

*Projet orion**Systemes intelligents réutilisables et vision
cognitive**Sophia Antipolis*

THÈME 3A



*R*apport
*d'**A*ctivité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	1
2.1.1. Axes de recherches	1
2.1.2. Relations internationales et industrielles	2
3. Fondements scientifiques	2
3.1. Introduction	2
3.2. Pilotage de programmes	2
3.3. Plate-forme logicielle de développement de SBC	3
3.4. Interprétation automatique d'images	6
4. Domaines d'application	7
4.1. Panorama	7
4.2. Imagerie astronomique	7
4.3. Vidéosurveillance	8
4.4. Reconnaissance de pollens	8
4.5. Détection Précoce et Reconnaissance de pathologies végétales	9
5. Logiciels	10
5.1. Ocapì	10
5.2. Pegase	10
5.3. VSIP	10
6. Résultats nouveaux	10
6.1. Pilotage de programmes	10
6.1.1. Pilotage et calage de codes	10
6.1.2. Etude de nouveaux moteurs pour le séquençement	11
6.2. Plate-forme logicielle de développement de SBC	12
6.2.1. Vérification de moteurs	13
6.3. Interprétation automatique de séquences d'images	13
6.3.1. Gestion des objets du décor	14
6.3.2. Elimination des ombres	14
6.3.3. Repositionnement des régions mobiles dans la scène 3D	14
6.3.4. Classification de formes latérales	15
6.3.5. Fusion de données à partir de plusieurs caméras	16
6.3.6. Extension et amélioration du suivi d'individus sur une longue durée	16
6.3.7. Reconnaissance de comportements à l'aide d'automates	18
6.3.8. Apprentissage et reconnaissance de scénarios à l'aide d'un réseau bayésien récurrent pour l'interprétation vidéo.	20
6.3.9. Reconnaissance de scénarios à base de contraintes pour l'interprétation vidéo	22
6.4. Reconnaissance d'objets complexes	24
6.4.1. Etude de la formation de l'image d'un objet microscopique 3D translucide	26
6.4.2. Interprétation automatique d'images de végétaux pour le diagnostic précoce de pathologies	27
6.4.3. Acquisition de connaissances pour la reconnaissance d'objets tridimensionnels	28
7. Contrats industriels	28
8. Actions régionales, nationales et internationales	29
8.1. Actions régionales	29
8.2. Actions nationales	29
8.2.1. Projet CASSIOPEE	29
8.2.2. Projet MedLab	29

8.3.	Actions financées par la Commission Européenne	29
8.3.1.	Réseau ECVision	30
8.3.2.	Projet ADVISOR	30
8.4.	Relations bilatérales internationales	30
8.4.1.	Europe	30
8.4.2.	Afrique	30
8.4.3.	Amérique du Nord	30
9.	Diffusion des résultats	30
9.1.	Animation de la communauté scientifique	30
9.2.	Enseignement universitaire	30
9.3.	Thèses en cours	31
10.	Bibliographie	31

1. Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Monique Thonnat [DR Inria]

Responsable permanent

Sabine Moisan [CR Inria]

Assistante de projet

Irène Urso [Assistante de projet Inria jusqu'en février]

Catherine Martin [Assistante de projet Inria à partir de février]

Personnel Inria

François Brémont [CR]

Annie Ressouche [CR collaborateur membre de l'action Tick]

Ingénieurs experts

Binh Bui

Alain Boucher [jusqu'à fin août]

Frédéric Cupillard

Magali Mazière

Christophe Tornieri [depuis octobre]

Hélène Priéto [Ingénieur associé, jusqu'à fin août]

Personnel Bull

Alberto Avanzi [Ingénieur Bull]

Chercheurs doctorants

Nicolas Dey [boursier Région, université de Nice Sophia Antipolis]

Benoit Georis [Université Catholique de Louvain (UCL), Belgique]

Céline Hudelot [boursier Région, université de Nice Sophia Antipolis]

Nicolas Maillot [boursier INRIA, université de Nice Sophia Antipolis, à partir de novembre]

Jean-Philippe Vidal [boursier CEMAGREF, université de Toulouse]

Thinh Van Vu [boursier INRIA, université de Nice Sophia Antipolis]

