



Raisonnement spatial et temporel

Christian Bessiere, Jérôme Euzenat, Robert Jeansoulin, Gérard Ligozat,
Sylviane Schwer

► To cite this version:

Christian Bessiere, Jérôme Euzenat, Robert Jeansoulin, Gérard Ligozat, Sylviane Schwer. Raisonnement spatial et temporel. 6e journées nationales PRC-GDR intelligence artificielle, Mar 1997, Grenoble, France. pp.77-88. hal-01401180

HAL Id: hal-01401180

<https://hal.science/hal-01401180>

Submitted on 27 Nov 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NoDerivatives 4.0 International License

Raisonnement spatial et temporel

Groupe Kanéou du PRC-GdR IA

Bessière, Christian

LIRMM , CNRS, Montpellier

Euzenat, Jérôme

INRIA Rhône-Alpes, Grenoble

Jeansoulin, Robert

LIM, CNRS URA 1787, Marseille et Cassini, CNRS GdR 1041

Ligozat, Gérard

LIMSI, CNRS, Université de Paris Sud, Orsay

Schwer, Sylviane

LIPN, CNRS URA 1507, Université de Paris Nord, Villetaneuse

"Si on ne me le demande pas, je crois savoir ce qu'est le temps.
Mais si on me le demande, je ne le sais plus".

"Confessions", Saint-Augustin

Bien que, ou parce que, toutes les activités et toutes les perceptions humaines sont relatives au temps et à l'espace, ni les philosophes, ni les scientifiques n'en fournissent de définition unanime. Kant conçoit l'espace et le temps comme des conditions nécessaires de l'expérience humaine, qui ne porte jamais sur la réalité en soi, mais sur les phénomènes qu'on perçoit. Pour Pascal ce sont des choses premières qu'il est impossible, voire inutile de définir.

Le temps et l'espace sont des modalités fondamentale de l'existence et de la connaissance que l'on en a. A défaut de les définir, les hommes se sont attachés au cours des siècles à les mesurer. Ces approches métriques, numériques, ont été l'enjeu de travaux considérables pour gagner en précision. Pour autant l'absence de précision dans la localisation, n'a jamais empêché de constater - qualitativement - que le temps et l'espace sont source de relations entre les objets et les événements.

Les représentations de ces approches qualitatives n'ont reçu de formalisation mathématique que vers la fin du siècle dernier, où Henri Poincaré fonde les bases des travaux ultérieurs sur la relativité comme sur la topologie.

Ces approches qualitatives focalisent le travail du groupe Kanéou, en termes de représentation (logique, modèles, langue naturelle), de traitement (CSP, multi-agents) et d'application (diagnostic, aménagement, systèmes d'information géographique). Ce texte est suivi à titre d'exemple, de celui de Joël Révaut, jeune chercheur de Kanéou.

Introduction. Problématique de représentation du temps et de l'espace en informatique et en Intelligence Artificielle

L'apparition des sciences du calcul automatique a été, à partir des années 50, source de nouveaux problèmes et de nouvelles formalisations du temps et de l'espace.

Nouveaux problèmes.

De nombreuses applications mettent en jeu des connaissances qualitatives sur le temps et l'espace, en contrôle industriel, transport, ingénierie de l'environnement. Ce sont des domaines technologiques en fort développement*, à impact social important. Par exemple :

- en planification, une action doit en précéder une autre ;
- pour l'aménagement et les problèmes de placement en général ;
- en diagnostic, une augmentation brusque de la température est significative si elle ne survient pas après la mise en route d'un dispositif de chauffe ;
- dans un dispositif de guidage automobile, les indications sont en langage naturel : tourner à gauche en face de la grande tour ;
- dans l'édition multimédia il faut établir la cohérence d'un document devant s'exécuter dans le temps et dans l'espace de ses supports ;
- en généralisation cartographique : une représentation trop détaillée du terrain doit être simplifiée en respectant les contraintes antagonistes de lisibilité et fidélité ;
- dans la prévention des risques, un avis de fort Mistral pendant un épisode de sécheresse augmente le niveau d'alerte et la propagation d'un incendie suivra des orientations ou butera sur des obstacles naturels qu'il est important de prévoir ;
- ...etc.

Nouvelles approches.

L'automatisation de ces différents domaines implique que l'on sache représenter des données qualitatives et modéliser les raisonnements que l'on peut faire à leur propos. Les approches qualitatives vont suivre le développement des langages logiques et des procédures de résolution. On peut citer l'intérêt pour les logiques temporelles introduit par Prior puis Rescher qui ne s'est pas démenti jusqu'à ce jour. Dans le domaine de l'intelligence artificielle, il y a eu l'introduction de deux grands formalismes: l'algèbre d'intervalles d'Allen introduit en 1983, le calcul des situations de John McCarthy et le calcul des événements de Robert Kowalski en 1986. Depuis, les activités sur la représentation du temps et de l'espace n'ont cessé de s'amplifier.

* Par exemple, pour situer l'enjeu du domaine, voici deux évaluations récentes :

- le marché européen des SIG a représenté 431 M \$ en 1995 (analyses : Frost & Sullivan);
- le volume d'activité économique (collecte, gestion, utilisation) lié à l'information géographique en Europe est estimé à 10 000 M ECU (analyse European Community, 1996).

Outre les valeurs absolues, ceci veut dire que dans le coût actuel de l'information géographique, le poste logiciel-matériel est encore très faible (5%), le reste étant essentiellement du service (numérisation mise à jour, analyse ...) que l'IA peut contribuer à rendre moins cher et de meilleure qualité.

1. Formalismes de raisonnement temporel et spatial

1.1. Langage de représentation des connaissances spatio-temporelles

Pour représenter le temps ou l'espace, il est nécessaire de se fixer un langage de représentation. Celui-ci n'est pas imposé. Les «espaces» mathématiques mettent en avant différentes notions qui peuvent permettre de caractériser différemment les positions des objets:

- la topologie procure les notions de connexité et d'inclusion,
- le vectoriel considère l'alignement,
- le métrique permet de mesurer des distances entre les objets.

Les informations disponibles dans les applications ne permettent généralement pas de mettre en œuvre directement ces notions : informations incomplètes sur les situations que l'on désire exprimer, test de consistance qui peut être très coûteux. C'est pourquoi on se restreint à des langages qui permettent d'exprimer les caractéristiques nécessaires et d'utiliser les algorithmes adéquats.

Quantitatif ou qualitatif

Les deux approches, quantitative et qualitative, s'opposent dans la supposition de l'existence d'une mesure. On peut aussi opposer métrique à topologique, numérique à symbolique et arithmétique à axiomatique.

Les règles du jeu dans un espace métrique sont connues : elles reposent sur les lois de l'arithmétique. Même lorsque les positions des objets ne sont pas connues avec certitude la manipulation des équations régissant leur comportement est suffisamment diffusée.

Pour l'information symbolique, la publication des travaux de James Allen a eu une grande postérité car elle met à jour un ensemble de règles pour inférer des relations entre objets à partir de relations que personne ne conteste. Un des champs de travaux les plus importants au sein de la représentation symbolique de l'espace porte sur l'approche méréologique, c'est-à-dire analysant les situations en terme de relations de tout à partie. Ceci dit, le numérique et le symbolique font bon ménage dans un grand nombre de systèmes utilisés.

Éléments primitifs

Un second point important consiste à décider quels doivent être les éléments primitifs d'une représentation du temps ou de l'espace.

En ce qui concerne le temps, la discussion tourne rapidement autour d'une unité sans durée, l'instant, assimilable à un point sur une droite, et d'une unité qui dure, l'intervalle, assimilable à un segment de droite. Ce schéma peut-être légèrement compliqué par l'utilisation de manière primitive des «intervalles généralisés» qui constituent une suite d'intervalles disjoints.

En ce qui concerne l'espace, la notion de simplexe dans une représentation topologique semble très prometteuse. Un simplexe est l'élément le plus simple possible dans une dimension particulière : en dimension 0 un point (ou nœud), en dimension 1 un segment (joignant 2 points), en dimension 2 un triangle (joignant 3 segments), en dimension 3 un tétraèdre (joignant 4 triangles)... La représentation de données spatiales topologique peut être complètement exprimée à l'aide de ces simplexes. Par

ailleurs, si certaines coordonnées sont connues, elles peuvent être prises en compte dans la représentation.

