

la régulation biologique

un concept intégrateur de la connaissance agronomique

par **Philippe Prévost**

LEGTA Olivier-de-Serres, BP 150, 07205 Aubenas cedex

L'activité agricole évolue fortement depuis ces dernières années sous la pression sociale (prise en compte de l'environnement dans les pratiques agricoles) et la pression économique (recherche de gains de productivité pour affronter un marché très concurrentiel, de l'échelon local à l'échelon mondial). Ceci crée de nouvelles relations entre l'agriculteur et la société et invite à une réflexion sur les concepts et les méthodes de la science agronomique. En effet, de nombreuses innovations naissent actuellement de conflits d'usage de ressources naturelles (l'eau est le meilleur exemple) ou de la recherche de survie économique d'exploitations agricoles. Par ailleurs, la singularité des situations professionnelles agricoles est une réalité qui oblige, comme le dit Sebillotte (1993), à « remettre l'acteur au centre des préoccupations des recherches », afin que la théorie agronomique se nourrisse de la pratique.

Dans ce contexte, une recherche en didactique professionnelle (Prévost, 1997) conduit à soulever l'importance du concept de régulation biologique dans la structure conceptuelle de la science agronomique. Les résultats de cette recherche constituent ainsi un témoignage illustrant l'intérêt de mener une réflexion sur l'évolution conceptuelle de la théorie agronomique.

Après avoir précisé l'histoire du concept de régulation (sans la spécification biologique), dans les sciences et en agronomie, on propose une analyse de l'opérationalité du concept de régulation biologique dans l'activité agricole, avec l'appui d'une recherche empirique, avant de conclure sur le caractère intégrateur de ce concept dans la connaissance agronomique.

Le concept de régulation et les sciences agronomiques

Le concept de régulation : compréhension et extension

Le concept de régulation se caractérise par un certain « nomadisme » (au sens de Stengers, 1987) que l'histoire permet de comprendre. Canguilhem (1977a) propose de définir la régulation comme « l'ajustement, conformément à quelque règle ou norme, d'une pluralité d'actes et de leurs effets que leur diversité rend d'abord étrangers les uns les autres ». Ce concept, issu du terme régulateur, est apparu dans le dictionnaire de Littré en 1872, mais uniquement comme terme de technologie mécanique (Canguilhem, 1977b). Il a été importé progressivement en biologie, d'abord sous forme métaphorique en physiologie animale, avec les idées de Claude Bernard sur le *milieu intérieur*, pour

devenir « le fait biologique par excellence » (Canguilhem, *op. cit.*). Le concept de régulation biologique a alors été exporté vers la physique, les phénomènes de régulation biologique fournissant un modèle à la théorie cybernétique de Wiener (Jacob, 1970). Le modèle cybernétique est basé principalement sur la relation de rétroaction (*feedback*) et les applications de ce modèle dans de nombreux champs scientifiques ont permis la diffusion du concept de régulation en dehors du champ de la biologie. Cependant, la rétroaction n'épuisant pas tous les phénomènes de régulation, d'autres modèles sont apparus, en particulier le modèle des systèmes ouverts (von Bertalanffy, 1968), et ont permis ainsi de rompre avec l'idée que la régulation biologique est uniquement une fonction de conservation ou de restitution. Elle est également une fonction d'adaptation (Canguilhem, *loc. cit.*).

Pour Piaget (1977), la notion centrale est la compensation ou l'équilibre dynamique qui permet de passer du niveau des forces physiques opposées au palier final de l'auto-organisation qui semble créatrice de continuelles nouveautés. Il propose ainsi, comme signification épistémologique des régulations, qu'« une régulation vise l'amélioration possible d'un système de transformations qui elles-mêmes constituent des actualisations au sein d'un éventail plus large de possibles ». À partir de ce point de vue épistémologique, il apparaît clairement que le concept de régulation peut traverser les différentes disciplines scientifiques qui s'intéressent à divers systèmes de transformations. Ainsi, de la physique à la thermodynamique, de la biologie aux sciences cognitives, de la politique à l'économie, « l'idée de régulation » est partout où des systèmes de transformations évoluent vers une équilibration majorante.

Cette idée de régulation est très liée à la notion de système et de complexité. Dans la théorie systémique, Le Moigne (1977), dans son ouvrage *La théorie du système général*, s'appuie sur la théorie de l'équilibration de Piaget (théorie de la psychologie du développement chez l'enfant) et propose de clarifier les concepts en définissant « la régulation de façon restrictive : la stabilisation d'une structure achevée et en la considérant ainsi comme un cas particulier d'un phénomène plus général : l'équilibration, qui couvrira aussi la stabilisation des structures inachevées » (Le Moigne, 1977). Le Moigne (1977 ; 1990) envisage, d'une part, la régulation comme stabilisation d'un état stationnaire et, d'autre part, l'adaptation avec évolution ou non de la structure. Il semble que ce point de vue s'éloigne de celui de Piaget qui ne limite pas les processus de régulation aux structures achevées. Pour l'approche de la complexité, Morin (1977 ; 1980 ; 1986), dans l'élaboration de « la Méthode », précise que « pour l'être vivant comme pour l'être solaire, exister et fonctionner sont non séparables et la régulation concerne l'existence. [...] La régulation y est donc un aspect de la production de soi » (Morin, 1977). La régulation apparaît à nouveau liée à un processus d'adaptation par auto-organisation.