Collaborateur extérieur

Jean-Paul Rigault [Professeur, université de Nice Sophia Antipolis]

Professeur Invité

Ram Nevatia [Professeur University of South California, sabbatique en octobre]

Stagiaires

Fabien Tricoire [DEA Informatique UNSA de mars à juillet]

Nicolas Moenne-Loccoz [DEA Informatique UNSA de mars à juillet]

Nicolas Maillot [Université de Technologie de Compiègne de février à août]

Christophe Tornieri [ESSI-UNSA d'avril à septembre]

2. Présentation et objectifs généraux

Orion est une équipe pluridisciplinaire, à la frontière des domaines de la vision par ordinateur, des systèmes à base de connaissances et du génie logiciel.

Le projet Orion s'intéresse aux recherches sur les systèmes *intelligents réutilisables* et sur la *vision cognitive*.

2.1.1. Axes de recherches

Plus précisément, nos recherches portent sur la conception de systèmes intelligents en utilisant des techniques de représentation des connaissances, d'apprentissage et de raisonnements.

Nous nous intéressons à deux niveaux de réutilisabilité : la réutilisabilité de programmes et la réutilisabilité d'outils de conception de systèmes à base de connaissances. Nous proposons une approche originale par des techniques de *pilotage de programmes* qui permettent de planifier les modules (ou programmes) et de contrôler leur exécution. Nos recherches portent sur la représentation des connaissances sur les programmes et leur utilisation ainsi que sur les raisonnements de planification. De plus, en nous appuyant sur les résultats de l'état de l'art en génie logiciel et langages à objet nous proposons une plate-forme afin de faciliter la construction de systèmes à base de connaissances.

En vision cognitive nous étudions deux types d'*interprétation automatique d'images* : l'interprétation de séquences video et la reconnaissance d'objets complexes. Nos recherches portent donc sur la représentation des connaissances sur les objets, les événements et les scénarios à reconnaître, ainsi que sur les raisonnements utiles pour l'interprétation comme la catégorisation pour la reconnaissance d'objets complexes.

2.1.2. Relations internationales et industrielles

- Participation au réseau d'excellence européen ECVision, de type IST.
- Participation au projet européen IST ADVISOR pour l'interprétation vidéo de scènes de métro avec Racal Research (UK), Bull (France), The University of Reading (UK), King's College (UK) et Vigitec (Belgique).
- Convention de recherches avec la RATP en interprétation video.
- Coopération avec l'ENSI, Unité de recherche GRIFT/ASI de Tunis (Tunisie) dans le cadre des coopérations franco-tunisiennes Inria/Institut Français de Coopérations.

3. Fondements scientifiques

3.1. Introduction

Afin de faciliter la construction de systèmes à base de connaissances (SBC), nous développons des moteurs indépendants d'une expertise particulière, mais cependant *dédiés* à une classe de problèmes. Les classes de problèmes étudiées sont le pilotage automatique de programmes et l'interprétation d'images. Le développement d'outils dédiés fournit des systèmes bien adaptés à l'expression des connaissances et largement utilisables dans différents domaines d'applications.

Pour construire de tels moteurs, il est nécessaire de se baser sur une modélisation des connaissances et des méthodes de résolution de problèmes qui interviennent dans les classes de problèmes étudiées.

3.2. Pilotage de programmes

Mots clés : *pilotage de programmes, planification, réutilisation de programmes.*

Participants : Sabine Moisan, Monique Thonnat.

Glossaire

Le pilotage de programmes a pour but d'automatiser la réutilisation de logiciels complexes (programmes de bibliothèques de traitement d'images par exemple), en proposant des techniques originales pour planifier des traitements et contrôler leur exécution.

Le pilotage de programmes est un domaine de recherches pour lequel les techniques des systèmes à base de connaissances sont bien adaptées. En effet, ces techniques répondent bien au double objectif du pilotage qui est, premièrement, d'automatiser l'utilisation de logiciels complexes et, deuxièmement, de capitaliser la connaissance sur l'utilisation de programmes dans les entreprises. Nous étudions le problème de la modélisation des connaissances spécifiques au pilotage de programmes. Cette modélisation sert à définir, d'une part, des langages de description et des méthodes de vérification de bases de connaissances, et, d'autre part, des moteurs dédiés au pilotage de programmes. Enfin, nous réalisons des prototypes de moteurs développés

grâce à une plate-forme logicielle dont le but est de servir de support au développement de différents systèmes de pilotage.

Le *pilotage de programmes* a pour but d'automatiser l'utilisation de logiciels complexes (programmes de bibliothèques de traitement d'images par exemple). Nous proposons pour cela des techniques originales pour planifier des traitements et contrôler leur exécution. Un nombre croissant de travaux en pilotage de programmes sont issus de domaines techniques et applicatifs. Ces activités de recherche sont souvent motivées par un domaine d'application particulier (tel que le traitement d'images, le traitement du signal ou le calcul scientifique).

Notre approche se base sur les techniques des systèmes à base de connaissances (SBC).

Un système à base de connaissances pour le pilotage de programmes est généralement constitué :

- d'une bibliothèque de programmes exécutables adaptés à un domaine d'application (par exemple : traitement d'images médicales),
- d'une base de connaissances recueillant le savoir-faire d'utilisation des programmes de la bibliothèque (choix, ordonnancement, paramétrage, exécution, évaluation des résultats, etc.),
- d'un moteur de pilotage qui choisit, ordonne et exécute les programmes de la bibliothèque en fonction de l'objectif et des données de l'utilisateur et des connaissances contenues dans la base de connaissances,
- d'une interface permettant à un utilisateur d'exprimer un objectif à atteindre sur des données particulières, de suivre l'exécution des traitements et de visualiser leurs résultats.

Modélisation du pilotage

Afin de mieux comprendre la problématique du pilotage de programmes, d'améliorer la qualité de l'utilisation des programmes existants et d'élargir leurs domaines d'applications, les connaissances impliquées dans le processus de prise de décision de l'expert doivent être décrites de manière structurée et indépendante de l'implantation. Ceci peut être atteint en appliquant des techniques de modélisation des connaissances. Nous étudions dans quelle mesure les compétences sur le pilotage de programmes peuvent être représentées explicitement. Une description des connaissances de pilotage de programmes permet le transfert des compétences de l'expert qui a développé la bibliothèque vers des utilisateurs novices. Nous avons modélisé les concepts et les mécanismes du pilotage de programmes tout d'abord pour OCAPI [29], puis pour les moteurs récemment développés. Pour cela nous avons utilisé le modèle d'expertise de KADS. Ce travail de modélisation a été amélioré en se basant sur des techniques de réutilisation de composants logiciels (génie logiciel), des techniques de planification (intelligence artificielle), des systèmes existants de pilotage de programmes et sur notre expérience pratique sur des applications comme la détection d'obstacles dans des scènes routières, l'imagerie médicale et la classification de galaxies.

Langage de description de bases de connaissances en pilotage. Dans la plate-forme LAMA, nous avons développé le langage YAKL (Yet Another Knowledge base Language) qui permet de décrire le contenu d'une base de connaissances, sans préjuger du langage d'implémentation cible (Lisp ou C++). Ce langage sert à la fois de format de stockage commun à tous les moteurs de la plate-forme et de langage d'écriture ou de consultation de bases de connaissances. YAKL offre une syntaxe proche de la façon dont s'exprime l'expert pour décrire par exemple, les opérateurs, les buts, les règles de production qui constituent une base de connaissances en pilotage. Des *outils de vérifications* lui sont connectés et le code en langage d'implémentation cible est généré automatiquement.

3.3. Plate-forme logicielle de développement de SBC

Mots clés : *frameworks, bibliothèques, réutilisation de composants, génie logiciel.*

Participants : Sabine Moisan, Annie Ressouche, Jean-Paul Rigault.

Glossaire

La plate-forme logicielle LAMA fournit un environnement unifié pour construire non seulement des bases de connaissances expertes, mais aussi des variantes de moteurs et des outils annexes. Elle regroupe des boîtes à outils pour construire et adapter tous les éléments logiciels nécessaires à la réalisation de systèmes à base de connaissances.

La plate-forme logicielle LAMA permet la réutilisation des éléments logiciels nécessaires à la réalisation de systèmes à base de connaissances (moteurs d'inférence, interfaces, langage de description des connaissances, etc.). Elle regroupe des boîtes à outils pour construire et adapter tous ces éléments. La plate-forme permet la construction de systèmes de pilotage aussi bien que d'interprétation automatique et facilite le couplage des raisonnements de pilotage de programmes et d'interprétation d'images.

La construction d'outils dédiés à une classe de problèmes particulière (comme le pilotage de programmes) offre deux avantages : d'une part, focaliser les modèles de connaissances fournis par les outils sur les besoins de la classe de problèmes et, d'autre part, fournir des formalismes unifiés et communs aux bases de connaissances d'une même classe de problèmes. Nous souhaitons aller plus loin et faciliter aussi la *réutilisation des éléments logiciels* composant un système à base de connaissances (moteurs d'inférence, interfaces, langage de description des connaissances, etc.). C'est dans ce but qu'a été développée la plate-forme logicielle LAMA [34], afin de servir de support au développement rapide de systèmes à base de connaissances. Sa conception s'est appuyée sur des techniques avancées issues du génie logiciel ou des langages à objets. La plate-forme fournit un environnement unifié pour construire non seulement des bases de connaissances expertes, mais aussi des variantes de moteurs et des outils annexes. Elle regroupe des boîtes à outils pour construire et adapter tous les éléments logiciels nécessaires à la réalisation de systèmes à base de connaissances. Ainsi, il est possible d'adapter facilement ces éléments à la tâche de l'expert. Ces boîtes à outils sont complémentaires mais indépendantes, de façon à pouvoir modifier, voire ajouter ou retirer un outil sans modifier le reste. La plate-forme est conçue pour permettre la construction de systèmes de pilotage aussi bien que d'interprétation automatique. Un autre objectif de la plate-forme est de pouvoir facilement coupler des raisonnements de pilotage de programmes et d'interprétation d'images.

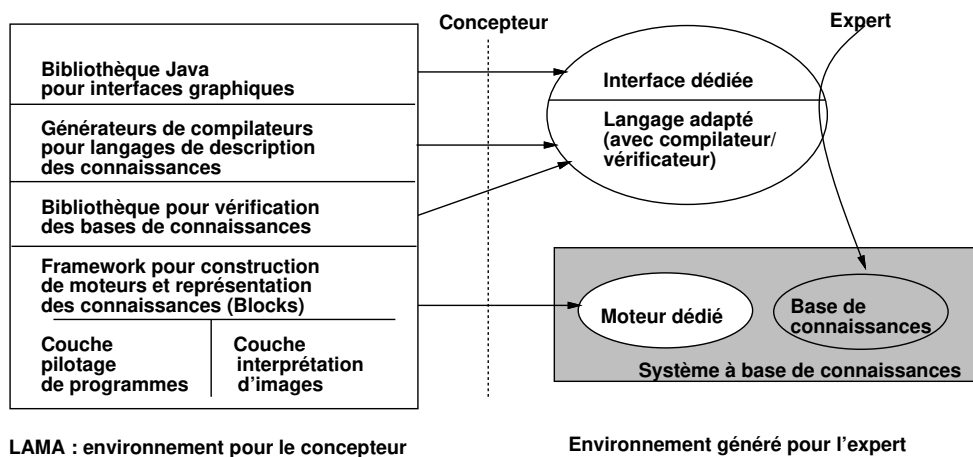


Figure 1. L'architecture de LAMA et les outils offerts pour construire des moteurs, décrire des bases de connaissances, les vérifier et les visualiser

La plate-forme (voir figure 1) comprend principalement une bibliothèque de composants réutilisables et extensibles (un *framework*) pour construire des moteurs (de pilotage de programmes par exemple), des outils pour en vérifier le comportement, des générateurs de compilateurs pour des langages de description de base de

connaissances (qui ont permis de créer le langage YAKL pour le pilotage et SYKL pour la catégorisation), une bibliothèque pour la construction d'outils de vérification de base de connaissances et une bibliothèque pour la construction d'interfaces graphiques. Les principes de ces différentes boîtes à outils sont détaillés ci-dessous.

Framework pour les moteurs. BLOCKS (Basic Library Of Components for Knowledge-based Systems) est un « framework » (ou « architecture préfabriquée ») offrant des composants réutilisables et adaptables pour les concepteurs de générateurs de SBC. BLOCKS comprend, d'une part, des structures représentant les concepts intervenant dans les SBC en général - et aussi dans les tâches de pilotage de programmes et de catégorisation-, et, d'autre part, des instructions nécessaires à la description des stratégies de raisonnement. Ceci facilite la construction de moteurs ou de variantes de moteurs en permettant de décrire leurs stratégies de raisonnement à un niveau abstrait, plus simplement et plus rapidement qu'avec un langage de programmation. BLOCKS fournit ainsi au concepteur des primitives de description des comportements d'un moteur de système à base de connaissances à un haut niveau d'abstraction et permet de représenter de façon uniforme des concepts abstraits, dont le concepteur pourra définir des variantes concrètes, le plus indépendamment possible d'un langage de programmation. Ces composants fournissent une représentation qui, tout en étant opérationnelle, se situe à un niveau d'abstraction proche du niveau du dialogue entre le concepteur et l'expert. Pour le concepteur, la conformité entre l'implantation et le modèle conceptuel est ainsi facilitée. De plus, les modifications des moteurs sont simplifiées en cas d'évolution des spécifications, des besoins ou des contraintes. Cette approche permet aussi une vision unifiée de différents moteurs et fournit une base commode de comparaison entre stratégies de raisonnement.

Vérification des moteurs

En nous plaçant du point de vue du génie logiciel, nous souhaitons associer au framework des outils de vérification, dans le but de fournir des environnements conviviaux et sûrs pour la conception de moteurs de SBC. Cette vérification porte donc sur les composants du framework BLOCKS, qui doivent pouvoir être réutilisés de manière sûre. Nous nous sommes tournés pour cela vers des techniques issues du *model-checking*. La définition d'une part d'un modèle, pour exprimer le comportement des composants et, d'autre part, d'opérations sur ce modèle traduisant uniquement des extensions valides nous donnera un cadre pour faire des preuves et des simulations de moteurs.

Vérification des bases de connaissances

Le problème de la vérification de systèmes à base de connaissances est important pour assurer leur robustesse. Nous avons choisi de nous appuyer non seulement sur les propriétés des modes de représentation des connaissances utilisés dans les SBC (schémas et règles), mais aussi sur le modèle sur lequel ces systèmes sont basés. Nous étudions des systèmes à base de connaissances construits grâce à l'environnement de développement fourni par la plate-forme LAMA qui intègre actuellement une modélisation des activités de pilotage et de catégorisation. Cette approche nous offre un cadre approprié pour définir des méthodes de vérification qui prennent en compte les différents types de connaissance impliqués. Notre but est de fournir aux experts une aide pendant la construction d'une base de connaissances, en intégrant la vérification dans la méthodologie de développement du système à base de connaissances. L'application de méthodes de vérification classiques, fortement basées sur la syntaxe des modes de représentation des connaissances, doit être précédée d'une étude détaillée du rôle que les différents types de connaissances jouent dans les systèmes de pilotage ou d'interprétation. Ainsi, l'utilisation et la représentation des connaissances sont prises en compte de façon complémentaire pour la vérification. Ceci implique des vérifications syntaxiques, structurelles, aussi bien que sémantiques (sur le rôle des objets, par exemple). Notre but n'est pas seulement de vérifier la consistance et la complétude de la base, mais aussi de vérifier l'adéquation de la connaissance par rapport à la façon dont un moteur va l'utiliser.

Bibliothèque de développement d'interfaces graphiques. Faciliter la construction de SBC signifie faciliter la construction non seulement des moteurs mais aussi de tous les autres éléments intervenant dans la réalisation d'un SBC. Beaucoup de *frameworks* ont été proposés pour la réalisation d'interfaces graphiques, car cette approche facilite la réutilisation. Dans notre cas, les interfaces de construction et d'édition de bases de connaissances sont des éléments importants d'un SBC, qui doivent pouvoir s'adapter en fonction du moteur utilisé. C'est pourquoi, dans la même idée que BLOCKS pour les moteurs, la plate-forme propose aussi une

bibliothèque pour le développement d'interfaces qui permet de les adapter à la stratégie de raisonnement adoptée par le moteur.

3.4. Interprétation automatique d'images

Participants : