

LA PROBLEMATIQUE DE L'EVOLUTION DE L'UTILISATION DES TERRES AGRICOLES : VERS UN SYSTEME HYBRIDE COUPLE A UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE OBJET¹

Didier JOSSELIN

Laboratoire de la Montagne Alpine (LAMA)
17, rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble Cedex

Bruno ORSIER

Laboratoire d'Informatique Fondamentale et d'Intelligence Artificielle (LIFIA)
46, avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble Cedex

Résumé

Les systèmes hybrides cherchant à tirer parti des points forts des réseaux de neurones et de l'Intelligence artificielle classique, connaissent actuellement un grand succès en informatique. Notre recherche, fruit d'une collaboration pluridisciplinaire, vise à coupler un SIG et un tel système hybride, pour répondre à la problématique suivante : modélisation du phénomène de déprise agricole.

Notre exposé présentera :

- les résultats critiques d'études préliminaires réalisées avec des techniques plus classiques (analyse de données, apprentissage symbolique, automatique...),
- nos motivations et nos espoirs relatifs à l'utilisation des réseaux de neurones comme intermédiaire entre Système d'Information Géographique, outils statistiques et intelligence artificielle classique (limites actuelles de ces outils).

Mots Clés

Déprise agricole - Intelligence Artificielle - Réseau de neurones - SIG - Système hybride

Contexte de l'étude

Derrière l'expression de "déprise agricole", chacun trouve sa propre acception. Ce peut être la friche, un processus socio-économique concernant les exploitations, une dynamique migratoire rurale, l'extensification. On parle ainsi de "progression des ligneux", "repli agricole", "exode rural", "abandon et sous-exploitation" et, d'une manière générale, de "déprise" [RGL91].

Dans ce contexte, notre problématique se définit préférentiellement du point de vue des pratiques agricoles : nous cherchons à mettre en évidence quels sont les facteurs de tous ordres (biophysiques, fonciers, humains...) qui participent à la dynamique de l'utilisation des terres agricoles en zone de montagne.

Actuellement, les collectivités locales et certaines institutions agricoles de la Région Rhône-Alpes s'interrogent sur l'émergence de modes d'exploitation alternatifs viables, intégrant à la fois des pratiques agricoles productives, et une gestion cohérente de leur environnement montagnard. Pour mener à bien l'identification, puis à plus ou moins long terme la mise en place de ces modes d'exploitation novateurs, l'élaboration d'un outil informatique d'aide à la décision nous paraît utile, surtout s'il intègre des fonctionnalités de diagnostic spatial et de modélisation prospective.

Ce projet de Recherche-Action regroupe une équipe pluridisciplinaire composée de géographes (LAMA), d'agronomes (Chambre d'Agriculture de l'Isère) et d'informaticiens (LIFIA). Il se déroule en deux phases :

- évaluation des apports de différentes techniques utilisées pour analyser les données (retombées thématiques et adéquation ou inadéquation de la technique testée au problème posé) ;
- conception d'un outil d'aide à la décision, qui couplera certaines de ces techniques (les plus appropriées) à un Système d'Information Géographique.

Dans cet article, nous présenterons les résultats obtenus lors de la première étape, ainsi que les orientations prises pour la réalisation de la seconde.

1. Quelles données traiter et quelles connaissances extraire ?

Nous disposons au départ d'un jeu de données sur 400 parcelles enquêtées (toutes exploitées il y a 15 ans) appartenant à 8 communes iséroises de moyenne ou haute montagne, choisies d'après leurs caractéristiques pour représenter au mieux la diversité des massifs. Nous nous sommes appuyés à la fois sur ces données, ainsi que sur les premières analyses réalisées par F. Véron dans son étude sur le phénomène d'abandon [VERO90].

Dans notre fichier, 59 variables (biophysiques, foncières, de production, d'exploitation, d'aménagement,...) décrivent le phénomène. Elles sont hétérogènes, de par leurs types (qualitatives ou quantitatives, continues ou discrètes,...) ou leurs niveaux de collecte (parcelle, exploitation, commune). L'unité élémentaire à laquelle est attribuée l'information est la parcelle. Les parcelles étant tirées selon un carroyage spatial, elles ne sont que très rarement contiguës, et leur localisation cartographique n'a pas été conservée. Une autre caractéristique de ces données est qu'elles ont été collectées par enquêtes verbales, et que leur véracité dépend quelquefois de facteurs non maîtrisables.

