Raisonnement à partir de cas et agronomie des territoires - Constructions croisées

Pierre-Louis Osty, Florence Le Ber, Jean Lieber

▶ **To cite this version:**

Pierre-Louis Osty, Florence Le Ber, Jean Lieber. Raisonnement à partir de cas et agronomie des territoires - Constructions croisées. Revue d'Anthropologie des Connaissances, 2008, 2 (2), pp.169-193. hal-00337158

HAL Id: hal-00337158
https://hal.science/hal-00337158

Submitted on 21 Nov 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Manuscrit auteur, publié dans "Revue d'Anthropologie des Connaissances 2, 2 (2008) 169-193"

Osty, P.-L., Le Ber, F., Lieber, J. (2008). Raisonnement à partir de cas et agronomie des territoires : constructions croisées, *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, Vol. 2, n°2, 169-193.

Raisonnement à partir de cas et agronomie des territoires

Constructions croisées

Pierre-Louis OSTY[1], Florence LE BER[2], Jean LIEBER[3]

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

INTRODUCTION

Le *mainstream* de l'agronomie des chercheurs est focalisé sur l'écophysiologie des plantes cultivées en conditions normées (laboratoire, champ d'essais) et, de plus en plus, simulées. Certes, les questions d'environnement et de qualité des produits suscitent l'émergence d'espaces où l'agronome doit repérer l'identité et les intérêts d'interlocuteurs nouveaux. Mais les concepts et les méthodes restent massivement dans le cadre du végétal cultivé et des interventions qui affectent le cycle cultural d'une parcelle, à partir de quoi sont abordées les règles de décision de ces interventions et leurs conséquences sur le site.

Les agronomes impliqués dans le projet Rosa opèrent doublement à l'écart de ce courant principal. Ils s'intéressent d'emblée à l'exploitation située dans un territoire, ce qui implique les pratiques des personnes qui l'organisent et la font fonctionner. Qui plus est, le présent chantier de recherche se situe en région d'élevage sur des prairies « naturelles », donc complexes et hétérogènes. « L'agronomie aujourd'hui » (Doré *et al.,* 2006) – c'est le titre de l'ouvrage de synthèse, récent, sur ce que produisent les chercheurs agronomes – ne parle tout simplement pas de cette catégorie de terrains, qui constituent pourtant plus du tiers de l'espace agricole de la France …

Le projet Rosa s'est constitué à l'origine dans une collaboration entre agronomes et informaticiens pour opérer une réflexion sur des méthodes

[1] INRA UMR AGIR
[2] CEVH (ENGEES, ULP) et LORIA, florence.leber@engees.u-strasbg.fr
[3] LORIA UHP, jean.lieber@loria.fr

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

formelles utiles à cette agronomie des territoires, qui s'intéresse à des systèmes complexes, non expérimentables et accessibles uniquement par des diagnostics de terrain (Deffontaines 1991). Ces diagnostics sont en effet en manque d'outils de modélisation, et de ce fait, pour ainsi dire privés d'existence scientifique. L'objet du projet ROSA était précisément de développer une approche de l'intelligence artifielle, le *raisonnement à partir de cas*, sur des problématiques de diagnostic des territoires agricoles. Le choix du raisonnement à partir de cas – modèle imaginé à l'origine par des psychologues (Riesbeck et Schank, 1989) – s'est fondé sur une adéquation *a priori* entre ce modèle informatique et les procédures d'enquêtes et de d'analyses mises en œuvre par les agronomes. L'intervention ultérieure de psychologues et linguistes[4] nous a conforté dans ce choix, en montrant, par le filmage et l'analyse de séances de travail entre agronomes et informaticiens, l'apport de l'interaction pour la modélisation des connaissances agronomiques. Ils ont montré que cet apport s'établit dans un processus collectif qui permet tant à l'agronome qu'à l'informaticien de remettre en question leurs modèles et de construire de nouvelles connaissances (Brassac *et al.*, ce numéro). La conception du système Rosa ne se réduit donc pas à la mise au point d'un outil pour les agronomes, mais se constitue bien comme un processus collaboratif de construction de connaissances.

L'article s'organise comme suit. Dans un premier temps, nous situons parmi les recherches agronomiques celles des agronomes du projet, qui s'intéressent plus particulièrement à l'analyse des systèmes herbagers, et détaillons leur méthodologie. Dans un deuxième temps nous présentons le modèle informatique du raisonnement à partir de cas. Dans un troisième temps, nous situons le projet ROSA dans ce double cadre agronomique et informatique et détaillons la problématique de construction de connaissances mise en jeu, puis nous esquissons d'autres apports possibles des approches développées en intelligence artificielle aux problématiques agronomiques décrites dans la première partie de cet article. Nous concluons en revenant sur l'intérêt pour l'agronome d'une collaboration avec d'autres domaines disciplinaires et d'autres méthodes.

UNE AGRONOMIE DE TERRAIN

L'AGRONOMIE AUJOURD'HUI

L'agronomie, domaine de recherche et matière d'enseignement, se définit classiquement par un objet d'étude premier : le champ cultivé, et par un concept-clé : le système de culture. Il s'agit de comprendre le cycle de vie d'un végétal cultivé et l'impact des interventions culturales, prioritairement en lien avec les objectifs de production végétale. Et on attend aussi de l'agronome des conseils d'action, ce qui implique des capacités de diagnostic.

[4]Voir (Le Ber et Brassac, ce numéro), pour une présentation complète du projet Rosa.

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

Toutefois, la production académique actuelle concerne principalement l'écophysiologie des grandes cultures abordée au laboratoire ou dans le champ d'essai. L'objet type y est une plante cultivée annuelle, monospécifique, d'une variété améliorée, cultivée en conditions contrôlées, avec peu ou pas de contraintes pour les apports de nutriments. Son cycle de vie est balisé par l'écophysiologie, ce qui permet de concevoir une conduite de la parcelle selon un mode planifié, avec des arbitrages en cours de saison, pour parer aux aléas. Dans ce tableau, les sols vus par le pédologue et l'aménageur sont absents[5] et, tant la biogéographie et l'écologie du paysage, que la géographie et l'économie, ne font l'objet que de mentions cursives. Pourtant, dès 1991, Jean-Pierre Deffontaines publiait des propositions limpides pour faire du champ un lieu d'élargissement du domaine de l'agronome. En direction notamment de l'interdisciplinarité, bien loin de s'encombrer d'ambitions intégratrices à coup de modèles mécanistes, il s'agissait d'étoffer l'approche directe des processus à l'œuvre dans les territoires que gèrent les agriculteurs.

En bref, la production biotechnique dominante en agronomie reste largement abstraite de l'espace où l'on attend sa mise en œuvre. Ainsi, l'agronomie se soustrait au vieux reproche d'être une science de « localités », on peut craindre que la quête du « générique » efface le souci de pertinence vis-à-vis des activités humaines.

Cependant, parce que les conséquences des choix techniques doivent être prises en compte de façon plus large, l'élaboration de diagnostics et de prescriptions ne suffit pas. L'agronome doit en particulier considérer l'agriculteur qui observe, décide, intervient, et pas seulement au niveau de la parcelle. Dès les années 1980, des agronomes ont argumenté que ces pratiques soient un objet de recherche reconnu (Landais et Deffontaines, 1989).

Par la suite, les évolutions de l'agriculture et plus encore celle de la société poussent l'agronome à ajouter le territoire sur son agenda. Telle est notamment la conviction d'un expert du domaine, Michel Sebillotte (2006), qui argumente pour la reconnaissance de « trois métiers correspondant à trois épistémologies du chercheur » – repérés par leur objet privilégié : 1) la parcelle, fruit de l'activité de l'agriculteur, 2) l'agriculteur cultivant ses parcelles, 3) le « territoire-projet », objet nouveau, nécessairement transdisciplinaire.