1.2. Logiques temporelles

Si la manipulation du temps en intelligence artificielle est souvent une affaire de représentation symbolique, il ne faut pas oublier qu'il y a des recherches très fructueuses en logiques temporelles, un thème partagé avec la preuve de programme (principalement parallèle). Le temps en logique est représenté soit de manière explicite en utilisant une logique classique (c'est le cas des logiques réifiées où la sémantique est axiomatisée et manipulée explicitement), soit de manière implicite dans une logique modale temporelle (où les éléments évoqués plus haut se retrouvent dans les structures sémantiques associées aux systèmes logiques). Si l'on connaît principalement des logiques dont la structure temporelle relève d'une représentation symbolique du temps, il existe des logiques temporelles métriques, qu'elles soient discrètes ou continues.

Dans les systèmes de logique temporelle, les modalités introduites ont souvent des interprétations de type «toujours vrai dans le futur» ou «vrai au moins une fois dans le passé» (logique temporelle minimale de Prior).

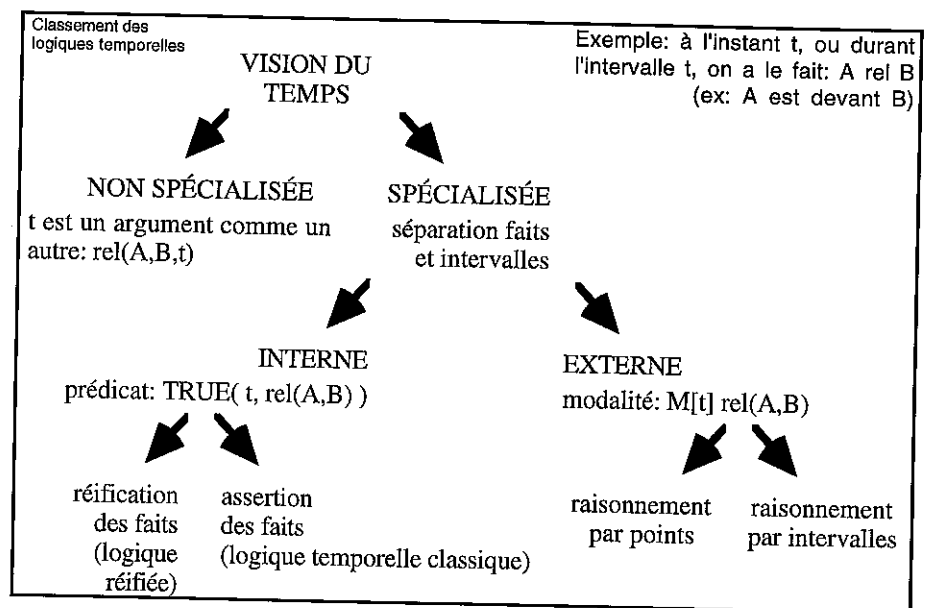


Figure 1: Classification des approches logiques par référence au statut du temps.

L'intégration profonde de l'aspect temporel dans une logique permet d'exprimer des assertions à référence temporelle extrêmement complexes.

Intervalles d'Allen, intervalles généralisés

Un formalisme très utilisé pour le raisonnement temporel est celui d'Allen

[Allen83], dans lequel on raisonne sur des intervalles temporels liés par des relations qualitatives (par exemple, un intervalle peut en chevaucher un autre, sans que l'on ait d'indications sur la durée de chacun d'entre eux). Plus généralement, on peut être amené, par exemple lorsqu'on s'intéresse à des activités répétitives ou à des processus qui comportent des phases de repos et des phases d'activité, à raisonner sur des suites d'intervalles : c'est dans cette optique qu'a été conçu le formalisme des intervalles généralisés.

Logiques du changement, situations et événements

Le calcul des situations est une logique où le temps est réifié. Il axiomatise les notions de temps, de situations et d'actions (logique typée). Les actions y sont instantanées et permettent de débiter des situations particulières. Des axiomes permettent de spécifier comment les actions modifient les situations (et comment les situations peuvent être indifférentes aux actions).

Le calcul des événements fait suite au calcul des situations. Il introduit la notion d'événement - ponctuel - dans le cadre de la programmation logique. Le calcul des événements consiste à spécifier pour chaque type d'événements les périodes dont ils contrôlent le début et celles dont ils contrôlent la fin. À ces calculs est ajoutée la notion de fluent (une action non plus instantanée mais durative et qui peut avoir une influence continue et finie sur les situations).

1.3. Raisonnement spatial qualitatif

L'étude des contraintes dans le domaine de l'information géographique - ou plus généralement de l'information à référence spatiale - est récente mais devient très active. Elle démarre au début des années 1990, dix ans après la "logique temporelle", bénéficie du travail fondamental réalisé par cette dernière et réactive les travaux de la «méréologie» restée assez confidentielle jusqu'alors.

Aujourd'hui on y fait référence essentiellement au travers des algèbres d'Allen, pour les contraintes topologiques associées à une relation d'ordre et à l'algèbre RCC [Randel *et al.*92] pour la topologie dans l'espace à 2 dimensions.

On peut distinguer plusieurs thèmes d'actualité :

- la modélisation de la part d'information spatiale exprimable sous forme de contraintes, c'est le thème du raisonnement spatial qualitatif;
- les algorithmes pour le contrôle et la satisfaction de ces contraintes : les CSP spécialisés, le multi-agents ou les algorithmes dédiés (cf. 2.3);
- l'utilisation de contraintes pour la représentation d'information descriptive de nature infinie, comme c'est le cas dans les bases de données contraintes (cf. 2.3).

Plusieurs axes se développent à partir de cette base :

- les approches "ontologiques" explorent les représentations formelles de modèles cognitifs ou linguistiques de l'espace et qui participent à la création de théories (ensembles d'axiomes et d'opérateurs) capables d'accepter de tels modèles : travaux sur les diverses notions de contact [Asher *et al.*95];

- les approches "géométriques" s'appuient sur les contraintes exprimables par les modèles géométriques des variétés topologiques classiques de l'espace 2D (point, ligne, surface) et cherchent à les axiomatiser. La recherche de convergences avec

l'approche précédente est également devenue d'actualité. Citons ici le treillis des algèbres de contraintes topologiques, la représentation de relations locales [Jeansoulin97], les problèmes d'agencement spatial.

L'algèbre des 13 relations de Allen fait apparaître trois familles sous-jacentes de relations qui nécessitent respectivement : la relation d'ordre, de partage, de contact. Il est intéressant d'étudier séparément ou 2 à 2 ces familles. L'ensemble constitue un treillis de 8 algèbres ou "sous-algèbres". Les restrictions de l'ensemble d'axiomes d'Allen pour chaque sous-algèbre est défini. Une intuition est donnée dans chaque cas pour les types de modèles possibles : utilisation pour la représentation de cadres spatiaux rencontrés en information géographique (cadastre, amont-aval ...).

- les approches "non-monotones" cherchent à représenter les données spatiales incertaines ou partiellement spécifiées, sous forme de contraintes : l'approche par granularité [Euzenat95] est une réponse possible, la représentation par les modalités spatiales [Jeansoulin95] peut aussi aider à circonscrire ce difficile problème.

Les logiques modales sont utilisées pour leur pouvoir expressif plus "lisible" et comme passerelle vers le raisonnement non-monotone des défauts, qui a également fait l'objet d'une représentation en logique modale. Les trois opérateurs modaux concernés et leurs duaux, sont directement associés aux trois relations de base citées ci-dessus: contact, partage et ordre.

De nombreux formalismes sont en cours de développement. Ils diffèrent en particulier par le type de relation qu'ils s'attachent à représenter : directions (le campus est au nord de la ville), topologie (le campus jouxte le parc d'attractions), distance qualitative (le laboratoire est à proximité du restaurant).

1.4. Sémantique linguistique du temps et de l'espace

L'utilisation du langage naturel pour communiquer l'information temporelle et spatiale implique une connaissance approfondie de la façon dont ces données sont représentées dans le langage et dont elles sont mises en œuvre dans des tâches spécifiques.

De très nombreux travaux en linguistique théorique aussi bien que computationnelle, ont étudié la façon dont la langue exprime les relations temporelles et aspectuelles au niveau de la phrase. L'étude du niveau textuel, moins développée, exige que soient intégrés des éléments qui relèvent également d'aspects pragmatiques et rhétoriques.

2. Inférences spatio-temporelles, algorithmes

La représentation d'une situation particulière dans un formalisme choisi permet de stocker les informations en machine. La mise en œuvre du raisonnement doit permettre de détecter les situations contradictoires ou d'améliorer l'information de position respective des entités ou d'établir des scénarios.