Ces variables ont été regroupées en 10 thèmes distincts, ceci pour, d'une part, faciliter les traitements et donc la lisibilité des résultats attendus, et, d'autre part, conserver une certaine cohérence sémantique au sein de chaque groupe. Les parcelles n'étant pas géo-référencées, nous avons travaillé exclusivement sur les variables, et non sur les individus.

Quelles connaissances souhaitons-nous extraire ? Elles se définissent selon deux axes.

- Le premier oppose une information issue de généralisation ou de regroupement, à une information de type marginal ou atypique ; en effet, un individu seul avec une pratique culturelle inconnue jusqu'alors peut revêtir un intérêt particulier, autant qu'un groupe d'individus ayant un mode d'exploitation plus classique.
- Le second oppose état et évolution, car il nous semble intéressant de rechercher les liens de nos variables descriptives avec les modes d'utilisation du sol et les modes d'évolution de cette utilisation.

Pour évaluer l'efficacité des outils testés, nous nous sommes donc posés les 4 questions suivantes :

Utilisation des parcelles agricoles (notamment abandon) :

Peut-on déterminer une typologie fiable de l'utilisation des parcelles ?

Peut-on identifier des cas marginaux intéressants ?

Dynamique d'utilisation (notamment "déprise" agricole) :

Peut-on mettre en évidence les tendances dominantes de l'évolution des parcelles agricoles ?

Peut-on caractériser des "sous-phénomènes" intéressants d'évolution des usages ?

2. Quelles techniques utiliser ?

Outre les outils statistiques, le géographe commence aujourd'hui à disposer de divers outils provenant de l'intelligence artificielle (IA) qui peuvent fournir une aide intéressante dans plusieurs situations, comme :

- aide à la modélisation d'un phénomène, dans le cas où une modélisation purement mathématique n'est pas envisageable [RECH89] ;
- prise en compte du raisonnement d'experts pour résoudre des problèmes où aucun algorithme n'est connu ;
- classification de données [WEIS&91].

Le grand intérêt des techniques de l'intelligence artificielle est qu'elles permettent soit de travailler sur des modèles explicites, soit d'obtenir de tels modèles (voir l'extraction de connaissances ci-dessous). C'est là une différence importante par rapport aux méthodes statistiques qui se présentent sous la forme de procédures et où tout le travail d'interprétation des résultats est en fait laissé à la charge de l'utilisateur. Les méthodes statistiques ont en revanche l'avantage

d'être bien caractérisées mathématiquement (par exemple on sait quel critère on minimise, ou encore on sait généralement quelle confiance peut être accordée aux résultats). C'est pourquoi nous pensons que ces deux démarches sont plus complémentaires que concurrentes.

En ce qui concerne les techniques statistiques, le test du χ^2 et l'Analyse Factorielle des Correspondances nous ont semblé des outils d'analyse de données appropriés. En effet, nos données, provenant d'une enquête sont, pour une grande partie d'entre elles, de nature qualitative. Les variables quantitatives ont donc été discrétisées (classes).

Pour ce qui est de l'intelligence artificielle, nous nous intéressons ici aux outils basés sur l'apprentissage automatique (plus précisément ceux qui réalisent une induction à partir d'exemples). Ce ne sont pas les plus connus des thématiciens, qui ont surtout utilisé les systèmes experts. Mais aujourd'hui on identifie mieux les limites des premiers systèmes experts. L'acquisition des connaissances est très difficile quand on s'intéresse à des problèmes réalistes, ces systèmes sont incapables de s'adapter à une situation inconnue, leur maintenance est difficile. Ces systèmes sont finalement très fragiles [SUN91].

En particulier, dans le cas de la déprise agricole, l'obtention de connaissances très précises est difficile étant donné la nature du problème : il est multi-échelles (parcelle, exploitation, terroir), évolutif, spatial. On obtient donc seulement des connaissances grossières et imparfaites, qu'il faudrait pouvoir affiner. Or des jeux de données sont disponibles, et certaines techniques d'intelligence artificielle basées sur l'apprentissage automatique permettent justement soit l'affinage de connaissances, soit directement l'extraction de connaissances à partir d'un jeu de données, à l'aide d'arbres de décision [ID3, ARBRE] ou de réseaux de neurones [GIAC92].