La notion de régulation a ainsi une place importante dans l'explication de tous les phénomènes naturels et artificiels. Son statut épistémologique reste cependant encore peu stabilisé. En effet, la définition varie beaucoup selon les auteurs et il semble encore bien difficile aujourd'hui de proposer une définition unifiée du concept de régulation comme le propose Le Moigne. Rumelhard (1995), dans une étude récente portant sur l'histoire didactique du concept de régulation en biologie, propose une définition du concept de régulation qui fédère les différents points de vue. Pour lui, la régulation est une fonction de mise en relation des parties et de coordination qui permet de compenser *a priori* et de maintenir un équilibre, de rectifier *a posteriori* des variations et des perturbations, de maintenir ainsi l'intégration des parties, mais également l'intégrité de la forme, ou sa réparation, de retarder la dégradation inévitable, de favoriser l'adaptation, d'anticiper sur des variations et des perturbations (Rumelhard, 1995). Cette définition peut constituer une référence, avec la définition de Canguilhem, pour étudier la fonction de régulation en agronomie.

Quelques définitions

Agro-écosystème

« L'agro-écosystème est un écosystème géré par l'activité agricole. La parcelle de culture est une échelle de référence pour l'agronomie dans l'étude des agro-écosystèmes » (Groupe de travail *Glossaire des concepts systémiques pour l'enseignement agricole*).

Didactique professionnelle

« Démarche pédagogique qui consiste à partir de l'expérience professionnelle propre à une activité, à l'analyser pour les compétences requises, à construire, par une opération de « transposition didactique », des situations-problèmes qui requièrent la mise en oeuvre de ces compétences, et à élaborer des produits de formation aux opérateurs d'améliorer leur niveau de compétences » (Pastré, 1992).

Tâche (prescrite)

« C'est le but à atteindre et les conditions dans lesquelles il doit être atteint » (Leplat, 1986).

Activité :

« C'est ce qui est mis en oeuvre par le sujet pour exécuter une tâche [...]. Les buts et conditions effectivement pris en compte par le sujet dans l'activité ne peuvent s'identifier sans précaution à ceux qui sont prescrits, même si ceux-ci aident à la détermination de ceux-là » (Leplat, 1986).

Connaissance opérationnelle

Connaissance mobilisable et mobilisée dans l'action.

Tâches de gestion d'environnements dynamiques

Situations de travail qui ont deux caractéristiques essentielles : d'une part, elles évoluent avec le temps selon leur dynamique propre et les variables de la situation temporelle, et d'autre part, elles ne peuvent être traitées par opérateurs en termes d'une succession organisée de transformations et d'états discrets qui seraient sous leur seule dépendance » (Rogalski et Samurçay, 1992).

Représentations fonctionnelles

Entités mentales « qui sont finalisées, c'est-à-dire orientées vers la réalisation d'un objectif, sélectives ne retiennent que les propriétés pertinentes à l'activité, être déformées car les points informatifs les plus importants fonction de la tâche visée sont parfois accentués ; elles sont leur contenu et peuvent présenter une absence de (quelquefois même liées) à des superstitions » (Leplat, 1985).

Nuisibilité biologique

Niveau de concurrence des adventices dans la culture à partir duquel une perte de production végétale est constatée.

Nuisibilité économique

Niveau de concurrence des adventices dans la culture à partir duquel une perte de revenu est constatée.

Le concept de régulation en agronomie

Dans l'évolution de la pensée agronomique, le terme régulation n'est pas apparu dans le langage des agronomes, comme ce fut le cas chez les biologistes, jusqu'à une période récente. Par exemple, il n'apparaît pas au XIX^e siècle dans le *Cours d'agriculture* (1844) et dans les *Principes d'agronomie* (1854) du comte de Gasparin.

Ceci peut se justifier par le fait que l'agriculture est une activité qui a toujours visé à exploiter le milieu naturel. Ainsi, dans les conceptions agronomiques, l'objet de la science agronomique concerne essentiellement la compréhension des phénomènes qui permettent d'obtenir le meilleur profit tiré de l'exploitation du milieu de culture pour l'agriculteur. Lorsque de Gasparin (1844) aborde la notion de système de culture, qu'il définit comme « le choix que fait l'homme des procédés par lesquels il exploitera la nature, soit en la laissant agir soit en la dirigeant avec plus ou moins d'intensité en différents sens », il propose un gradient d'exploitation de la nature.

Il distingue les systèmes qui répondent aux forces spontanées de la nature (système forestier, système des pâturages), les systèmes où le travail de l'homme est aidé des forces de la nature (système des jachères, système des cultures arborescentes...) et les systèmes où la nature est suppléée par l'homme pour faire croître les plantes et leur fournir les aliments (système continu avec engrais). L'abandon progressif des deux premières catégories de systèmes au profit du système où la nature est suppléée par l'homme permet de comprendre à quel point les forces de la nature ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins de l'agriculteur. Ainsi, l'idée de conservation du milieu, inclus dans le concept de régulation, ne peut satisfaire l'agronome tant que l'objectif est d'améliorer le milieu

pour favoriser le développement des cultures. Le concept de régulation, vu dans son acception restreinte de fonction de conservation, ne présente pas d'opérationnalité en agronomie tant que l'activité agricole améliore le milieu de culture.

Il semble que le terme régulation apparaît dans les concepts de l'agronomie avec le développement de la théorie systémique en agriculture. Il est très explicitement exposé dans l'ouvrage collectif de chercheurs de l'INRA intitulé *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude* (Gras et al., 1989). Dans cet ouvrage, le concept de régulation est introduit pour expliquer quelques trajectoires d'évolution des systèmes agricoles, quels qu'ils soient (parcelle de culture, exploitation agricole, système agraire). Les risques de dégradation du milieu naturel par l'activité

agricole et le développement de la pensée systémique qui reprend la théorie de l'équilibration de Piaget sont, pour une part, à l'origine de l'introduction du concept de régulation en agronomie.