2.1. Calculs de dates, calculs de coordonnées,...

Dans le cadre numérique, l'inférence de position se caractérise par un calcul de date

(absolue ou réactive) ou un calcul de coordonnée pour un point. Ces calculs peuvent être flexibles (ex.: date au plus tôt/tard, en aval de, entre, à telle distance de, pourcentage de surface ...).

De tels calculs sont intensifs dans les domaines des bases de données, qu'elles soient spatiales ou temporelles. Ils se résolvent en général par des techniques mathématiques classiques mais dont la complexité n'est pas indifférente [Ledreux96].

2.2. Les bases de données contraintes

Le modèle relationnel de bases de données a la vie dure. Sa simplicité et sa robustesse logique lui garantissent une longévité que le modèle orienté objet a renoncé à contester en s'adaptant plutôt à son pouvoir expressif. La voie de conciliation entre les deux passe en quelque sorte par l'introduction de logiques typées (sorted logics) qui étendent la gamme des opérateurs sur les domaines du produit cartésien qui contient les relations, en spécialisant ces domaines.

Ainsi la représentation d'objets de nature infinie, par exemple une partie du plan réel $\mathbb{R}^2$, était rendue possible par le report de la géométrie associée, à l'intérieur de ces opérateurs. L'archétype d'une telle approche est le modèle Arc/Info de la société ESRI, largement présente sur ce marché mondial : Arc gère la géométrie, Info gère la base de données. Même si des modèles plus intégrés on vu le jour, aucun n'est un modèle logique unifié : l'expression ou la satisfaction d'une contrainte dans la partie géométrique doit être vérifiée, voire forcée, dans la partie relationnelle, ou vice versa.

Une nouvelle approche voit le jour depuis 1990 [Kanellakis *et al.*90], basée sur un modèle de représentation des données par les contraintes. Un peu comme PrologIV généralise PrologIII à des domaines infinis (les réels), cette approche généralise le modèle relationnel aux domaines infinis représentables par des ensembles finis de contraintes. Le modèle relationnel se contente de la contrainte d'égalité. Par exemple la représentation d'une partie du plan réel $\mathbb{R}^2$, sous forme polygonale, s'exprime par des contraintes en nombre fini, proportionnel au nombre de sommets (égal dans le cas convexe). Cet exemple est suffisamment général pour attirer l'attention d'un nombre croissant de chercheurs [Grumbach *et al.*95].

2.3. Approche optimisation

Une approche multi-agents est adoptée dans un cadre d'optimisation numérique (SMA-Réactifs pour la résolution de problèmes spatialisés) : elle consiste à segmenter en un ensemble d'agents réactifs (automates complexes adaptatifs) les éléments spatiaux que l'on veut localiser ou déformer. Chaque agent a un comportement autonome mais doit respecter des contraintes entre agents (relatives à la forme recherchée) et externes (relatives à la position). Lors d'une activation parallèle, il y a convergence vers un état stable traduisant une solution au problème [Ferrand96, Ferrand *et al.*97].

C'est le cas de la généralisation cartographique où chaque objet présent sur la carte est typé (une route, un édifice, etc.) et connaît ses voisins qui exercent des pressions extérieures (attraction de la part d'un espace vide, répulsion de la part d'un voisin essayant de se déplacer vers lui) [Baeijs *et al.*96].

D'autres approches d'optimisation sont également étudiées : réseaux neuro-mimétiques [Gallone *et al.*96], chaînes de Markov à états cachés [Mari96].

2.4. Inférence de relations, consistances, CSP

La déduction se place très souvent dans le cadre de la résolution - satisfaction - de contraintes symboliques (CSP).

Les problèmes de complexité des CSP temporels ont été étudiés très tôt en intelligence artificielle. Ainsi, on sait que le test de satisfiabilité dans l'algèbre de points est quadratique. On sait aussi que l'algorithme de fermeture transitive de James Allen est polynomial, qu'il est incomplet et que le test de satisfiabilité dans l'algèbre d'intervalles est NP-complet. Beaucoup de travaux se sont penchés sur la restriction de l'algèbre d'intervalles (il y a 8192 disjonctions de relations) permettant d'obtenir un temps polynomial. Cela a été prouvé pour les sous-ensembles des relations convexes (83 relations), pointisables (187 relations) et ORD-Horn (868 relations) dont on sait que c'est la plus grande classe contenant les 13 relations initiales [Nebel *et al.* 95] [Ligozat 96a] [Ligozat 96b] [Bessière *et al.* 96b]. D'autres travaux ont porté sur l'amélioration de l'efficacité de l'algorithme de fermeture transitive [Bessière 96a] ou sur l'utilisation de symétries.