POSITIONNEMENT

C'est bien pour un territoire-projet, avec diverses parties prenantes, que nos recherches sont engagées. Les questions posées tournent autour de l'usage des terrains par l'élevage et des dynamiques que cette activité y provoque ou y contrarie. Le détail des pratiques – qu'on appellera globalement pastorales – importe au premier chef pour le futur des ressources environnementales. C'est pourquoi nous travaillons à décrire et

[5]Pourtant, à l'INRA, le Département Environnement et Agronomie résulte de la réunification des forces des départements d'Agronomie, de Science du sol et de Bioclimatologie …

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

comprendre ce que fait l'agriculteur dans son champ, en l'occurrence l'éleveur dans ses terrains à pâturage. Ces pratiques sont très peu référencées. Leur efficience et surtout leur opportunité doivent être considérées au niveau d'un système technique et pas seulement au niveau parcellaire.

Nous avons proposé de considérer l'activité d'élevage – enjeu problématique dans le champ biotechnique – comme un système technique (Osty, 1978 ; Osty *et al.*, 1998). Parler de système technique, c'est considérer comment sont assemblés terrains, cheptels, équipements et pratiques, de façon à avoir un ensemble cohérent, qui « marche » et qui dure. Nous avons montré, en particulier, le rôle structurant des pratiques de reproduction et d'allotement des animaux. Avec une base d'enquêtes exhaustives et répétées à plusieurs d'années d'intervalle, les conclusions sont fortement établies.

La diversité inter et intra-exploitations y est essentielle à prendre en compte, à l'opposé des démarches qui d'emblée éliminent les pratiques et leur contexte. En effet, les choix d'aménagement et d'organisation que font les éleveurs sont autant de réponses à des questions qu'explicitement ou non, ils se posent pour travailler autant que possible efficacement. Il nous importe d'identifier ces choix et leurs bonnes raisons. De ce gisement de questions peut surgir aussi des pistes d'innovations (Petit *et al.*, 1975).

Concrètement, l'identification des entités pertinentes est une question-clé, au départ comme à l'arrivée : d'une part, entités pertinentes pour l'analyse ; d'autre part, entités pertinentes pour agir, en tous cas pour les praticiens (Gras *et al.*, 1989 ; Bellon *et al.*, 2005 ; Benoît *et al.*, 2005).

LE TERRAIN CAUSSENARD : ENJEUX ÉVIDENTS, QUESTIONS DIFFICILES

Les Grands Causses, plateaux calcaires du sud du Massif Central, sont emblématiques d'une agriculture modernisée, marginale par sa production marchande, mais gestionnaire d'espaces à forts enjeux pour la société d'aujourd'hui : entretien d'un paysage patrimonial préservé mais vivant et accueillant. Parmi eux, le causse Méjan présente des caractéristiques exemplaires : plateau d'altitude, dépeuplé (1,4 hab./km²), couvert de maigres pâturages, spectaculaires par leur aspect steppique, ou de bois de résineux médiocres. Depuis1970, l'est du causse est inclus dans la zone centrale du Parc National des Cévennes, parc dont l'originalité est d'avoir des objectifs de développement, compte tenu de l'habitat permanent et des sites d'exploitations, massivement en élevage ovin, qu'il inclut.

Parmi les questions, se pose celle de l'embroussaillement des parcours (Lardon *et al.*, 2004). De la station au territoire du Causse, le chantier est nécessairement interdisciplinaire tant se nouent différents processus de nature écologique, économique, technique et sociale (Cohen, 2003). Les ressources pastorales subissent l'impact des dissémination de ligneux. Les pratiques d'élevage, du moins les modernes, les ont-elles déclenchées ? À quelles conditions pourraient-elles les freiner, à défaut de les contrôler ?

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

La question des niveaux d'organisation a fait et fait problème pour le diagnostic et le suivi des dynamiques : terrains de parcours hétérogènes, avec une végétation particulière dont l'évolution n'est pas suivie précisément, parcellaires aux contours souvent flous et dont les usages pastoraux ne sont pas répertoriés ni « télédétectables » – comme peuvent l'être des cultures. La valorisation agricole des pâturages n'est chiffrable qu'à des niveaux agrégés, parce qu'elle mobilise au quotidien un éventail composite de ressources alimentaires.

Plus précisément, la cartographie de la végétation est une impasse : sur la base d'inventaires floristiques, la variabilité est beaucoup trop forte (quasiment décimétrique) aux échelles praticables (au moins celle du cadastre). La notion de climax est inopérante pour des formations « pseudo-steppiques » dont la genèse est évidemment due à des modes d'utilisation révolus. Et on ne sait pas constituer des associations qui aient du sens vis-à-vis du pâturage. De plus, la distribution des prélèvements par les animaux, vus la dimension des parcelles et les effectifs des troupeaux, n'est en pratique pas raccordable aux contrôles de la végétation. De plus, on sait aujourd'hui que, selon les espèces, les dynamiques de dissémination sont très variables et imposent de considérer – cas du pin sylvestre et du pin noir – une topographie à l'échelle du kilomètre … Ainsi, aux temps long et espace large de l'exode rural et de la déprise territoriale, puis du redéploiement agricole, s'opposent les temps et espace réduits de l'installation des plantes envahissantes (buis, pin sylvestre, rosacées, etc.) et de la vulnérabilité des plantules au pâturage (Lardon *et al.,* 2004).

C'est aussi dans un terme moyen à long, dans cette forme d'agriculture, que s'opèrent les évolutions des activités d'élevage. C'est l'effet de l'inertie des types de production liée aux filières et de la lourdeur des investissements en cheptels et bâtiments. Un diagnostic de la situation des ensembles famille-exploitation est donc nécessaire, avec une attention particulière portée aux facteurs de stabilité ou d'incertitudes relativement aux logiques d'action identifiées.

Dans ces dynamiques, un domaine de savoir-faire est apparu crucial : celui de l'organisation spatiale des exploitations. En effet, les agrandissements d'exploitation, outre des travaux d'aménagement foncier (construction de bâtiments, dérochage, pose de clôtures) impliquent des remodelages conséquents du parcellaire et de son usage. Il s'agit de pratiques de configuration que nous avons identifiées en observant dans la durée la distribution spatio-temporelle du pâturage. La configuration spatiale des exploitations et leurs possibles changements sont à considérer pour comprendre et évaluer les pratiques d'utilisation et leurs impacts (Lardon et Osty, 2000). Cette dimension-clé des systèmes pastoraux reste une question encore très peu référencée (Girard *et al*., 2001).

En termes de conduite des troupeaux et d'organisation de l'espace, apparaissent des ensembles de pratiques assez cohérents et stables pour donner sens à l'utilisation du territoire de l'exploitation (Lardon et Osty, 2000). Ainsi le mode de conduite du troupeau est fortement structurant,

d'abord par son calendrier : soit il s'ajuste aux ressources de pâturage pour les valoriser selon un mode « rustique », soit il suit un programme de production spécifié (dates et volume des livraisons de lait, d'agneaux de tel format) avec évidemment une position « intermédiaire ». Mais ces objectifs peuvent privilégier ou bien l'obtention et la valorisation d'herbe à pâturer, dans un mode « pastoral », ou bien la sécurisation de l'alimentation du troupeau par la constitution de réserves de nourriture, dans un mode « fourrager », ou encore les deux, dans un mode « complet ».

Ces contrastes de logique éclairent la distribution spatio-temporelle de l'utilisation de l'espace, mais ne s'y apparient pas strictement. On ne peut préjuger de la gestion des parcours ni à partir du seul type de production et, notamment, de son degré d'intensification, ni à partir des seules dimensions et configurations de l'exploitation. Il existe donc des marges de choix et d'ajustement à explorer, à partir des réalisations des éleveurs et bien sûr avec leur concours.