3. Des éclairages différents par des techniques variées

Pour l'ensemble de l'étude, la démarche est commune. D'une part, on teste chaque technique sur un extrait simplifié du fichier de données (le choix de quelques variables est réalisé selon notre connaissance a priori du jeu de données). D'autre part, son application est ensuite généralisée à l'ensemble des données, par thème.

Dans tous les cas, les analyses effectuées intègrent à la fois les variables de chaque thème défini précédemment ainsi qu'une des deux (ou les deux) variables de référence : le mode d'utilisation actuel de la parcelle (d'une utilisation intensive jusqu'à l'abandon) et son évolution en 15 ans (changement d'affectation entre aujourd'hui et la date - 15 ans).

Bien que de nombreux essais aient permis d'évaluer l'efficacité des techniques utilisées, nous nous bornerons à présenter des exemples didactiques, ainsi que quelques-uns des résultats thématiques importants obtenus sur l'ensemble des traitements.

3.1. Outils statistiques testés : χ^2 et Analyse Factorielle des Correspondances

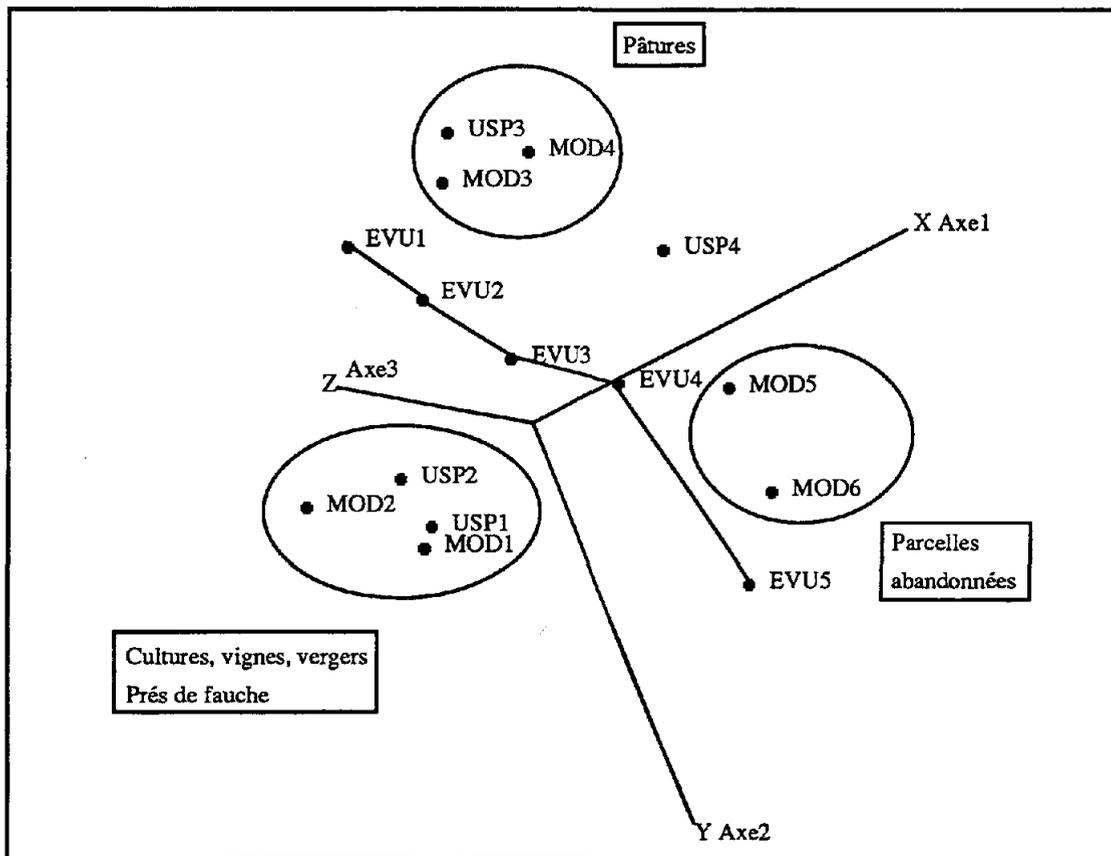
Nous avons donc réalisé une AFC sur chacun des 10 thèmes de l'étude. Globalement, soit les AFC réalisées ont mis en évidence des phénomènes assez triviaux, soit l'information qu'elles portaient n'était pas assez tranchée. Ainsi, malgré la combinaison ou le recodage de certaines variables, le problème n'a pu être décomposé finement, en fonction des questions préalablement posées.