Notons aussi l'utilisation de fonctions caractéristiques en logique temporelle réifiée [Bouzid *et al.* 95b] et des ATMS temporels [Bouzid *et al.* 94].

Une tendance émergente dans les applications depuis quelques années est l'utilisation d'un mélange de contraintes numériques et symboliques sur le modèle des «temporal CSP» où les contraintes sont restreintes aux relations pointisables. Voir le modèle TemPro de Nancy [Mouhoub *et al.* 96], l'utilisation des réseaux causaux [Bouzid *et al.* 96].

D'autre part, une description des intervalles et intervalles généralisés sous forme de mots temporels a été réalisée [Schwer97], associant à chaque contrainte temporelle un langage rationnel. Cette approche permet de maintenir globalement toutes les contraintes et rien que les contraintes avec des résultats comme : un ensemble de contraintes est inconsistent si et seulement si le langage associé est vide. Des transducteurs rationnels, permettant de calculer l'union et l'intersection de deux chaînes d'intervalles datés en temps linéaire ont été développés.

3. Applications

Description d'itinéraires

Un texte sert de base à l'exécution d'une tâche de nature spatiale, on cherche à : spécifier un système de génération automatique de ce type de discours ; étudier les connaissances nécessaires à la production de croquis schématiques représentant tout ou partie d'un itinéraire ; mettre en évidence les besoins de l'application que représente la description d'itinéraires en termes de représentation et de raisonnement.

Guidage d'agents dans un monde virtuel

Traitement des informations spatio-temporelles perçues par un agent cognitif plongé dans un monde virtuel. L'agent cognitif reçoit des indications en langage naturel qui l'aident à suivre un itinéraire dans cet environnement.

Application à l'enseignement des langues

On examine la relation entre les expressions spatiales et les connaissances

syntactiques, sémantiques et pragmatiques qu'elles dénotent, dans le cadre d'une description de scène ou de dialogue spatial.

Généralisation cartographique (collaboration avec l'IGN)

Production de cartes à partir de bases de données géographiques, en respectant des contraintes d'importance entre les types d'objets représentés. Cela permet de fournir des cartes thématiques selon le choix d'un "point de vue". Le problème afférent est celui de l'extraction et l'organisation de données spatiales en fonction de besoins d'information. Ce problème est abordé à la fois avec des outils SMA et des algorithmes traditionnels (regroupement du bâti).

Aide à la localisation d'aménagements (collaboration CERREP S.A.)

Fournit les fuseaux de moindre impact pour une infrastructure linéaire. Il prend en compte les cartes de sensibilité fournies par l'expert, les données structurelles du projet, et permet d'explorer les solutions vues par différents acteurs en présence. Il détermine la sensibilité des solutions à un changement de point de vue et fournit les fuseaux de moindre risque. Le portage Java pour une intégration Internet est en cours.

Aide à la négociation de projets en aménagement

Issu des études de faisabilité du projet européen en Télématic GEOMED-F (Geographical Mediation System), ce système vise l'assistance à des négociations décentralisées, asynchrones et prolongées. Il doit maintenir dans le temps un projet avec ses acteurs et événements, permettre l'accès aux informations spatiales ou non, l'échange et l'aide à la construction de messages, garantir la cohérence spatiale, et être utilisable par chacun selon ses droits.

Elaboration de cartes pédologiques (collaboration 3IG°)

Système d'information géographique "réactif" pour l'élaboration de cartes pédologiques à partir de relevés ponctuels. L'affectation d'un type de sol et la détermination de son extension spatiale sont des opérations qui répondent à des contraintes numériques (éloignement) et symboliques (rupture de pente). L'interpolation est abordée comme un processus mixte : décision en fonction de contraintes ou par maximum de vraisemblance probabiliste.

"Cadres spatiaux" pour les systèmes d'information géographique

La notion de partition spatiale (ex.: découpage administratif), la notion de territoire (limites floues se chevauchant), la notion de bassin versant (ordre partiel sur l'espace). Le cas des partitions imbriquées est également un cas d'ordre superposé au spatial. Tous ces cas sont traités sur les sommets adéquats du treillis d'algèbre contact - partie - ordre.

Base de connaissances et interprétation d'images pour la recherche agronomique.

L'espace est considéré à la fois comme support de l'activité agricole et comme résultat de cette activité. Il est décrit à différentes échelles spatiales (parcelle, exploitation, commune, région), à partir de sources de données différentes (cadastre, photographies aériennes, enquêtes de terrain, cartes, imagerie satellitaire) et par des experts distincts. L'interprétation d'images fournit à la fois des zones par classification et des indicateurs numériques. La simulation de décisions d'assolements est par contre un résultat symbolique en rapport avec la description qu'en font les agricul-

teurs. L'espace est divisé en unités homogènes du point de vue agronomique, qui sont les données de base du raisonnement. La modélisation qualitative de l'espace permet de prendre en compte à la fois des données bruitées et l'information symbolique d'origines diverses. Les relations spatiales sont de 3 types : topologique, de distance ou d'orientation. Dans le langage Yafool : les relations sont représentées dans une hiérarchie ; elles possèdent des méthodes de calcul et des propriétés (transitivité, incompatibilité, etc.), qui permettent de déduire de nouvelles relations à partir de relations déjà calculées [LeBer *et al.*97, Mangelinck *et al.*95,96].

Bibliographie

- [Allen 83] James Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM* 26(11):832-843, 1983
- [Asher *et al.*95] N. Asher, L. Vieu. Toward a geometry of Common Sense: a semantics and a complete axiomatization of Mereotopology. In: *Proceedings IJCAI'95* (Montréal, Canada), pp. 846-852
- [Baeijs *et al.*96] C. Baeijs, Y. Demazeau, L. Alvares. SIGMA : Application of Multi-Agent Systems to Cartographic Generalization. In «Agents Breaking Away», 7th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, IPO, Eindhoven, The Netherlands, Van de Velde & Perram, eds, LNAI 1038, pp. 163-176, Springer Verlag, Germany, January 1996.
- [Bessiere96a] C. Bessière. A simple way to improve path consistency processing in interval algebra networks. In: *Proceedings AAAI'96*, pp. 375--380. Portland OR, 1996.
- [Bessière *et al.*96b] C. Bessière, A. Isli et G. Ligozat. Global consistency in interval algebra networks: tractable subclasses. In: *Proceedings ECAI'96*, pp. 3-7. Budapest, Hungary, 1996.
- [Bouzig *et al.*94] M. Bouzig, F. Charpillet, P. Marquis and J-P. Haton. Assumption-based Truth Maintenance in presence of temporal assertion. In *Proceedings of 6th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pages 492-498, 1994.
- [Bouzig *et al.*95a] M. Bouzig et P. Ladkin. Rules for simple temporal reasoning. In: *Proceedings of TIME-95, International Workshop on Temporal Representation and Reasoning*, pp. 73-88.
- [Bouzig *et al.*95b] M. Bouzig and A. Ligeza, Temporal Logic based on Characteristic Functions. In C. Rolliger I. Wachsmuth and W. Brauer, ed., *Advances in Artificial Intelligence. 19th Annual German Conference on Artificial Intelligence*, volume 981 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 221-232. Springer Verlag, 1995.
- [Bouzig *et al.*95c] M. Bouzig et A. Ligeza. A temporal representation based on characteristic functions. In: *Proceedings of the 8th Florida Artificial Intelligence Research Symposium, FLAIRS'95*, pp. 167-172.
- [Bouzig *et al.*96] M. Bouzig and A. Ligeza, Temporal Causal Networks for Simulation and Diagnosis. In *proceedings of the second IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems, ICECCS'96*, pages 458-465, 1996.
- [Bouzig *et al.*97] M. Bouzig, P. Ladkin, Simple Reasoning with Time-dependent Proposition. *International Journal of Interest Group in Pure and Applied Logic*