Nous avons cherché à identifier les contrastes entre exploitations. En observant des exploitations au cours du temps, alors même que les dimensions et les équipements peuvent évoluer, nous avons pu identifier et expliciter des principes organisateurs contrastés. C'est dans ce but qu'ont été réalisées des études de cas approfondies, avec une attention à la progression et la production de documents cartographiques élaborés[6]. Leur validation, explicite, par les éleveurs confirme l'intérêt de ce diagnostic, au-delà des approches classiques (flux physiques, résultats économiques). Ces logiques constituent un repère précieux pour un projet d'exploitation ou, comme c'est engagé désormais, d'un cursus de formation (Naïtlho *et al.*, 2003).

Cependant, ces études de cas impliquent une documentation coûteuse et certains détails peuvent gêner les transpositions. C'est précisément la fonction attendue des chorèmes – modèles graphiques de territoires – de donner à voir les caractéristiques des territoires, tels qu'aménagés et de permettre la discussion sur leurs principes organisateurs en regard des pratiques observées ou projetées (voir Lardon et Capitaine, dans ce numéro). C'est aussi une des raisons pour lesquelles nous nous sommes engagés dans une collaboration avec des informaticiens pour développer le système ROSA.

MODÈLE INFORMATIQUE DU RAISONNEMENT À PARTIR DE CAS

Dans cette partie, nous présentons un modèle de raisonnement développé en intelligence artificielle et qui a été utilisé dans le cadre du projet ROSA. Le raisonnement à partir de cas (noté RàPC) est un mode de résolution de

[6]Dans le même esprit, réalisation probante, dans un cursus de formation, de Soulard *et al.* (2005).

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

problèmes s'appuyant sur la réutilisation de solutions de problèmes déjà résolus (Riesbeck et Schank,1989). Nous en présentons les principes puis quelques éléments méthodologiques de conception d'un système de RàPC.

PRINCIPES

Pour une application particulière du RàPC, on considère les notions de *problème* et de *solution* : résoudre un problème c'est lui associer une solution. Par exemple, en planification à partir de cas, un problème de planification est la spécification d'un état initial et d'un but à atteindre et une solution est un plan permettant d'atteindre le but en partant de l'état initial. Un *cas* est la représentation d'un épisode de résolution de problème : il encode un problème et une solution de ce problème (à laquelle sont généralement associées des informations sur les liens entre ce problème et cette solution). L'ensemble des cas dont un système de RàPC dispose s'appelle *base de cas* et un cas de cette base est appelé *cas source* (dont la partie problème est appelé *problème source*). *Raisonner à partir de cas*, c'est résoudre un problème, appelé problème *cible* en s'appuyant sur une base de cas et, en général, sur des connaissances particulières au domaine d'application.

À titre d'exemple concret, si un cas représente la recette d'une tarte aux pommes, sa partie problème décrit la spécification de la tarte espérée (`Tarte aux pommes`) et sa partie solution décrit la recette en elle-même (i.e., le mode opératoire de réalisation de cette tarte). Une base de cas sera ainsi une représentation informatique d'un livre de recettes.

Une session de RàPC est généralement composée de deux étapes principales : la remémoration et l'adaptation. La *remémoration* consiste à sélectionner un cas source jugé « similaire » au problème cible. L'*adaptation* a alors pour objectif de s'appuyer sur le cas source remémoré pour résoudre le problème cible, souvent en modifiant la solution associée au cas source en s'appuyant sur la différence entre le problème source et le problème cible. De façon générale, l'adaptation consiste à résoudre un problème de raisonnement par analogie (cf. figure 1) : connaissant les problèmes source et cible, les liens entre ces deux problèmes (ressemblances, différences) et les liens entre le problème source et sa solution (résolution de problème), on cherche à établir une solution de cible. Parfois, une étape de mémorisation suit la résolution de problème et consiste à mémoriser, si c'est jugé opportun, le cas formé par le problème cible et sa solution.

De nombreuses approches, parfois *ad hoc,* pour automatiser l'adaptation existent. On peut néanmoins mentionner l'approche très générale de l'*adaptation transformationnelle* (application au RàPC de l'analogie transformationnelle (Carbonell, 1983)) qui peut être reformulée en trois étapes. La première étape est l'*appariement* qui consiste à inférer des deux problèmes source et cible une représentation Δpb de la « variation » du premier au deuxième problème. La deuxième étape consiste à inférer Δsol,

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

une « variation » entre deux solutions à partir de *Δpb* et de *connaissances d'adaptation*. Ces connaissances indiquent donc comment varie la solution quand varie le problème. La troisième étape consiste à inférer la *solution* du problème cible connaissant la solution du problème source et la variation *Δsol*.

La remémoration s'appuie souvent sur une organisation de la base de cas par une hiérarchie d'index (un index étant une abstraction ou une généralisation d'un problème source) et/ou sur une mesure de (dis)similarité. Pour spécifier la remémoration, il faut spécifier la notion de similarité entre problèmes. Pour ce faire, le principe de la remémoration guidée par l'adaptation (Smyth et Keane, 1996) est utile. Ce principe dit que le cas source le plus proche est celui qui demandera le moins d'« effort d'adaptation ». Ainsi, la modélisation de la similarité entre problèmes se ramène à une modélisation de la similarité (au sens de « mesure de la transformation ») entre solutions. L'application de ce principe a des conséquences à la fois sur le choix d'une mesure de similarité et sur l'indexation. En particulier, l'indexation a en général pour objectif de généraliser (et/ou abstraire) le problème source en vue de la résolution de problème qui a conduit à la solution du cas source. Si, pour préparer une tarte aux pommes, l'expert-cuisinier explique (a) qu'il faut des pommes mais (b) que la cannelle est optionnelle et (c) que le type de pommes importe peu, l'indexation gardera du cas (a) mais omettra (b) et (c). De façon générale, l'*explication* de ce qui « joue un rôle » dans la résolution de problème est utile à l'indexation.

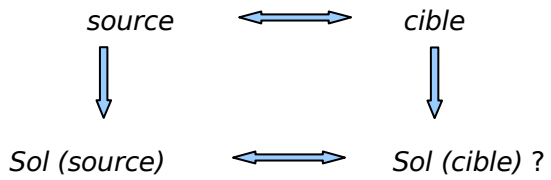

Figure 1. Illustration de l'adaptation (processus qui à partir de source, Sol(source) et cible construit Sol(cible)).

Supposons qu'on cherche à préparer une `Tarte aux poires` et qu'on en ignore la recette. L'idée est alors de chercher la recette d'un plat similaire dans le livre de recettes (remémoration). Par exemple, on peut trouver ainsi la recette de la `Tarte aux pommes`. En effet, la pomme et la poire sont des fruits similaires, du point de vue culinaire. Toutefois, la poire est plus sucrée et plus juteuse que la pomme. Pour adapter la recette de la tarte aux pommes, il ne suffira donc pas de remplacer `Pomme` par `Poire` dans la recette, il faut aussi tenir compte de ces différences si on ne veut pas obtenir une tarte trop sucrée à la pâte détrempée (par exemple, diminuer la quantité de sucre ajouté et précuire les poires).

Pour certains systèmes de RàPC, plusieurs cas peuvent être remémorés afin de résoudre un seul problème cible. Cela peut se faire d'au moins deux façons. Soit, le module de remémoration sélectionne plusieurs cas sources

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

puis, un module de *combinaison* de ces cas sources permet de construire une solution du problème cible. Soit, le module de remémoration sélectionne un seul cas source qui va donner une solution *partielle* au problème cible, puis, la remémoration sélectionne un nouveau cas source qui va contribuer à compléter la solution, et ainsi de suite, jusqu'à avoir une solution complète.

Par exemple, si on cherche à préparer une `Tarte Tatin aux poires`, on peut s'inspirer des recettes de la `Tarte Tatin aux pommes` et de la `Tarte aux poires`.

Pour effectuer un raisonnement à partir de cas, un système de RàPC doit disposer d'une base de cas. Il peut aussi avoir besoin de connaissances pour les différentes étapes du raisonnement, en particulier, de la *similarité* (ou connaissance de remémoration, qui ne se réduit pas nécessairement à une mesure de similarité), des *connaissances d'adaptation*, etc. De plus, les *connaissances du domaine* (c'est-à-dire l'ensemble des connaissances disponibles du domaine d'application) sont souvent utilisées dans le raisonnement.

ELEMENTS DE METHODOLOGIE EN RÀPC

Pourquoi construire un système de RàPC ?

Ce qui motive en général l'utilisation du RàPC est l'absence d'une théorie complète de la résolution de problème dans le domaine d'application. Une telle théorie indiquerait de façon systématique comment résoudre n'importe quel problème, là la réalisation d'une tarte aux pommes, ici la synthèse d'une molécule chimique (Lieber et Napoli, 1996) ou le choix d'un traitement médical (Lieber *et al.*, 2007). Parfois il peut exister des théories (en médecine ou chimie, par exemple), mais elles ne sont pas suffisantes. Par ailleurs, on doit disposer d'expériences particulières de résolution de problèmes, ce qui rend possible une application du RàPC. Finalement, une des raisons pour lesquelles on développe un système de RàPC est que ces systèmes sont capables « d'apprendre » continuement de l'expérience (en mémorisant les problèmes résolus mais également en raffinant le modèle du domaine)[7] et obligent les experts du domaine à décrire ces expériences de telle sorte qu'elles soient réutilisables.

De façon générale, la communauté du raisonnement par analogie en intelligence artificielle, précurseur de celle du RàPC, a introduit les notions d'analogies *heuristique* et *recours* pour distinguer deux grandes classes de raisons pour lesquelles utiliser ce mode de raisonnement (Coulon *et al.*, 1990). Ces distinctions s'appliquent au RàPC : un système de RàPC selon le mode de l'analogie *heuristique* a pour objectif de résoudre une classe de problème que l'on sait résoudre de façon déductive, mais cela, de façon plus efficace (c'est-à-dire, en général, demandant moins de temps de

[7] Voir par exemple (Leake *et al.*, 1997 ; Cordier *et al.*, 2007).

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

calcul). Typiquement, la planification à partir de cas quand la théorie du domaine est supposée complète entre dans ce cadre (Veloso, 1994). À l'inverse, la conception d'un système de RàPC selon le mode de l'analogie *recours* est motivée par l'absence de théorie complète du domaine qui permette une résolution déductive. Elle suppose néanmoins la connaissance d'épisodes particuliers de résolution de problèmes (les cas sources). De plus, la théorie du domaine, même quand elle est très incomplète, est utile à la fois pour la représentation des cas et le processus de RàPC. Le système ROSA entre dans ce cadre et suit donc le principe de l'analogie *recours*.

Les étapes de conception d'un système de RàPC

Pour concevoir et spécifier un système de RàPC, on peut suivre les différentes étapes suivantes dans cet ordre, en s'autorisant des retours en arrière (Lieber 2008).

La première étape est la collecte et la représentation des cas et (donc) des problèmes et des solutions. Cette représentation nécessite l'acquisition et la représentation d'un « vocabulaire » de représentation des cas, c'est-à-dire des concepts et des relations entre ces concepts, dont l'ensemble constitue une première version de la théorie du domaine. Celle-ci pourra être enrichie lors des étapes de conception ultérieures. Cette première étape correspond au premier corpus enregistré dans le projet Rosa (Le Ber et Brassac, dans ce numéro).

La deuxième étape est la conception de l'adaptation. Si on adopte le schéma de l'adaptation transformationnelle, cela conduit à la question de la nature des variations entre problèmes (Δpb) et entre solutions (Δsol), et de leur représentation. Cela entraîne la question de l'acquisition et de la représentation des connaissances d'adaptation, c'est-à-dire, des liens entre les variations Δpb et Δsol. Ces deux questions se présentent souvent de manière interdépendantes et nécessitent alors un traitement global. Cette deuxième étape correspond au deuxième corpus enregistré dans le projet Rosa (Brassac *et al.*, ce numéro).

Si on adhère au principe de la remémoration guidée par l'adaptation, cela entraîne que l'étude de la remémoration – troisième étape dans notre schéma de conception – ne saurait précéder celle de l'adaptation. Cette étape a pour objectif de modéliser la similarité entre un cas source et un problème cible, ce qui peut se faire à l'aide d'une mesure de similarité et/ou d'index de cas. Il importe alors de tenir compte de la *pertinence* des descripteurs de problèmes du point de vue de l'adaptabilité des solutions. Cette relation entre remémoration et adaptation était au cœur de la troisième séance de travail filmée du projet Rosa.

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

RÀPC ET AGRONOMIE

Le projet ROSA que présente cet ensemble d'articles s'inscrit dans une suite de travaux liant agronomie et intelligence artificielle. Partis des organisations spatiales agricoles, d'une problématique de caractérisation et de reconnaissance de ces organisations sur des images satellitaires (Le Ber et Mangelinck, 1998 ; Bachacou *et al.*, 2004), les informaticiens se sont ensuite intéressés à modéliser leurs aspects fonctionnels. Nous avons choisi pour cela d'utiliser le modèle du RàPC, qui permet, à nos yeux, d'interroger en profondeur certaines connaissances des agronomes au travers des études de cas sur lesquelles elles se fondent. Le choix du RàPC se fonde, comme nous l'avons dit en introduction, sur une adéquation *a priori* entre ce modèle informatique et les procédures d'enquêtes et d'analyses utilisées par les agronomes – ou plus largement, les « études de cas » (Crosthwaite, 1997). De plus nous voulions tirer profit de la capacité des systèmes de RàPC à capitaliser les expériences et, au-delà d'une démarche de gestion de connaissances, nous recherchions un moyen de formaliser un raisonnement – le diagnostic des territoires d'exploitations – qui reste relativement empirique, même s'il dispose de certains outils (Naïtlho *et al.*, 2003 ; Soulard *et al.* 2002).

Nous défendrons ce point de vue ici tout d'abord dans le cadre du projet ROSA et plus bas pour envisager d'autres questionnements agronomiques. Soulignons par ailleurs qu'il existe de nombreux travaux liant intelligence artificielle et agronomie[8], le plus souvent sur des problématiques de planification des assolements (Buick *et al.*, 1992), de diagnostic de maladies des plantes (Blancard *et al.*, 1985 ; Yialouris et Sideridis, 1996) ou d'aide à la décision dans le domaine agro-environnemental (Perini et Susi, 2004 ; Kaster *et al.*, 2005), avec des approches diversifiées. Plus proches de nos problématiques, les systèmes incorporant explicitement des expériences des acteurs afin de les partager (par exemple (Bosch *et al.*, 1997) sur les *rangeland* neo-zélandais)) sont plus rares. Dans tous ces travaux, il est peu fait mention du processus même de modélisation et de construction des connaissances mises en jeu, comme nous avons entrepris de le faire dans ce dossier (Brassac *et al.*, ce numéro).

LE PROJET ROSA : RAISONNER À PARTIR D'ORGANISATIONS SPATIALES AGRICOLES

Dans le cadre du projet ROSA (Le Ber *et al.*, 2005 ; Metzger, 2005), nous nous sommes intéressés à la mise en œuvre du modèle du raisonnement à partir de cas dans le domaine agronomique ou, plus précisément, pour l'analyse des modes d'organisation des exploitations agricoles, envisagés sous leurs aspects spatiaux et fonctionnels, en rapport avec des problématiques environnementales. Ici, comme on l'a vu, il s'agit de comprendre la contribution des exploitations à la transformation des

[8]Voir par exemple le numéro spécial du journal *Computers and Electronics in Agriculture* sur ce thème (Farkas, 2003).

paysages, principalement dans le cas des exploitations d'élevage ovin de la région des Grands Causses, soumises à des dynamiques d'embroussaillement.