Pourtant, dans l'évolution de la pensée agronomique, l'idée de régulation, avec les principes de conservation et d'adaptation de systèmes de transformations, n'est pas absente. Elle transparait même de manière assez évidente à travers d'autres notions agronomiques qui sont le fondement de certaines des conceptions agronomiques.

Ainsi, dans la perspective de production d'un peuplement végétal, des notions comme la fertilité, le bilan (mimique, azoté...), l'équilibre (équilibres ioniques, équilibre biologique, équilibre d'un engrais, etc.), l'amélioration foncière, qui ont une signification forte pour l'agronome, peuvent être comprises dans le concept de régulation (au sein du milieu de culture), dès lors que ce concept est vu dans ses deux principes de conservation et d'adaptation (Prévost, 1997). De même, dans l'organisation d'un système de culture, les notions de rotation, d'assolement, de risque peuvent être intégrés dans le concept de régulation (Sebillotte, 1989) mais les flux à réguler sont alors d'un autre ordre.

Ainsi, dans les sciences agronomiques, l'utilisation du terme régulation est récente mais plusieurs notions agronomiques sont liées à la notion de régulation, intégrant à la fois les principes de conservation et d'adaptation.

L'opérationalité du concept de régulation biologique dans l'activité de l'agriculteur

En agronomie, les phénomènes de régulation concernent à la fois des flux liés aux cycles biologiques des systèmes vivants produits en agriculture (flux d'éléments fertilisants, flux de matière organique du sol, flux hydriques, flux de population d'adventices, flux d'ennemis des cultures, flux de pesticides, etc.) et des flux liés à la socio-économie (flux de trésorerie, flux de main d'œuvre, flux d'équipements...). Il est donc important de distinguer la *régulation d'ordre biologique* qui concerne les systèmes biotechniques en agriculture (peuplement, végétaux, troupeaux...) et la régulation d'ordre socio-économique, qui concerne les organisations socio-économiques (exploitation agricole, organisations professionnelles...).

Dans la conduite d'une parcelle de culture, la régulation d'ordre biologique est la plus à l'œuvre. Afin de vérifier son opérationalité dans l'activité de l'agriculteur, une étude menée auprès d'un échantillon d'agriculteurs (c/ description de l'étude, tab. I et II, ci-après) permet d'apporter des éléments de précision sur le caractère opératoire du concept de régulation biologique dans l'activité agricole (Prévost, 1995 ; 1997). L'analyse de l'opérationalité du concept de régulation biologique dans l'activité de l'agriculteur a été effectuée, par confrontation entre, d'un côté, la compréhension et l'extension du concept dans la science agronomique et, de l'autre côté, la conceptualisation des phénomènes de régulation biologique par les agriculteurs, pour l'exemple d'une tâche prise en référence, le désherbage du maïs, et en prenant appui sur deux types de flux liés à cette tâche : les flux de populations d'adventices et les flux d'herbicides. La compréhension et l'extension du concept de régulation biologique en agronomie ont été définies à partir de la synthèse de différents travaux de recherche qui ont porté sur la fonction de régulation dans l'activité, d'une part dans l'activité biologique des organismes vivants, d'autre part dans les activités agricole et industrielle. La conceptualisation des phénomènes de régulation a été analysée à partir de l'analyse ergonomique de la tâche et de l'activité de l'échantillon d'agriculteurs, pour la tâche de désherbage du maïs, selon la méthode décrite dans le tableau I (ci-après).

Tableau 1. Méthode d'étude

Phase de l'étude	Objectif	Moyens d'investigation
Analyse de la tâche	Identifier l'objectif qui est assigné à la tâche et les différentes variables que l'opérateur a à considérer dans son activité pour atteindre une certaine performance	Analyse de la bibliographie existant (depuis 1980 : 68 références. Analyse des références techniques Entretiens d'experts
Analyse de l'activité	Identifier les buts et les conditions qui sont effectivement pris en compte par le sujet dans la situation de travail	Analyse manuelle et automatique (logiciel d'analyse de discours « Alceste ») d'un entretien ouvert (durée moyenne = 1 heure et demi) Analyse statistique d'une enquête agronomique portant sur la variabilité spatio-temporelle des modalités des pratiques de désherbage et sur les processus décisionnels (104 parcelles analysées, 47 pour l'année 1994 et 57 pour l'année 1995).

Compréhension et extension du concept de régulation biologique en agronomie

Dans la régulation des systèmes biotechniques, il existe des régulations de deux types (Prévoist, 1997) :

- des *régulations intrinsèques du système biotechnique* : à l'échelle cellulaire, à l'échelle de l'organisme (plante ou animal), à l'échelle de la population (peuplement végétal ou troupeau), à l'échelle de l'agro-écosystème (système-parcelle de culture ou système-pâturage), des régulations internes s'effectuent sans qu'il y ait besoin d'intervention humaine. Ces régulations sont dues à l'autonomie du vivant et peuvent être regroupées sous le terme de *Y auto-organisation* du vivant (Prévoist, 1997) ;

- des *régulations extrinsèques du système biotechnique* : en cas de perturbation en provenance de l'environnement ou de l'intérieur du système l'activité humaine peut éliminer cette perturbation. En agronomie, l'agriculteur a un rôle de régulateur externe des flux liés aux cycles biologiques. *Cette régulation par l'activité* de l'agriculteur peut être effectuée de deux manières, comme le proposent Leplat (1971) pour les systèmes techniques complexes et Rogalski (1995) dans la gestion des environnements dynamiques. Le premier mode de régulation est *proactif* et consiste à anticiper sur les variations des flux, après traitement de l'information sur l'évolution probable des flux. Le deuxième mode est *rétroactif* et consiste à contrôler les flux par correction de la déviation.

