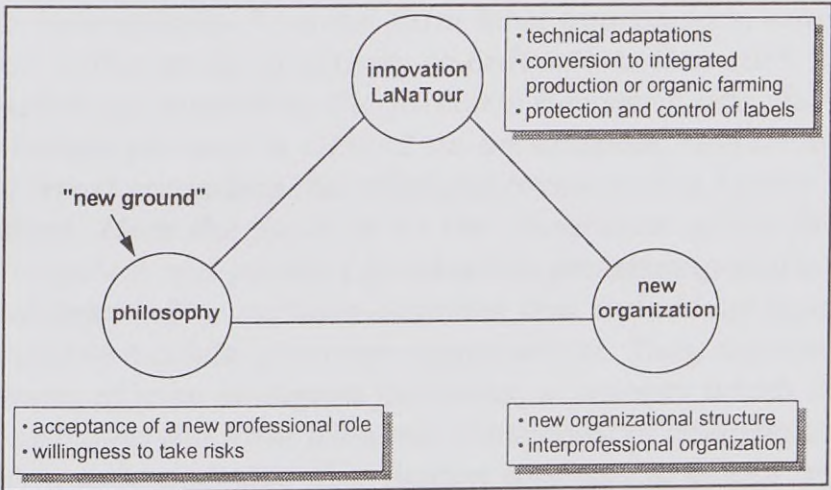
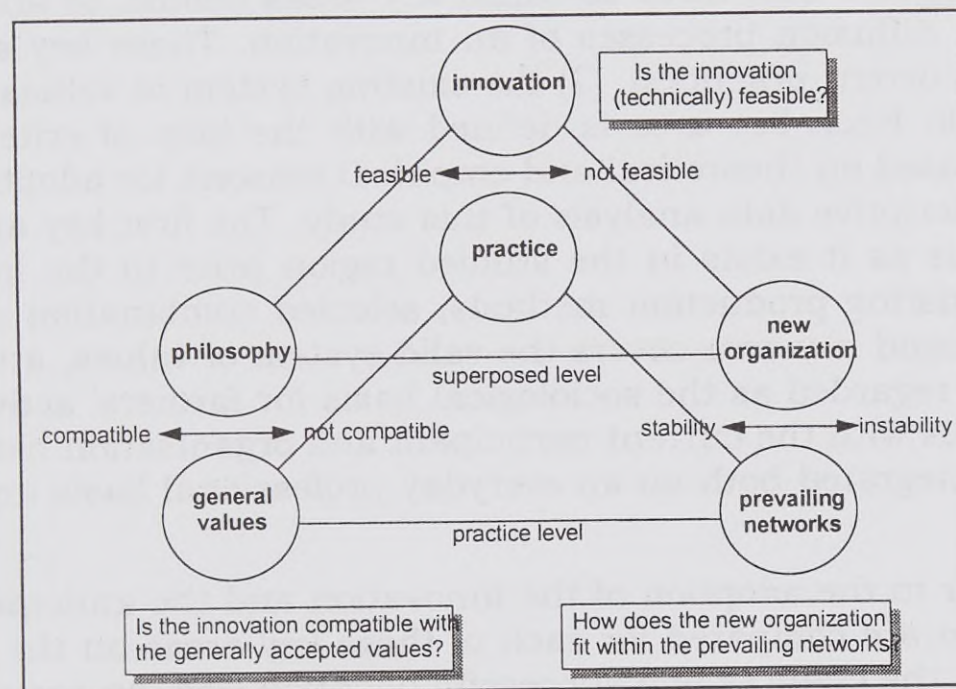


Figure 6b: The LaNaTour innovation

The LaNaTour innovation demands adaptation in all three key areas. Therefore, it must be established whether or not ...

- the innovation is feasible (economically, technically)
- the farmers' new responsibilities and image resulting from the innovation are compatible with the existing system of values and
- the new organisational structures imposed by the diffusion of the innovation are compatible with existing networks.



Source: Lemery (1996)

Figure 6c: Compatibility of the situation with and without the innovation

In this article the approach of Lemery is used to cluster relevant determinants influencing the adoption of the innovation and to evaluate possible strategies to improve the adoption of LaNaTour on the farm level as well as the diffusion of LaNaTour on the sectoral level.