Hypothèse

L'hypothèse qui a présidé à ces travaux de recherche est la suivante. Pour construire des connaissances sur les organisations des exploitations agricoles, les agronomes effectuent des enquêtes auprès des exploitants. Ces enquêtes s'appuient sur un ensemble de documents écrits, cartes, schémas, notes, qui sont partiellement exploités – de manière qualitative, ou par des méthodes statistiques pour les données chiffrées – par les agronomes pour en tirer des enseignements scientifiques généraux. Mais, ces enquêtes constituent aussi, de manière sous-jacente et souvent implicite, autant de '*cas*', mémorisés par les agronomes, et qui leur servent à mieux appréhender et analyser les exploitations qu'ils enquêtent ultérieurement.

Sur cette hypothèse, notre proposition a été de développer un système de RàPC avec deux objectifs principaux :

- mémoriser et structurer les enquêtes effectuées sous forme d'une base de cas
- fournir une aide à l'exploitation et la réutilisation de ces informations, en particulier en adaptant ces informations à l'analyse de nouvelles exploitations.

Dans le cadre proposé, un cas pourrait être, de manière naturelle, une exploitation, ou une enquête en exploitation. Toutefois, puisque la question des agronomes est d'étudier la gestion des contraintes spatiales dans le fonctionnement des exploitations agricoles, et puisque le modèle du RàPC s'appuie en général sur un découpage d'un cas en un *problème* et une *solution*, nous avons choisi de définir des cas d'organisations spatio-fonctionnelles agricoles comme des couples *(structure spatiale d'une EA*, *organisation fonctionnelle)* ou plus précisément comme des couples *(fragment de structure spatiale d'une EA*, *fonctionnement associé)*. Le « problème » est donc ici un morceau d'espace, muni d'une structure particulière, qu'il faut lire et interpréter en termes de fonctionnement de l'exploitation agricole. La « solution » est cette interprétation. Ainsi plusieurs cas sont définis pour une exploitation enquêtée et ces différents cas peuvent s'envisager comme autant d'*entrées spatiales* pour accéder à l'ensemble des informations associées à une exploitation. On aurait pu de manière duale constituer des cas *(fonctionnement, structure spatiale)* et bâtir ainsi des *entrées fonctionnelles* aux informations constituées lors des enquêtes. Toutefois l'entrée spatiale a été préférée dans un premier temps car elle se prêtait mieux à la modélisation, tant du fait de modèles agronomiques préexistants – les chorèmes d'exploitations (Lardon *et al.*, 2000), comme nous verrons ci-dessous – que du fait des outils informatiques disponibles en matière de représentation qualitative de l'espace (Vieu, 1997).

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

La réutilisation est envisagée de la manière suivante, sur la base des travaux réalisés dans le domaine du raisonnement à partir d'explications (Schank *et al.*, 1994). L'objectif est d'aider à l'analyse d'une exploitation nouvellement enquêtée (N_{ea}). L'entrée principale est spatiale. La structure spatiale de la nouvelle exploitation est décrite et "expliquée" automatiquement à partir d'un ensemble de cas *(fragment de structure spatiale d'une EA ; fonctionnement associé).* Ces cas sont remémorés à l'aide d'une mesure de similarité entre structures spatiales. Chacun est accompagné d'un contexte, c'est-à-dire des documents sur l'exploitation correspondante. Au final l'agronome dispose, à partir de la description spatiale d'une exploitation N_{ea}, d'un ensemble de documents décrivant des exploitations dont tout ou partie de l'organisation spatiale est similaire à celle de N_{ea}. Il obtient également une proposition d'analyse sur cette nouvelle exploitation.

Réalisation

Concrètement, le projet s'est appuyé sur un des produits des enquêtes effectuées par les agronomes, à savoir les chorèmes d'exploitations (Lardon *et al.*, 2000). Ces chorèmes donnent à voir de manière graphique l'organisation spatiale et fonctionnelle des exploitations. Ils sont des formes symboliques représentant les exploitations, synthétisant les informations collectées durant les enquêtes, et constituent ainsi une sorte d'indexation de ces enquêtes. Ils sont aussi des objets intermédiaires – au sens de Vinck et Jeantet (1995) – entre les agronomes et les informaticiens, car écrits par les agronomes et rapidement lisibles, interrogeables et même modifiables par les informaticiens, et donc supports possibles d'un processus d'acquisition et de modélisation des connaissances.

À partir de ces supports sont construits des graphes d'exploitations, dont nous donnons un exemple en figure 2 : l'organisation spatiale d'une exploitation est formalisée par un ensemble de sommets nommés (entités spatiales et relations) liés par des arêtes, sur la base de sa représentation chorématique. Des sous-graphes de ces graphes d'exploitations forment la partie *structure* des cas. La partie *fonctionnement* est un énoncé textuel (Le Ber et Brassac, dans ce numéro). Les connaissances du domaine sont modélisées par une hiérarchie de concepts et des règles d'inférence spatiale permettant de transformer les graphes, l'ensemble formant une *théorie* du domaine. Ainsi un "bloc nougat" et un "pacage" sont tous les deux de types de prairies menées de façon relativement intensive (dans les systèmes d'élevage du causse Méjean) et sont donc considérés comme plutôt *similaires* (voir figure 3). La modélisation mise en œuvre s'appuie sur outils informatiques existants qui évoluent par confrontation aux besoins exprimés par les agronomes, tout au long du processus de conception du système ROSA (Metzger *et al.*, 2003).

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

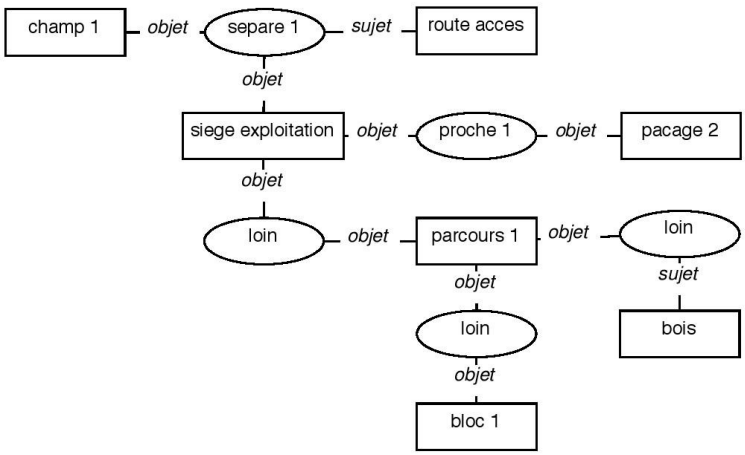

Figure 2 : un graphe d'organisation spatiale construit à partir d'un chorème d'exploitation. La partie haute du graphe se lit ainsi : « la route d'accès sépare le champ 1 du siège d'exploitation, qui est proche du pacage 2 et loin du parcours 1 ».