L'activité de régulation de l'agriculteur reste cependant très variable et il semble que l'on puisse distinguer différents niveaux selon le mode de gestion du système biotechnique. Deux éléments peuvent alors expliquer ces différents niveaux :

- l'échelle spatio-temporelle de gestion : dans le cas d'une parcelle de culture, la gestion des flux de matière et d'énergie liés aux cycles biologiques peut s'envisager à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole, du bassin versant... et à l'échelle du cycle de culture, de la rotation culturale, de la durée de vie de l'exploitation agricole... Selon l'échelle spatio-temporelle, les choix de gestion ne seront pas les mêmes et l'activité de régulation de ces flux sera également différente ;

- les critères décisionnels : dans la gestion des systèmes complexes comme les systèmes biotechniques agricoles, les paramètres décisionnels sont toujours très nombreux et sont de nature agronomique (liés à la réussite agronomique de la production), économique (liés à la performance économique), sociale (liés aux références sociales locales) ou psychologique (liés à la personnalité de l'agriculteur). Selon que l'acteur privilégie certains paramètres décisionnels, l'activité de régulation sera différente.

... NIA QUÉ
DISOÛN QUÉ SOÛN
DES "CONCÈPES
INTER-GRATTEURS"
...

... DE SÈGHUR QUÉ
PER FAÏRE TOÛT'
ACO, CADU QUÉ LOU
TIPÉ SIÈGHE
BRAVAMENT
ESTRUIT!



La conceptualisation des phénomènes de régulation biologique chez les agriculteurs

À partir de l'analyse de la tâche, l'étude met en évidence que la fonction de régulation correspond au contrôle de ces flux. Celui-ci s'effectue par les deux types de régulations :

- la régulation intrinsèque du milieu de culture : les flux de populations d'adventices dépendent, pour une bonne part, des caractéristiques bio-pédo-climatiques du milieu de culture et de la relation concurrentielle entre la culture du maïs et les adventices. De même, les flux d'herbicides sont sous la dépendance du fonctionnement du milieu de culture. Par exemple, une certaine quantité d'herbicides peut être dégradée par les micro-organismes du sol mais de manière variable, selon les conditions bio-pédo-climatiques locales. Une certaine capacité d'auto-organisation permet de tamponner les variations des flux de populations d'adventices et d'herbicides.

- la régulation extrinsèque du milieu de culture : la transformation de l'écosystème en un agro-écosystème a modifié les flux de populations d'adventices et a introduit des flux d'herbicides. Cette artificialisation rend nécessaire l'intervention de l'agriculteur dans le contrôle des flux. Premièrement,

Tableau II. Caractéristiques des agriculteurs enquêtés

Code	Orientation technico-économique	Statut juridique (date d'installation)	Surface agricole utile	Atelier dominant	Classe d'âge	Formation initiale	Situation de famille-profession du conjoint	Objectif professionnel	Stratégie globale
GA1	Polyculture élevage	EARL (1980)	148 ha	Céréales	35/40	BTA	Marié 2 enfants agricultrice	Maintenir le revenu	Réduire les charges au maximum
GA2	Polyculture élevage	GAEC avec GA3	290 ha	Céréales	30/40	ITA	Marié 2 enfants enseignante	Pérenniser l'exploitation	Diversifier les activités
GA3		Avec GA2			30/35	CAP plombier+BAA	Marié 2 enfants mère au foyer /employée	Assurer un revenu minimum	Réduire le risque au maximum
GA4	Polyculture élevage	GAEC avec GA5	260 ha	Céréales et lait	35/40	CAPA	Marié 2 enfants agricultrice à mi-temps	Maximiser le revenu	Adapter le système de production
GA5		Avec GA4			30/35	CAP	Marié 2 enfants mère au foyer	Réaliser du beau travail	Faire accepter ses conceptions par le GAEC
GA6	Céréales	Entreprise individuelle	172 ha	Maïs	35/40	BTSA	Marié 2 enfants mère au foyer	Maintenir le revenu changer le monde agricole	Minimiser les charges Responsabilités professionnelles
PA1	Polyculture élevage	GAEC mère/fils	130 ha	Lait	35/40	BTSA	Marié 2 enfants employée Chalon-sur-Saône	Maintenir le revenu et la qualité de vie	Maintenir le travail extérieur du conjoint et adapter le système d'entreprise
PA2	Polyculture élevage	GAEC Père/fils	120 ha	Lait	30/35	BTA	Marié 2 enfants mère au foyer	Maintenir le revenu	Chercher la sécurité dans l'attente d'une politique plus favorable
PA3	Céréales + entreprise de battage	Entreprise individuelle	122 ha	Maïs	35/40	CAP tourneur+BAA	Marié 3 enfants formation BTA mère au foyer	Pérenniser l'exploitation	Diversifier les activités assurer le rendement
PA4	Céréales + entreprise de battage porcs	Entreprise individuelle	123 ha	Maïs	40/45	BAA	Marié 2 enfants ouvrière d'usine	Maintenir le revenu	Intensifier la production céréalière
PA5	Céréales + élevage de poulet	Entreprise individuelle	92 ha	Céréales	40/45	CAP électricien	Marié 3 enfants mère au foyer (léger handicap)	Maintenir le revenu préparer l'installation du fils	Diminuer les charges et adapter les techniques

BTA = Brevet de Technicien Agricole (niveau IV ; ITA= Ingénieur des techniques Agricoles (niveau I)
 BAA = Brevet d'Aptitude Agricole (niveau V) ; CAPA = Certificat d'Aptitude Professionnelle Agricole (niveau V)
 BTSA = Brevet de Technicien Supérieur Agricole (niveau I).