- (IGPL). To appear.
- [Euzenat95] J. Euzenat. An algebraic approach to granularity in qualitative time and space representation. In: Proceedings IJCAI'95, pp. 896-900, Montréal, Canada.
- [Ferrand96] N. Ferrand, "Modelling and Supporting Multi-Actor Spatial Planning Using Multi-Agent Systems", 3rd NCGIA conference on GIS and Environmental Modelling, Santa Fe, USA, January 1996.
- [Ferrand *et al.*97] N. Ferrand, Y. Demazeau & C. Baeijs, "Systèmes Multi-Agents Réactifs et Résolution de Problèmes Spatialisés", *Revue d'Intelligence Artificielle*, Hermès, 1997, à paraître.
- [Gallone *et al.*96] J.-M. Gallone and F. Charpillet. Hopfield Neural Network for Scheduling non Preemptive Tasks. Proc. of 12th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI,96). Budapest, Aout 96.
- [Grumbach *et al.*95] S. Grumbach, Z. Lacroix. Using Constraint Databases to represent Geographic Information. Workshop DBPL'95, Data Base Programming Languages, 1995.
- [Jeansoulin *et al.*95] Jeansoulin (R.), Mathieu (C.). A Modal Logic for Spatial Hypothesis. JEC'95, First Joint European Conference on GIS, The Hague, NL, march 1995.
- [Jeansoulin97] Jeansoulin (R.). A Constraint Oriented Model for Spatio-Temporal Data (a constructive approach). soumis à SSD'97, 9th Symposium on Spatial Databases, Berlin, july 1997.
- [Kanellakis *et al.*90] Kanellakis, G. Kuper et P. Revesz. Constraint query languages. In: Proc 9th ACM Symp. on Principles of Database Systems, pp. 299-313, Nashville, USA, 1990.
- [LeBer *et al.*97] Le Ber (F.) et Benoit (M.). Un modèle d'organisation de l'occupation d'un territoire agricole : cas d'un village du Plateau Lorrain. {soumis à agronomie}.
- [Ledreux96] Ledreux (C.). Bases de Données Géographiques Réactives: le prototype SAPRISTI 2. Thèse de doctorat, Université de Provence, juillet 1996.
- [Ligozat96a] Ligozat (G.). A new proof of tractability for ord-horn relations. In: Proceedings of AAAI-96, pp. 395--401.
- [Ligozat96b] Ligozat (G.). "Corner" relations in Allen's algebra. In: Working Notes of the AAAI-96 Workshop on Spatial and Temporal Reasoning, pp. 61-65.
- [Mangelinck *et al.*95] L. Mangelinck, F. Le Ber, S. Tabbone et J.-P. Deffontaines. Reconnaissance de paysages modèles sur images satellitaires. In: Colloque Étude des phénomènes spatiaux en agriculture}, éd. par Christophe (C.), Lardon (S.) et Monestiez (P.). INRA, pp. 33-45. La Rochelle, France, décembre 1995.
- [Mangelinck *et al.*96] L. Mangelinck, F. Le Ber et S. Tabbone. Étude pour la reconnaissance de paysages agricoles sur des images satellitaires. In: 10ième Congrès Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle, AFCET, pp. 53-59. Rennes, France, janvier 1996.
- [Mari96] J.-F. Mari, Perception de signaux complexes et interaction homme-machine, Habilitation à diriger des recherches, Université Henri Poincaré, Nancy, 1996.
- [Mouhoub *et al.*96] M. Mouhoub, F. Charpillet et J.P. Haton. Comparison of Constraint propagation techniques for Interval-based temporal Reasoning. AAAI-96 Workshop on Spatial and Temporal Reasoning, 1996. Portland.
- [Nebel *et al.*95] Bernhard Nebel, Hans-Jürgen Burckert. Reasoning about temporal relations: a maximal tractable subclass of Allen's interval algebra. *Journal of the*

ACM 42(1):43-66, 1995

[Révault94] J. Révault. Eléments sur l'algèbre d'intervalles de Allen. RJCIA, Marseille, 1994.

[Révault96] J. Révault. Une modélisation par le graphe de la relation "meet" pour traiter des contraintes temporelles exprimées à l'aide d'intervalles. Thèse d'Université - Nantes, novembre 1996.

[Schwer97] S. Schwer. Dépendances temporelles : les mots pour le dire. Rapport interne LIPN, Villetaneuse, 1997.

Pour une information sur les activités des équipes du groupe Kanéou et d'autres équipes travaillant sur des sujets connexes, vous pourrez consulter le «Dossier Raisonnement temporel et spatial», coordonné par Christian Bessière et Jérôme Euzenat, à paraître dans le Bulletin de l'AFIA n° 29 (mi 1997).