L'étape de remémoration met en œuvre un mécanisme d'appariement entre un graphe cible (graphe d'une exploitation à « expliquer ») et des graphes sources, en s'appuyant sur la théorie du domaine (Le Ber *et al.,* 2003) : les sommets sont identifiés deux à deux, en respectant la structure des graphes et en calculant une similarité globale. Cette étape de remémoration a été implantée dans un prototype, avec une base de cas et une première version de la théorie du domaine. Les étapes d'adaptation et de mémorisation, quant à elles, sont restées manuelles à l'issue du projet (2005). C'est-à-dire que l'agronome utilisant le système ROSA fournit un graphe d'organisation spatiale et obtient en retour un ensemble de cas, dont les explications correspondent plus ou moins à la situation étudiée. Par exemple, sur la figure 3, un appariement entre une partie du graphe de la figure 2 et un graphe source, opéré par ROSA, permet de proposer une interprétation de la relation de proximité entre le pacage et le siège de l'exploitation considérée. L'agronome a pour charge de valider, modifier ou invalider ces explications, ce qui le conduit à interroger le modèle construit en commun, et constitue donc un nouveau processus d'acquisition - modélisation de connaissances. Dans cette étape, ce ne sont plus uniquement les chorèmes et les graphes (au format papier), mais les productions du système ROSA, l'écran sur lequel elles s'affichent, qui constituent les supports de la modélisation conjointe (Mondada, dans ce numéro).

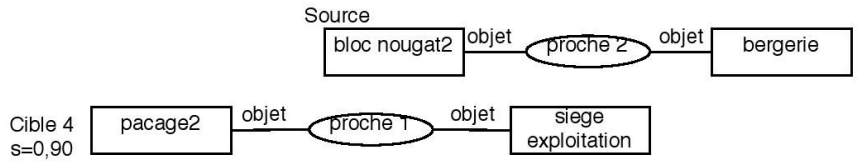

Figure 3 : Le graphe *Cible 4* est apparié avec une similarité élevée (proche de 1) au graphe *Source* dont l'explication est : « la proximité du bloc nougat à la bergerie le rend utilisable par les animaux à forts besoins, ici, le troupeau laitier » (les trois sommets *pacage* / *proche* / *siège d'exploitation* sont identifiés dans l'ordre aux trois sommets *bloc nougat* / *proche* / *bergerie*).

Actuellement, le système construit ne permet pas de proposer une analyse synthétique d'une nouvelle exploitation. Il fournit des fragments d'explication à des morceaux d'espace de l'exploitation, fragments qui sont donc à adapter et à valider par les utilisateurs agronomes. Néanmoins, ce système permet de répondre à notre premier objectif, c'est-à-dire mémoriser et structurer les enquêtes effectuées sous forme d'une base de cas, pour permettre un accès adapté aux informations multiples résultant du mode d'enquête en exploitations. Il fournit une méthode de remémoration et de comparaison des exploitations agricoles sur la base de leur structure spatiale, qui est prise en compte de manière qualitative. Il devrait s'enrichir à l'usage, d'une part parce que la confrontation des cas source et problème cible conduit à un raffinement des cas et de la base de connaissances (Metzger *et al.*, 2006), d'autre part parce que les problèmes cibles une fois analysés peuvent être enregistrés dans la base de cas et ainsi la compléter.

Finalement, il nous semble que l'approche choisie, même inaboutie, s'est révélée utile et pertinente, car elle permet d'une part d'interroger les modes de raisonnement des agronomes et de révéler des connaissances implicites, tout au long du processus de construction du système, d'autre part de rendre les agronomes détenteurs d'un outil pour structurer et manipuler les documents, informations et connaissances, issus des enquêtes en exploitations agricoles.

EXTENSION DU DOMAINE D'INTÉRÊT

Parmi les questions soulevées par l'agronomie de terrain présentée en première partie de cet article, nombreuses sont celles où le modèle du RàPC – et plus généralement les approches relevant de la représentation connaissances en intelligence artificielle – peuvent être intéressants. En effet ces questions partagent un certain nombre de caractéristiques, qui les rendent difficilement traitables par les méthodes classiques de

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

l'agronomie[9] : complexité, incertitude, variabilité spatiale, variabilité temporelle. Ainsi le traitement par expertise des quatre questions listées ci-dessous n'a pas trouvé jusqu'à présent d'outils de modélisation reconnus.

Traitements et chiffrages. Dans des exploitations pastorales, il y a peu ou pas d'homologues des totalisations classiques par nature des cultures, des successions-types, par catégories d'animaux ; celles-ci évoluent en cours d'année de même que leur assemblage en troupeaux mis au pâturage. Pour piloter le pâturage, surtout si le troupeau est gardé selon un circuit journalier, il est peu opératoire de se référer à une planification au niveau de la parcelle, ainsi que l'implique l'itinéraire technique « suite logique et ordonnée des opérations culturales appliquées à un couvert végétal cultivé en vue d'une production » (Sebillotte, 2006). On parle plutôt de « mode d'exploitation parcellaire ». Le calendrier de pâturage doit en effet s'ajuster aux ressources présentes et anticiper sur les suivantes. C'est dans une portion de territoire mis à contribution pour l'apport alimentaire attendu, un « secteur », que chaque parcelle prend place. Sa contribution est à évaluer en tenant compte du fait que le moment et l'intensité du prélèvement peuvent avoir des conséquences marquées pour la production ultérieure, voire la longévité du couvert végétal.

Catégories d'usage des parcelles. À dire d'expert, pour répondre – dans l'urgence ! – à la mise en place des mesures agri-environnementales, les pastoralistes de l'Institut de l'Élevage ont proposé des *saisons-pratiques*, notion ensuite travaillée à l'INRA (Guérin et Bellon, 1990 ; Girard *et al.*, 2001). Cette catégorisation de l'affectation des parcelles est fondamentalement référée, comme son nom l'indique, à la saisonnalité. Les fonctions à assurer répondent aux objectifs de production au cours de la campagne, mais aussi, c'est leur originalité, à une gestion durable des ressources et de dispositifs de sécurité. Par exemple, pour faire face aux inévitables décalages dans la pousse de l'herbe, on prévoit des surfaces à même d'assurer une fonction de tampon. La stratégie, chiffrée en jours de pâturage, est un cadrage pour une gamme d'ajustements à réaliser le moment venu.

Prototypes d'exploitations pastorales et configuration des terrains. Les prototypes d'exploitations proposés par Nathalie Girard *et al.* (2001) résultent d'un assemblage cohérent d'attributs ayant trait à l'utilisation de l'espace, assemblage dégagé d'une grille par laquelle chaque exploitation a été décrite. Ces attributs concernent le séjour nocturne, le gardiennage, le pâturage à distance et le clivage en lots ; mais aussi la granularité et la spécialisation saisonnière des usages de l'espace, à quoi s'ajoute l'arbitrage entre stocks et pâturage sur les surfaces qui peuvent avoir les deux usages. Ces prototypes font contraster de façon convaincante non seulement les utilisations de l'espace, mais aussi les stratégies de conduite des animaux et suggèrent des connections avec l'organisation spatiale (Naïtlho *et al.*, 2003). Les situations étudiées ont

[9]Notons néanmoins que les approches que nous défendons ne sont pas forcément antinomiques des approches mathématiques et/ou statistiques classiquement utilisées.

ainsi permis de confirmer la distinction majeure entre pratiques d'utilisation et pratiques de configuration

Fonctionnalités et cohérences. L'approche globale de l'exploitation, désormais classique dans la formation des praticiens, se réfère à des fonctions qui agrègent des ensembles d'opérations considérées comme majeures. Dans le cas d'exploitations pastorales, la vie du troupeau est en priorité affaire d'alimentation et de reproduction. L'identification de modules fonctionnels à base temporelle est nécessaire et possible du fait de la saisonnalité des ressources en herbe et du fonctionnement de troupeau relativement cyclé. Cependant, en regard des moments forts de la vie du troupeau, il faut ajuster des ressources souvent hétérogènes et affectées de contraintes et d'aléas. De la force de travail et de l'équipement de l'exploitation jusqu'aux modes d'exploitation parcellaire, de multiples cohérences sont à prendre en compte.