Tableau III. La relation entre le type de conduite de désherbage, le type d'itinéraire technique et le type de la parcelle

ITK N°1	Type de conduite de désherbage			Type d'itinéraire technique			Objectif assigné à la tâche de désherbage du maïs	Type de discours		
	Conduite A	Conduite B	Conduite C	ITK n°1	ITK n°2	ITK N°3		Responsable professionnel	Technicien préoccupé d'environnement	Technicien soucieux de leur revenu
GA1	XXX			X	XX	X	Éviter la nuisibilité économique Éviter la dégradation du milieu	GA1		
GA2 GA3	XX	X		XXX			Éviter la nuisibilité biologique Éviter la pollution		GA2	GA3
GA4 GA5	XXX			XXX			Éviter la nuisibilité biologique			GA4 GA5
GA6	X		XX	X	X	XX	Éviter la nuisibilité économique éviter la pollution	GA6		
PA1	XX	X	X	XX	X		Éviter la nuisibilité économique	PA1		
PA3	XX						Éviter la nuisibilité biologique			PA3
PA4	XX	X	X	X	XXX		Éviter la nuisibilité biologique			PA4
PA5		XX	XX	XX	XX	X	Éviter la nuisibilité biologique		PA5	

XXX = 100% des parcelles

XX = >50% des parcelles

X = < 50% des parcelles

Conduite A = plusieurs traitements herbicides, l'un en pré-semis ou post-semis, l'(les)autre(s) en rattrapage, sans binage

conduite B - identique à la conduite A, avec binage

Conduite C - un seul traitement herbicide, en post-levée

ITK n°1 : itinéraire technique classique, de « routine », avec protection phytosanitaire préventive systématique

ITK n°2 : itinéraire technique classique, avec protection phytosanitaire préventive, mais limitée aux ennemis les plus dangereux

ITK n°3 : itinéraire technique adaptatif, où de nombreuses opérations culturales sont adaptées aux situations singulières des parcelles ou aux contraintes de l'exploitation

les objectifs de l'agriculteur définissent des seuils de variation des flux de populations d'adventices et des flux d'herbicides qui sont très différents de ceux correspondant à l'écosystème d'origine. Deuxièmement, la régulation intrinsèque du milieu de culture est insuffisante pour contrôler les flux dans le respect des objectifs de l'agriculteur. Le déplacement des équilibres oblige ainsi à une régulation extrinsèque des flux au sein du milieu de culture qui permet la conservation et l'adaptation de la parcelle de culture dans un état d'équilibre dynamique. Aussi, l'agriculteur intervient dans la régulation de ces flux, à la fois de manière proactive, en anticipant sur la variation de ces flux par divers moyens (exemple : le travail du sol limitant la levée d'espèces adventices et la nécessité des traitements herbicides), et de manière rétroactive, en contrôlant les flux (exemples : application d'un traitement herbicide, la réduction des doses d'herbicides limitant la diffusion de polluants dans l'environnement).

Dans cette optique, la fonction de régulation biologique représente ainsi une fonction essentielle dans la gestion du désherbage du maïs, à l'instar des autres tâches qui concernent la gestion de systèmes complexes.

L'analyse de l'activité, qui a concerné les modalités des pratiques de désherbage et les processus décisionnels liés à cette tâche, montre une cohérence d'ensemble entre le type de conduite de désherbage, le type d'itinéraire technique de la culture de maïs, les objectifs assignés à la tâche et le discours de l'agriculteur (tab. III, ci-dessus). Les agriculteurs se distinguent par leur capacité, ou non, à adapter leur système de culture.

Cette capacité est fortement liée aux représentations fonctionnelles des agriculteurs. Dans notre étude, les représentations fonctionnelles qui influencent le processus décisionnel sont la représentation du risque (risque de nuisibilité biologique ou économique) et la représentation de l'environnement (intégration ou non de la dimension écologique dans l'activité économique). Ainsi, parmi les agriculteurs de notre échantillon, ceux qui intègrent la dimension écologique dans leur processus de décision et pour lesquels le risque de nuisibilité est accepté sont ceux qui ont une variabilité des pratiques de désherbage la plus élevée.

Par comparaison avec les autres tâches de gestion d'environnements dynamiques (Rogalski et Samurçay, 1992), la tâche de désherbage du maïs nécessite également la construction d'une double représentation mentale: celle du processus évolutif, en l'occurrence le milieu de culture, et celle de l'effet des actions. Dans l'étude présente, la représentation de l'environnement caractérise celle du milieu de culture et la représentation du risque est, pour l'agriculteur, la variable qui influence l'effet de ses actions. Ainsi, dans l'exemple de la tâche de désherbage du maïs, une dimension essentielle de l'action est la conceptualisation du système de transformations (milieu de culture et action sur ce milieu) dans lequel intervient l'agriculteur. Dans ce cas, le concept de régulation biologique présente un intérêt évident. En effet, du fait d'une double régulation, intrinsèque et extrinsèque du milieu de culture, le concept de régulation biologique explique en partie l'évolution des flux de populations d'adventices et d'herbicides, à la fois par le fonctionnement autonome du champ cultivé et par l'activité de désherbage de l'agriculteur. La construction du concept de régulation biologique chez les agriculteurs peut alors favoriser une conceptualisation de leur intervention où auto-organisation du milieu et activité de l'agriculteur sont interdépendantes dans l'évolution des flux de populations d'adventices et d'herbicides. Nous avons ainsi observé que les agriculteurs pour lesquels le milieu de culture est d'abord vu comme un système auto-organisateur (importance de la dimension écologique) ont une activité de désherbage où la variabilité spatio-temporelle des modalités des pratiques est plus élevée. Ces agriculteurs ont une gestion des flux qui prend en compte le fonctionnement autonome du milieu de culture.