L'exemple présenté (figure 1) illustre clairement le type de problèmes que nous avons rencontré. Il regroupe les trois variables suivantes :

- les modes d'utilisation actuel et passé (d'il y a 15 ans) de la parcelle, allant d'une utilisation intensive à un abandon éventuel,
- le "sens" et la "rapidité" d'évolution de son utilisation en 15 ans déterminée en fonction de la différence entre les modes d'utilisation passé (-15 ans) et actuel.

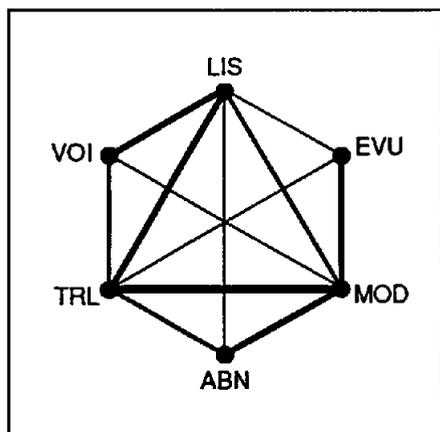
L'analyse distingue clairement l'abandon des parcelles des autres modes d'utilisation. Cependant, il est impossible de déterminer entre les cultures, prés de fauche et pâtures plus ou moins bien entretenues, les parcelles qui ont évolué vers une reprise, une déprise ou sont restées stables.

Figure 1 : Analyse Factorielle des Correspondances réalisées sur les 400 parcelles décrites par les 3 variables



- EVU : sens et rapidité d'évolution du mode d'utilisation des parcelles (EVU1 = reprise agricole ; EVU2 = stabilité ; de EVU3 à EVU5 = vitesse de «déprise» croissante, qui correspond à une extensification croissante des pratiques),
- MOD : mode d'utilisation actuel de la parcelle (MOD1 = culture, vigne ou verger ; MOD2 = prés de fauche ; MOD3 = pâture entretenue ; MOD4 = pâture non entretenue ; MOD5 = abandon progressif ; MOD6 = abandon brutal),
- USP : mode d'utilisation d'il y a 15 ans (USP1 = culture, vigne ou verger ; USP2 = prés de fauche ; USP3 = pâture entretenue ; USP4 = pâture non entretenue).

Figure 2 : Graphe représentant la dépendance statistique entre quelques variables d'un thème (méthode du Phi²)



L'épaisseur du trait est proportionnelle à cette dépendance.

Variables :
 EVU ; MOD ; LIS = état de la lisière ;
 VOI = mode d'occupation du sol dominant des parcelles avoisinantes ;
 TRL = taux de recouvrement ligneux sur la parcelle ;
 ABN = abandon éventuel.

Une étude plus approfondie basée sur la méthode du Khi2 [VOLL80] nous a permis de répondre plus précisément à ce type de questions par l'évaluation des dépendances entre l'ensemble des variables descriptives et les variables de référence, ainsi qu'entre leurs modalités relatives (relations positives ou négatives). Cette approche a dévoilé des phénomènes intéressants, comme le fait, par exemple, que la répartition des parcelles abandonnées semble globalement assez indépendante de la physionomie (en terme de recouvrement ligneux) des parcelles avoisinantes, bien qu'au niveau des modalités il existe tout de même des relations statistiques assez fortes (fig. 2 et 3).

Tableau 3 : Dépendances statistiques entre les modalités des variables VOI (physionomie dominante des parcelles avoisinantes) et MOD (mode d'utilisation actuel de la parcelle)

1	2	3	4	5	6	
NUL	0	NUL	0	++	NUL	4 bois résineux
NUL	-	0	0	NUL	0	3 bois feuillus
NUL	-	NUL	0	+	++	2 friche
++	0	0	0	-	-	1 fauche, culture ou pâture entretenue

(NUL : pas assez d'effectif ; 0 : indépendance ; - : dépendance négative ; + : dépendance positive). On constate que les prés de fauche et les pâtures sont bien réparties dans l'espace, mais que les parcelles abandonnées se situent plutôt au milieu des friches et des forêts.