Ces questionnements suscités par l'étude des systèmes pastoraux sont, en reprenant le terme de Chevassus-au-Louis (2006, p. 64), des points orphelins des approches classiques de la recherche agronomique. À notre sens, ils peuvent pourtant faire l'objet d'une approche d'ingénierie des connaissances, couplant intelligence artificielle et agronomie. Le RàPC reste pour nous un bon modèle pour représenter et exploiter les connaissances acquises lors des enquêtes en exploitations, en permettant de comparer des configurations tout en offrant la possibilité d'une généralisation. Il faut y adjoindre les outils nécessaires pour prendre en compte les objets et leurs caractéristiques : modèles qualitatifs du temps et de l'espace (Stock, 1997 ; Aiello *et al.*, 2007 ; Le Ber *et al.*, 2007), modèles de points de vue (d'Aquin *et al.*, 2005), hiérarchies et classification qualitative (Ducournau *et al.*, 1998) ont certainement leur mot à dire. Mais il s'agira le plus souvent d'un travail au long cours, impliquant agronomes et informaticiens, mettant en jeu les connaissances et les outils des uns et des autres, comme dans le projet Rosa (voir Mondada ; Brassac *et al.,* dans ce numéro).

CONCLUSION

Cet article avait pour objet de mettre en regard une problématique agronomique, l'étude des systèmes pastoraux, et un modèle informatique, le raisonnement à partir de cas. Notre hypothèse, mise en œuvre dans le projet Rosa, est que le modèle du RàPC peut aider les agronomes à formaliser les systèmes complexes qui les intéressent. Plus largement, nous pensons que les modèles de représentation de connaissances issus de l'intelligence artificielle – dont le raisonnement à partir de cas – peuvent s'appliquer utilement à différentes questions agronomiques, relativement délaissées aujourd'hui car démunies d'outils de formalisation. Ces modèles sont également un moyen de faire progresser l'agronome de terrain, confronté à nombre difficultés quand il veut aborder la complexité du territoire agricole et de ses acteurs. Parallèlement les modèles

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

informatiques ont matière à avancées dans les questionnements des agronomes, comme l'ont montré le projet ROSA et d'autres travaux antérieurs (Le Ber, 2003). Cette mise en relation des questionnements agronomiques et des modèles informatiques n'est à nos yeux pas un simple outillage, mais bien un apprentissage réciproque, qui implique les deux parties dans un processus de co-construction de connaissances, comme nous le montrons dans les articles (Le Ber et Brassac, Brassac *et al.*) de ce dossier.

Nous nous référons pour conclure à Bernard Chevassus-au-Louis[10] qui pour « refonder la recherche agronomie » (2006), propose d'une part d'intégrer sciences agronomiques, sociales et écologiques, et d'autre part de donner leur place à d'autres approches que l'expérimentation en milieu contrôlé, autres approches potentiellement fécondes, telles que la recherche observation, l'approche comparative ou la recherche-action.

C'est bien ce dont il s'agit ici. Le chercheur ne renonce en rien à son appartenance en privilégiant « la pratique du terrain » et en s'ouvrant aux autres disciplines. Pour mieux comprendre et mieux se faire comprendre, l'agronome doit travailler sur ses observations de terrain, ses évaluations, ses diagnostics. Sur le projet ROSA, en collaborant simultanément avec sciences informatiques d'une part, sciences humaines d'autre part, l'agronome fait le pari optimiste de mieux comprendre – et de mieux se faire comprendre – quand il essaie d'aborder les connaissances en jeu dans des pratiques mal référencées mais devenant stratégiques pour des territoires que gèrent les activités d'élevage.

Remerciements

Le projet ROSA a pu être mené grâce au soutien du programme GETM – Société de l'Information, CNRS, IGN, Cemagref (2002-2005). Nous remercions également les relecteurs anonymes de la RAC qui nous ont permis d'améliorer ce texte.

BIBLIOGRAPHIE

Aiello M., Pratt-Hartmann I., van Benthem J. (coord.) (2007). *Handbook of Spatial Logics*. Springer. 1058 p.

d'Aquin M., Lieber J., Napoli A. (2005). Decentralized Case-Based Reasoning for the Semantic Web. *In : Proceedings of the 4th International Semantic Web Conference (ISWC 2005),* coord. par Y. Gil et E. Motta, pp. 142-155. Springer, LNCS 3729.

Bachacou J., Le Ber F., Mangelinck L. (2004). Analyse des paysages agricoles : définition d'indicateurs pour la reconnaissance de structures spatiales sur images satellitaires. *In : Organisation spatiale des activités agricoles et*

[10]Qui a été notamment directeur de l'INRA (1992-1996) et président du Muséum National d'Histoire Naturelle (2002-2006).

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

processus environnementaux, coord. par P. Monestiez, S. Lardon et B. Seguin, pp. 279-302. Science Update, INRA Éditions.

Bellon S., Étienne M., Lécrivain É., Navarrete M. (2005). Activités agricoles, territoires et questions d'environnement : quelles entités d'action ? *In : Agronomes et territoires. Deuxièmes entretiens du Pradel,* coord. par P. Prévost, pp. 199-211. Paris, L'Harmattan.

Benoît M., Capitaine M., Le Ber F. (2005). Méthodes de représentation des règles d'organisation de territoires agricoles. *In : Agricultures et territoires,* coord. par C. Laurent et P. Thinon, pp.191-206. Paris, Hermès Science / Lavoisier.

Blancard D., Bonnet A., Coléno A. (1985) TOM, un système expert en maladies des tomates. *Revue Horticole*, volume 261, pp. 7–14.

Bosch O. J. H., Gibson R. S., Kellner K., Allensing W. J. (1997). Using case-based reasoning methodology to maximise the use of knowledge to solve specific rangeland problems. *Journal of Arid Environments*, volume 35, numéro 3, pp. 549-557.

Buick R. D., Stone N. D., Scheckler R. K., Roach J. W. (1992). CROPS: a Whole-Farm Crop Rotation Planning System to Implement Sustainable Agriculture. *AI Applications*, volume 6, numéro 3, pp. 29-50.

Carbonell J. G. (1983). Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience. *In : Machine Learning, An Artificial Intelligence Approach,* chapitre 5, coord. par R. S. Michalski, J. G. Carbonell et T. M. Mitchell, pp. 137-161. Morgan Kaufmann, Inc.

Chevassus-au-Louis B. (2006). *Biodiversité, un nouveau regerd sur le vivant — Refonder la recherche agronomique. Leçons du passé, enjeux du siècle*. Angers, École Supérieure d'Agriculture, Leçon inaugurale du groupe ESA.

Cohen M. (coord.) (2003). *La brousse et le berger. Une approche interdisciplinaire de l'embroussaillement des parcours.* Paris, CNRS Éditions, Espaces et Milieux, 354 p.

Cordier A., Fuchs B., Lieber J. et Mille, A. (2007). Failure Analysis for Domain Knowledge Acquisition in a Knowledge-Intensive CBR System. *In : Case-Based Reasoning Research and Development, Proceedings of the 7th International Conference on Case Based Reasoning, ICCBR 2007, Belfast, Northern Ireland*, pp. 463-477. Springer, LNCS 4626.

Coulon D., Boivieux J.-F., Bourrelly L., Bruneau L., Chouraqui E., David J.-M., Lu C. R. Lu, Py M., Savelli J., Séroussi B. et Vrain C. (1990). Le raisonnement par analogie en intelligence artificielle. *In : Actes des 3èmes journées nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle*, coord. Par B. Bouchon-Meunier, pages 45-88.

Crosthwaite J., MacLeod N. et Malcolm B. (1997). Case studies : theory and practice in natural resource management*. In : Proceedings of the Australian Association for Social research Conference*, Charles Sturt University, Wagga Wagga.

Deffontaines J.-P. (1991). L'agronomie, science du champ. Le champ, lieu d'interdisciplinarité : de l'écophysiologie aux sciences humaines. *Agronomie,* volume 11, pp. 581-591.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Roger-Estrade J. (coord.) (2006). *L'agronomie aujourd'hui*. Versailles, Éditions Quae.

Ducournau R., Euzenat J., Masini G. et Napoli A. (1998). *Langages et modèles à objets : État des recherches et perspectives*. Collection Didactique D-019, INRIA.

Farkas I. (2003). Artificial intelligence in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, volume 40, numéro 1-3, pp. 1-3.

Girard N., Bellon S., Hubert B., Lardon S., Moulin C.-H., Osty P.-L. (2001). Categorising combination of farmers' land use practices: an approach based on

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

examples of sheep farms in the south of France. *Agronomie*, volume 21, pp. 435-459.

Gras R., Benoît M., Deffontaines J.-P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., Osty P.-L. (1989). *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude.* Paris, L'Harmattan & INRA, 183 p.

Guérin G., Bellon S. (1990). Analyse des fonctions des surfaces pastorales dans des systèmes de pâturage méditerranéens. *Études et Recherches Syst. Agraires Dév.*, volume 17, pp. 147-158.

Kaster D.S., Medeiros C.B., Rocha H.V. (2005). Supporting modeling and problem solving from precedent experiences: the role of workflows and case-based reasoning. Environmental Modelling & Software, volume 20, numéro 6, pp. 689-704.

Landais É., Deffontaines J.-P. (1989). Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Études rurales*, numéro 109, pp. 125-158.

Lardon S., Osty P.-L. (2000). Time-space of farmer practices: methodological proposals from surveys and modelling of sheep farming. A case study in southern Massif Central, France. *In: European farming and rural systems research and extension into the next millennium. Environmental, agricultural, and socio-economic issues* (IFSA 4th European Symposium, Volos, Greece, April 2000). CD ROM.

Lardon S., Capitaine M., Benoît M. (2000). Les modèles graphiques pour représenter l'organisation spatiale des activités agricoles. *In : Représentations graphiques dans les systèmes complexes naturels et artificiels. Journées de Rochebrune,* pp. 127-150. ENST.

Lardon S., Triboulet P., Chadoeuf J., Duvernoy I., Lepart J., Monestiez P., Osty P.-L., Rousset. O. (2004). Observation et simulation de la progression du buis entre 1948 et 1989 : analyse critique. *In : Organisation spatiale des activités agricoles et processus environnementaux,* coord. par P. Monestiez, S. Lardon et B. Seguin, pp. 259-275. Paris, INRA-Éditions.

Leake D., Kinley A. et Wilson, D. (1997). Learning to Integrate Multiple Knowledge Sources for Case-Based Reasoning. *In : Proc. of the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 246–251. Morgan Kaufmann.

Le Ber F., Mangelinck L. (1998). A Formal Representation of Landscape Spatial Patterns to Analyze Satellite Images. *AI Applications*, volume 12, numéro 1-3, pp. 51-59.

Le Ber F. (2003). Représentation de connaissances et raisonnements sur l'espace – Applications au domaine agronomique. Habilitation à diriger des recherches en informatique, Université Henri Poincaré Nancy 1.

Le Ber F., Napoli A., Metzger J.-L., Lardon S. (2003). Modeling and comparing farm maps using graphs and case-based reasoning. *Journal of Universal Computer Science*, volume 9, numéro 9, pp. 1073-1095.

Le Ber F., Lieber J., Napoli A. (2006). Systèmes à base de connaissances. Dans *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'informations,* pp. 1197-1208. Paris, Vuibert.

Le Ber F., Ligozat G., Papini O. (coord.) (2007). *Raisonnements sur l'espace et le temps : des modèles aux applications*. Paris, Lavoisier, Traité IGAT, série Géomatique, 419 p.

Lieber J. (2008). Contributions à la conception de systèmes de raisonnement à partir de cas. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en informatique, Université Henri Poincaré Nancy 1.

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008

Lieber J., d'Aquin M., Badra F., Napoli. A. (2007). Case-Based Treatment Recommendations for Breast Cancer. À paraître dans *Applied Intelligence (an International Journal)*.

Lieber J., Napoli A. (1996). Using Classification in Case-Based Planning. *In : Proceedings of the 12th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'96), Budapest, Hungary*, coord. par W. Wahlster, pp. 132-136. John Wiley & Sons, Ltd.

Metzger J.-L. (2005). Contribution à l'élaboration d'un modèle de raisonnement à partir de cas pour l'aide à l'interprétation d'organisations spatiales agricoles. Thèse de doctorat en informatique, Université Henri Poincaré Nancy 1.

Metzger J.-L., Lardon S., Le Ber F. (2006). Comparaison d'organisations spatiales agricoles : le système ROSA, *Revue internationale de Géomatique*, volume 16, numéro 2, pp. 195-210.

Naïtlho M., Lardon S., Yotte M. (2003). *Approche spatiale de l'exploitation agricole. Modélisation de l'organisation spatiale d'une exploitation*. Dijon, Educagri Éditions, 111 p.

Osty P.-L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'information et contribution au développement. *BTI*, numéro 326, pp. 43-49.

Osty P.-L., Lardon S., Sainte-Marie C. de, 1998. Comment analyser les transformations de l'activité productrice des agriculteurs ? Propositions à partir des systèmes techniques de production. *Études et Rech. sur les Syst. Agraires et le Développement*, numéro 31, pp. 397-413.

Perini A., Susi A. (2004). Developing a decision support system for integrated production in agriculture. *Environmental Modeling and software*, volume 19, numéro 9, pp. 821-829.

Petit M., Deffontaines J.-P., Osty P.-L. (1975). Vos bonnes raisons de décider, les connaissez-vous ? *Entreprises agricoles,* mai 1975, pp. 6-10.

Riesbeck C. K., Schank R. C. (1989). *Inside Case-Based Reasoning*. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.

Schank R. C., Kass A., Riesbeck C. K. (coord.) (1994). *Inside Case-Based Explanatio*n. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.

Sebillotte M. (2006). Préface. Penser et agir en agronome. *In : L'agronomie aujourd'hui.* coord. par T. Doré, M. Le Bail, P. Martin, J. Roger-Estrade, pp. 1-29. Versailles, Éditions Quae.

Smyth B., Keane M. T. (1996). Using adaptation knowledge to retrieve and adapt design cases. *Knowledge-Based Systems*, volume 9, numéro 2, pp. 127-135.

Soulard C., Morlon P., Chevignard N. (2005). Le schéma d'organisation territoriale de l'exploitation agricole. Un outil dans l'étude des relations agriculture-environnement. *In : Agronomes et territoires. Deuxièmes entretiens du Pradel,* coord. par P. Prévost, pp.395-41. Paris, L'Harmattan.

Stock O. (coord.) (1997). *Spatial and Temporal Reasoning*. Kluwer Academic Publishers.

Veloso M. M. (1994). *Planning and Learning by Analogical Reasoning.* Lecture Notes in Artificial Intelligence, volume 886. Springer Verlag, Berlin.

Vieu L. (1997). Spatial Representation and Reasoning in Artificial Intelligence. *In : Spatial and Temporal Reasoning*, coord. par O. Stock, pp. 5-42. Kluwer Academic Publishers.

Vinck D., Jeantet. A. (1995). Mediating and Commissioning Objects in the Sociotechnical Process of Product Design: a conceptual approach. *In Designs, Networks and Strategies,* COST A3 Social Sciences, volume 2, pp. 111-129. Bruxelles, EC Directorate General Science, R&D.

Yialouris C. P., Sideridis A. B (1996). An expert system for tomato diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, volume 14, numéro 1, pp. 61-76.

hal-00337158, version 1 - 6 Nov 2008