L'opérationnalité du concept de régulation dans l'activité de l'agriculteur présente cependant certaines limites. Elles se situent sur deux plans, d'une part, dans la conceptualisation des phénomènes de régulation biologique, d'autre part, dans la prise en compte des processus de régulation biologique dans l'action de l'agriculteur. En ce qui concerne la conceptualisation des phénomènes de régulation biologique, certaines difficultés ne favorisent pas la construction du concept de régulation biologique par l'agriculteur. Premièrement, les phénomènes agronomiques sont d'une telle complexité que les phénomènes de régulation biologique au sein du milieu de culture sont peu connus sur le plan scientifique, et donc non modélisables. Par exemple, la dégradation des herbicides dans le sol reste une donnée inconnue pour de nombreuses molécules (Schiavon *et al.*, 1992). L'intérêt du concept de régulation biologique est alors limité par le fait qu'il permet d'expliquer *a posteriori* les phénomènes mais ne permet pas toujours la construction d'une représentation fonctionnelle sur le milieu de culture, en particulier lorsque la reproductibilité des modèles n'est pas généralisable. Deuxièmement, dans l'action professionnelle, la conceptualisation pratique des processus observés et agis existe (Pastré, 1992) mais, dans le cas des phénomènes de régulation biologique, celle-ci est confrontée à l'« invisibilité » de nombreux processus. Certes, les agriculteurs ont des « images opératives » (Ochanine, 1981) de leur milieu de culture qui intègrent le plus souvent les phénomènes de régulation biologique, les amenant à utiliser des métaphores pour décrire le fonctionnement du milieu de culture, comme « la terre réagit » ou « un champ est vivant et on essaie de le faire vivre » (citations d'agriculteurs de notre échantillon). Certaines de ces images sont moins globales, par exemple lorsque l'agriculteur se représente l'évolution des flux d'adventices selon le *type de terre* et le *type de flore adventice* de sa parcelle. Mais elles ne permettent pas toujours de comprendre et d'agir sur les variations particulières des flux comme les flux de populations d'adventices ou les flux d'herbicides. Aussi, la conceptualisation pratique ne compense pas la conceptualisation théorique dans le cas des

phénomènes de régulation biologique et ne permet pas non plus la construction du concept de régulation biologique.

Quant à la prise en compte des phénomènes de régulation biologique dans l'action de l'agriculteur, nous avons observé deux éléments essentiels, caractéristiques de l'activité agricole, qui limitent l'intérêt du concept de régulation biologique dans les connaissances opérationnelles de l'agriculteur. En premier lieu, l'action de l'agriculteur résulte de décisions où le compromis est nécessaire à plusieurs niveaux. Un premier compromis intervient dans les objectifs de la tâche lorsqu'ils sont contradictoires (cas de la tâche de désherbage du maïs où l'objectif d'éviter la nuisibilité des adventices dans la culture est contradictoire avec l'objectif d'éviter la dégradation du milieu). Un second compromis est à trouver dans la priorité à donner aux différentes unités de gestion que l'agriculteur peut prendre en compte (la parcelle, la sole et l'exploitation agricole à l'échelle spatiale, l'année de culture, la rotation, ou un temps plus long à l'échelle temporelle). Enfin, un autre niveau de compromis existe entre les connaissances et les stratégies que l'agriculteur mobilise dans son action (connaissances insuffisantes des phénomènes agronomiques ou représentations privilégiant certaines attitudes, comme la représentation du risque ou la représentation de l'environnement). Ainsi, la compréhension des phénomènes de régulation biologique ne peuvent suffire pour organiser l'action de l'agriculteur, car de nombreux autres concepts sont nécessaires à l'action professionnelle. En second lieu, l'action de l'agriculteur est fortement liée aux conditions socio-économiques qui influencent la construction des représentations fonctionnelles des agriculteurs. D'une part, la situation de crise qui perdure dans le modèle de développement agricole (Coulomb et Delorme, 1987) et l'évolution de la demande sociale, encourageant de nouveaux modèles de développement (Muller, 1991), perturbent l'image de référence du métier d'agriculteur véhiculée dans l'opinion publique. D'autre part, les normes locales (au sens de Darré, 1994), qui subissent l'évolution des relations sociales des agriculteurs, changent et participent à l'évolution des représentations des agriculteurs (Darré, 1994). Ainsi, dans la recherche que nous avons conduite, trois éléments caractérisent cette influence.

Premièrement, la contrainte économique oblige les agriculteurs à privilégier les techniques qui permettent l'obtention du meilleur revenu. Or, le système de rémunération des produits agricoles, même si il a changé depuis la Nouvelle politique agricole commune de 1992, n'encourage pas suffisamment l'agriculteur au respect du seuil de nuisibilité économique des adventices dans la culture de maïs (beaucoup d'agriculteurs préfèrent considérer le seuil de nuisibilité biologique) et au développement de pratiques phytosanitaires alternatives à la lutte chimique qui limiterait les flux d'herbicides.

Deuxièmement, la contrainte sociale modifie le comportement de certains agriculteurs. La responsabilité locale des agriculteurs, professionnelle (syndicale ou administrative dans les organisations professionnelles) ou civique (municipale) influence les agriculteurs dans le sens d'un plus grand respect de l'environnement et entraîne une certaine modification des pratiques, le but visé étant alors en priorité l'entretien de bonnes relations sociales dans la localité.

Troisièmement, la responsabilité de l'agriculteur dans son action est, dans certains cas, limitée, ce qui ne l'encourage pas à la résolution des problèmes qu'il peut rencontrer. Ainsi, dans la gestion des flux d'herbicides, l'agriculteur, d'un côté, subit une réglementation de plus en plus contraignante, et, de l'autre côté, applique les normes techno-scientifiques véhiculées par l'encadrement technique. Sa responsabilité n'étant alors plus engagée, la connaissance des flux d'herbicides n'est plus pour lui une nécessité. Ces différents éléments mettent en évidence la complexité de l'action professionnelle agricole qui ne demande pas essentiellement la mobilisation de connaissances, mais qui exige également la mobilisation de stratégies favorisant l'adaptation aux atouts et aux contraintes des situations locales. Aussi, la portée du concept de régulation biologique dans le système de connaissances opérationnelles de l'agriculteur est d'autant plus limitée que la situation professionnelle oblige à adopter des stratégies adaptatives.

Le concept de régulation biologique, concept-clé dans l'apprentissage de la complexité et de l'action professionnelle en agriculture

Dans l'exemple de la tâche de désherbage, si le concept de régulation biologique présente une opérationalité soumise à certaines conditions dans l'activité de l'agriculteur, il n'en reste pas moins un concept intégrateur de la connaissance agronomique. D'une part, il permet d'expliquer le fonctionnement du milieu de culture dans toute sa complexité. D'autre part, il sert de lien entre la compréhension des phénomènes écologiques au sein du milieu de culture et l'action de l'agriculteur, puisqu'une double fonction de régulation, intrinsèque et extrinsèque du milieu de culture, explique la variation des flux de populations d'adventices et des flux d'herbicides. Par ailleurs, certaines limites mises en évidence dans cette étude devraient disparaître dans les années à venir. D'un côté, la perspective de l'agriculture durable, en modifiant les conditions socio-économiques du métier d'agriculteur, devrait favoriser l'objectif visant à ne pas dégrader le milieu de culture et l'environnement. Cela aura peut-être pour conséquence de faire évoluer les seuils de nuisibilité économique vers une plus grande souplesse. Les compromis de l'agriculteur dans ses décisions pourraient alors plus facilement prendre en compte les phénomènes de régulation biologique intrinsèques du milieu de culture. D'autre part, l'intérêt porté à l'écophysiologie végétale dans les recherches agronomiques depuis plusieurs années devrait favoriser la production de connaissances scientifiques à propos des phénomènes de régulation biologique intrinsèques du milieu de culture.

Une difficulté réside dans la transversalité et l'évolution épistémologique du concept de régulation. En effet, la fonction de régulation n'est pas seulement d'ordre biologique en agronomie puisque la fonction de régulation concerne également la socio-économie. Cependant, par rapport aux deux pôles qui constituent l'activité de l'agronome, en l'occurrence le peuplement végétal et le système de culture (Sebillotte, 1985), il est possible de préciser la place du concept de régulation dans la structure conceptuelle de l'agronomie. Le peuplement végétal intéresse l'agronome parce qu'il est le moyen de production mais aussi parce qu'il est révélateur des techniques et (ou) des effets des états du milieu et de leur évolution. Les recherches agronomiques consistent à modéliser le processus d'élaboration du rendement d'une culture, en relation avec des modèles de gestion de l'agro-écosystème-parcelle. Dans ce cas, ce sont les phénomènes de régulation d'ordre biologique qui interviennent dans le système biotechnique que constitue la parcelle de culture. D'une part, des phénomènes de régulation intrinsèques du milieu de culture permettent la conservation et l'adaptation du système, par le processus général d'auto-organisation. D'autre part, une activité de régulation, extrinsèque du système biotechnique, réalisée par l'agriculteur, permet l'adaptation du système aux objectifs de production de l'agriculteur et la conservation du système biotechnique dans l'intérêt de l'agriculteur. Quant au système de culture, traduction des choix de l'agriculteur, l'agronome vise à modéliser la gestion de l'agro-écosystème-parcelle, en relation avec les modèles de gestion du système de production de l'exploitation agricole et du système famille-exploitation. Dans ce cas, ce sont les phénomènes de régulation d'ordre socio-économique qui interviennent dans le système de culture. Afin d'éviter le risque de perturbation dans la construction des représentations fonctionnelles dans l'apprentissage, qui existe chez les apprenants (Prévost, à paraître en 1998), la spécification du concept est indispensable et permet de distinguer la régulation d'ordre biologique et la régulation d'ordre socio-économique.

Malgré l'intérêt que présente le concept de régulation biologique dans la construction des connaissances opérationnelles des agriculteurs, de nombreux travaux scientifiques sont nécessaires pour développer l'usage du concept de régulation biologique dans l'activité agricole. D'un côté, la modélisation des phénomènes agronomiques favorisera la production de connaissances sur les phénomènes de régulation biologique intrinsèques du milieu de culture. De l'autre côté, l'analyse des pratiques des agriculteurs, en particulier par une approche cognitive (Cerf, 1996), permettra une meilleure connaissance des critères de décision pour une régulation extrinsèque de flux de matières

(pesticides, éléments fertilisants). Mais il semble que le concept de régulation, issu du domaine de la biologie, ne peut plus être sous-estimé de l'agronomie alors qu'il est devenu un concept clé de la plupart des sciences de l'ingénieur. Si la fonction de régulation est devenue la fonction essentielle de la gestion des systèmes complexes industriels, l'opérateur abandonnant son rôle de conducteur de machines pour celui de superviseur d'automates, qu'en est-il de l'agriculteur qui gère un système de transformations vivant, supposé bien plus complexe que n'importe quelle machine industrielle ? •

Références bibliographiques

- BERTALANFFV Von U, 1968. *La théorie générale des systèmes*. Dunod, Paris, 328 p
- CANGULLHEM G-, 1977-a. Article *Régulation*. Encyclopedias Universals.
- CANGUILHEM G-, 1977-b. la formation du concept de régulation biologique aux XXIII et XIX^e siècles. In *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*. Librairie philosophique J. Vnn, 146 p.
- CERF M., 1996- Approche cognitive de pratiques agricoles : intérêts et limites pour les agronomes *Natures-sciences-sociétés, A, 327-339*.
- COULOMB P., DELORME H., 1987. Crise agricole, crise de politique. *Sociologie du travail*, 24(4187), 385-413.
- DARRÉ J P, 1994 Le mouvement des normes, avec BAKHTINE et quelques agriculteurs. In Darré J.P . *Pairs et experts dans l'agriculture*. Dialogues et production de connaissance pour l'action Éditions Éres. Pans, 15-29
- GASPARIN Comte de, 1844. *Cours d'agriculture*, Tomes 1 à 6.
- GASPARIN Comte de, 1854. *Principes d'agronomie*.
- GRAS R., BENOIT M., DEFFONTAINES J.P., DURU M., LAFARGE M., LANGLET A, OSTYP.L., 1989. *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude* L'Harmattan, Pans, 183 p.
- LE MOIGNE J.L., 1977. *La théorie du système général*. PUF. Paris, 320 p
- LE MOIGNE J.L., 1990. *La modélisation des systèmes complexes* Dunod, Pans, 178 p
- LEPLAT J., 1971. Planification de l'action et régulation d'un système complexe. *Bulletin de psychologie*, 25(298). 53-539
- LEPLAT J , 1985- Les représentations fonctionnelles dans le travail. *Psychologie française*, 30(3-4), 269-275.
- LEPLAT J., 1986- L'analyse psychologique du travail. *Revue de psychologie appliquée*. 36(1), 9-27.
- LICHTNEROWICZA-, PERROUX J.M., GADOFFRE M., 1977. *L'idée de régulation dans les sciences*. Collège de France, Maloine SA, Pans, 271 p
- MORIN E-, 1977. *La Méthode*. T.f, *La Nature de la Nature*. Le Seuil, Paris, 416 p.
- MORIN E., 1980. *La Méthode*. T2, *La Vie de la Vie*. Le Seuil, Paris, 470 p.
- MORIN E., 1986. *La Méthode*. T3, *La Connaissance de la Connaissance*. Le Seuil, Paris. 252 p
- MULLER P., 1991 L'exploitant rural, un entrepreneur. *Actes du séminaire Inter-AFOCG*. Pans, 5-6 décembre 1991
- OCHANINE D., 1981. *V image opérative* Recueil de textes dans un document ronéo.
- PASTRE P , 1992. *Essai pour introduire le concept de didactique professionnelle Rôle de la conceptualisation dans la conduite de machines automatisée*-. Thèse de l'université Paris V.
- PIAGET J , 1977. L'épistémologie des régulations. Actes du séminaire interdisciplinaire *L'idée de régulation dans les sciences*, Collège de France Maloine, Paris.
- PREVOST, P . 1995 Désherbage de maïs . examen de quelques pistes d'évolution des pratiques. *Phytoma*, 477, 36-42.
- PREVOST P , 1997 Le concept de régulation biologique et la formation professionnelle des agriculteurs , études didactiques, thèse de doctorat, Université de Lyon-1, 293 p. + ann-
- PREVOST P-, (à paraître en 1998). Learning for understanding, learning for action. *Journal of Research in Science Teaching*.
- ROGALSKI J-, SAMURÇAY, R., 1992. Formation aux activités de gestion d'environnements dynamiques Éducation permanente 111, 227-242.
- ROGALSKI J., 1995 Former à la coopération dans la gestion de sinistres : élaboration collective d'un dispositif d'actions. *Education permanente*, 123, 47-63.
- RLJMEHARDG., 1995 *Histoire didactique du concept de régulation en biologie*. In *La régulation en biologie, Approche didactique, conceptualisation, modélisation* Éditions INRP
- SCHIAVON M, PORTAL J.M., ANDRELX, F. 1992. Données actuelles sur les transferts d'atrazine dans l'environnement. *Agronomie*, 12. 129-139
- SEBILLOTTEM. 1985 *Agronomie et agriculture* Document pour l'enseignement de première année de la chaire d'agronomie Document INA-Pans
- SEBILLOTTEM, 1989 Digression sur le risque en forme de dialogue In *Le risque en Agriculture* Éditions de l'ORSTOM
- SEBILLOTTE M, 1993. *Avenir de l'agriculture et futur de l'INRA*. Éditions INRA, 140 p.
- STENGERS I- 1987. *D'une science à l'autre ; des concepts nomades*. Le Seuil, Paris, 387 p.