D'une manière générale, nous avons pu constater toute la difficulté à extraire, parmi les variables descriptives, celles qui sont pertinentes. Aussi, attendons-nous la réalisation d'une analyse très approfondie avec les divers outils dont nous pouvons disposer pour identifier clairement les variables discriminantes dans les phénomènes d'abandon et leurs combinaisons. Pour l'heure, nous ne pouvons que conclure sur des aspects méthodologiques, et dire que ces deux approches se sont révélées assez intéressantes. Ainsi, nous avons pu "valider" notre jeu de données, qui même "bruité", recèle des informations intéressantes. Malgré les difficultés évoquées ci-dessus, nous avons pu éliminer les variables fortement redondantes ou complètement indépendantes du problème étudié.

En conclusion, sur les quatre questions posées au départ, nous n'avons pu finalement répondre qu'à la troisième, en partie à la quatrième, et effleurer la première et la seconde.

3.2. Induction automatique d'arbres de décision

L'outil que nous allons présenter appartient à la famille des techniques d'Apprentissage Symbolique Automatique [KODR86] et possède quelques analogies avec les techniques connues de classification hiérarchique ou de segmentation [CHAD86]. Il s'agit du logiciel Arbre. Ce logiciel développe une méthode d'induction dans le domaine de l'incertain. Son but est de fournir une représentation de la connaissance la plus concise et la plus structurée possible, tout en gérant le bruit [CREM91]. Il engendre ce que l'on appelle un arbre de décision, basé sur une hiérarchisation de variables choisies en fonction de leur pouvoir de discrimination par rapport à une variable décision prédéfinie. Il est donc composé de noeuds (les variables), de branches reliant ces noeuds (les modalités des variables) et de feuilles (valeurs de la variable décision).

L'arbre résultant du traitement est exhaustif et correspond à une réorganisation totale et une simplification de nos données. De plus, le nombre d'exemples ayant participé à l'élaboration d'une de ses feuilles est conservé. En cas d'obtention d'un arbre trop complexe, des méthodes d'élagage peuvent permettre d'éliminer les sous-arbres contenant trop peu d'information. Les arbres de décision que nous avons pu obtenir sont en général très « touffus ». Une simplification des variables et des élagages se sont donc imposés.

Quel est l'apport de cet outil ?

Là où le Khi2 a mis en évidence des faits (relations entre variables ou entre modalités) juxtaposés, Arbre les a organisés. Ainsi, on retrouve bien les mêmes résultats, mais :

- ils sont orientés et hiérarchisés en fonction de la variable décision ;
- on constate bien évidemment que des combinaisons de faits peuvent aboutir à la même décision, et on peut donc les comparer ;
- les variables non pertinentes n'apparaissent pas le long des branches de l'arbre, ce qui est une information importante ;

- on peut accorder un degré de confiance aux résultats fournis à chaque feuille, car on connaît l'effectif qui y a contribué ;
- la forme générale de l'arbre nous renseigne sur la «forme» même de notre jeu de données.

D'un point de vue thématique, les résultats ont été encourageants, mais restent à analyser en profondeur. On peut citer par exemple la règle suivante (qui ne vaut, bien entendu que par rapport à notre base d'exemples) : «On observe une bonne stabilité de l'utilisation des parcelles en faire valoir direct, exploitée par un producteur de viande ovine qui était déjà exploitant il y a 15 ans». Ces règles peuvent paraître trop simplificatrices, trop réductrices. Il nous reste donc à évaluer leur pertinence et leur domaine de validité, en fonction des hypothèses liées au fichier et aux traitements.

L'induction automatique devra donc nous permettre de répondre de façon satisfaisante aux questions 2, 3 et 4, et d'abord la question 1. Un exemple d'arbre est présenté dans le tableau 2.

Tableau 2 : Extrait d'un arbre de décision brut (non élagué)

Pas d'exploitant ou pas de donnée sur l'âge de l'exploitant actuel et même exploitant depuis 15 ans	→ 1 cas de stabilité et 3 cas de déprise
et ancien exploitant = ascendant	→ 2 cas de stabilité
et ancien exploitant = collatéral	→ 0 cas
et pas de lien de parenté entre les deux exploitants	→ 5 cas de déprise
et pas d'exploitant	→ 38 cas de déprise
Age de l'exploitant actuel : 50 à 65 ans avec successeur probable et pas de production agricole (s.s.)	→ 4 cas de stabilité et 1 cas de déprise
...	
et production : uniquement lait et distance parcelle/exploitation > 5 km	→ 1 cas de reprise
...	
et production : viande ovine et faire-valoir direct	→ 3 cas de stabilité
...	
et production : viande bovine et distance parcelle/exploitation < 200 m et distance entre 200 et 500 m	→ 4 cas de déprise → 2 cas de stabilité et 2 cas de déprise
...	
et distance entre 500 et 1000 m et même exploitant depuis 15 ans et ancien exploitant = ascendant	→ 2 cas de stabilité → 2 cas de déprise
...	
...	
...	

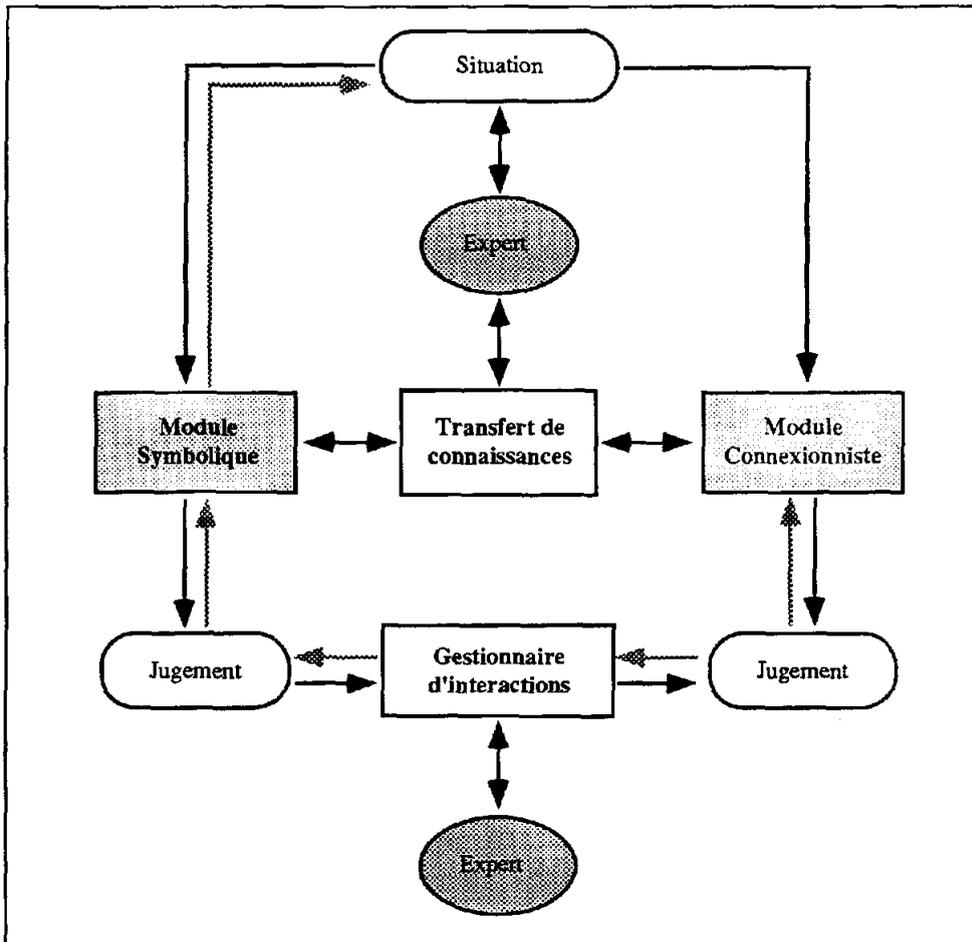
On voit apparaître à la fois les tendances lourdes du fichier et les cas particuliers, parfois contradictoires par rapport à la variable décision

Outre des connaissances induites, des connaissances issues de l'experts peuvent être un complément intéressant dans la modélisation d'un phénomène.

3.3. Le système hybride SYNHESYS

Ce système a été réalisé au LIFIA [GIAC92]. Il est hybride dans le sens où il cherche à profiter de la synergie entre un module dit symbolique (un système expert d'ordre 0+ fonctionnant en chaînage avant et arrière) et un module dit connexionniste (un réseau de neurones à base de prototypes), comme cela est montré sur la figure 3. De nombreuses interactions entre ces modules sont possibles, mais celle qui nous intéresse le plus ici est l'extraction de règles de production d'ordre 0+ à partir du réseau de neurones, après que ce réseau ait appris des exemples de décisions de la forme "situation d'entrée → classe de décision". A partir de ces exemples, on peut donc obtenir de nouvelles informations sous une forme relativement compréhensible pour un expert du domaine (règles de production).

Figure 3 : Architecture du système expert hybride développé au LIFIA



Il est composé de deux modules principaux, un module symbolique (système expert d'ordre 0+ fonctionnant en chaînage avant et arrière) et un module connexionniste (réseau de neurones à base de prototypes). Un troisième module, le gestionnaire d'interactions, supervise les interactions entre ces deux modules sous le contrôle de l'expert.

L'algorithme qui est implémenté par ce module² est un algorithme de regroupement (clustering), qui manipule des prototypes dans l'espace d'entrée. Un prototype est caractérisé par une classe d'appartenance, par un point de l'espace d'entrée et par un rayon, ce qui définit en fait l'hypersphère d'influence du prototype. Une présentation intuitive de son fonctionnement est la suivante : "je dois classer un nouvel exemple : il tombe dans l'hypersphère d'influence d'un nombre n de prototypes. Si $n \neq 0$, je cherche le centre de prototype le plus proche de l'exemple à classer, et je donne comme résultat la classe de ce prototype puis je rapproche légèrement le centre du prototype de l'exemple ; si $n = 0$, je crée un nouveau prototype centré sur le point en question et de rayon arbitraire".

Cet algorithme de base est proche de méthodes de classification dites "du plus proche voisin" [WEIS&91], mais nous utilisons des variantes plus sophistiquées car l'apprentissage doit tenir compte des cas où la réponse rendue n'est pas celle attendue (apprentissage supervisé). Cet algorithme est intéressant par rapport aux quatre grandes questions que nous nous posons, car il permet à la fois de regrouper des individus proches (notion de généralisation) et d'identifier des individus atypiques.

Pour tester simplement la technique, nous avons extrait du fichier d'exemples les trois variables suivantes :

- le taux de recouvrement ligneux passé (- 15 ans) et l'utilisation passée de la parcelle (- 15 ans) comme variables descriptives ;
- l'utilisation actuelle de la parcelle.

Ces trois variables, le Khi^2 nous l'avait clairement démontré, sont très fortement corrélées. Toutefois, les résultats produits par le système hybride n'ont pas pu être utilisés. En effet, notre fichier de données n'a pas permis une convergence du réseau neuronal, même suite à un très long apprentissage.

Etant donné que ce système a été développé pour une application différente de la nôtre et qu'il reste encore expérimental, nous n'avons pas obtenu de résultats réellement satisfaisants sur le plan thématique. En revanche nos expériences ont permis de mettre en évidence un certain nombre de limites du système, ce qui va nous aider à faire évoluer le logiciel :

- difficulté à prendre en compte des données qualitatives (les entrées du système doivent obligatoirement être numériques),
- difficulté à prendre en compte des données "bruitées" (présence notamment d'exemples contradictoires dans la base),
- difficulté à traiter un nombre élevé de dimensions d'entrée, due à l'aspect fortement combinatoire de la méthode d'extraction de règles utilisée.

Toutefois, ces expériences ont montré l'apport indiscutable d'un système permettant l'extraction et/ou l'affinage de règles, dans la démarche de modélisation des connaissances.

5. Vers un outil d'aide à la décision couplant SIG et système hybride

Il s'agit ici de la seconde phase de notre projet de recherche-action. La première phase nous a permis de sélectionner des techniques de classification, ainsi que certaines des variables descriptives pertinentes. Cependant, la réalisation du système informatique d'aide à la décision tel que nous le concevons doit comporter les fonctionnalités suivantes :

- cartographie, voire visualisation tridimensionnelle, pour augmenter l'impact visuel dans l'aide à la décision ;
- possibilité de coder et manipuler de l'information topologique (en effet, nous avons le sentiment que le devenir d'une parcelle est dépendant à la fois d'un ensemble d'attributs qui la caractérisent, mais aussi de sa disposition dans l'espace, par rapport aux sièges d'exploitation, aux autres parcelles, à la logique d'une conduite de troupeau...);
- interrogeabilité et stockage des données.

Dans cette optique, l'outil Système d'Information Géographique nous paraît adapté à nos besoins [JOSS93].

Par ailleurs, nous devons prendre en compte des niveaux variés d'information : parcelle agricole, territoire d'exploitation, unité paysagère et éventuellement limite administrative. Tous ces objets auxquels on s'intéresse peuvent donc être alternativement acteurs dans la décision d'utilisation du sol ou entités subissant l'évolution. La technologie «orientée-objet» du S.I.G. SmallWorld que nous venons d'acquérir devrait faciliter la structuration de notre modèle.

Jusqu'à maintenant, nous avons utilisé un jeu de données enquêtées de nature statistique. Dans la seconde partie de notre projet, nous travaillons sur un ensemble de parcelles géo-référencées formant un territoire délimité, correspondant à une partie d'une unité paysagère. Ces données ont été collectées par enquête lors de juries communales par les techniciens et ingénieurs de la Chambre d'Agriculture de l'Isère ainsi que par un réseau de fermes de référence [JANI93]. Les variables descriptives pertinentes sont choisies en fonction des résultats que nous avons mentionnés précédemment et des caractéristiques propres à notre nouveau jeu de données (notamment la topologie). Ces informations constituent notre base d'exemples, à partir de laquelle nous cherchons à identifier des comportements "standards" d'évolutions parcellaires, ayant peut-être des logiques spatiales.

Par ailleurs, la connaissance des experts agricoles nous semble un élément fondamental.

Notre recherche s'oriente donc maintenant vers un Système Hybride dédié à notre application, c'est-à-dire gérant les particularités des données que nous avons évoquées (bruit, mélange de quantitatif/qualitatif) et bénéficiant des points forts des modules qui le composent. Couplé à un Système d'Information Géographique, il constituera, nous l'espérons, un réel outil d'aide à la modélisation et à la décision.

Remerciements

Les auteurs remercient tout particulièrement M. Bruno Crémillieux et M. François Véron qui ont mis respectivement à disposition le logiciel ARBRE et le jeu de données.

Références bibliographiques

- [CHAD87] - Groupe Chadule : «Initiation aux pratiques statistiques en Géographie», Masson, 1987
- [CREM91] - CREMILLIEUX B. : "Induction automatique : aspects théoriques, le système ARBRE, applications en médecine", Thèse UJF, Grenoble, 1991
- [GIAC92] - GIACOMETTI A. : "Modèles hybrides de l'expertise", Thèse ENST, Paris, 1992
- [JANI93] - JANIN Cl., DEGOURNAY M.C. : «Méthode de gestion paysagère de l'espace intégrant activité agricole et systèmes d'exploitation», Rapport d'étape Chambre d'Agriculture de l'Isère, 1993
- [JOSS93] - JOSSELIN D. : «Cartographie des risques d'abandon des parcelles agricole en zone de montagne» dans Les Dossiers de la Revue de Géographie Alpine, 1993, SIG et Environnement, Université de Montréal, Institut de Géographie Alpine, n°9, 110 p.
- [KODR86] - KODRATOFF Y. : «Leçons d'apprentissage symbolique automatique», Editions Cepadues, 1986
- [RECH89] - RECHENMANN F. : "Intelligence artificielle et modélisation de systèmes dynamiques", Habilitation à diriger des recherches, INPG, Grenoble, 1989
- [RGL91] - «Connaissance de la friche», Revue de géographie de Lyon, n° 1, vol. 66, 1991
- [SUN91] - RON SUN : "Integrating Rules and Connectionism for Robust Reasoning", Ph.D. Thesis, Brandeis University, 1991
- [VERO90] - VERON F. : «Analyse des phénomènes d'abandon de l'espace en Isère», Document interne CEMAGREF-INERM/AVENIR, Grenoble, 1990
- [VOLL80] - VOLLE M. : «L'analyse des données», Economica, 1980
- [WEIS&91] - Sholom M. WEISS et Casimir A. KULIKOWSKI : "Computer Systems That Learn, Classification and Prediction Methods from Statistics, Neural nets, Machine Learning and Expert Systems", Morgan Kaufman Publishers, San Mateo, 1991, 223 pages

Notes

¹ - D. JOSSELIN, LAMA, Grenoble ; B. ORSIER, LIFIA, Grenoble

² - L'implémentation sous forme de réseau de neurones permet de profiter, outre du parallélisme intrinsèque des réseaux, de résultats mathématiques sur la convergence de l'algorithme.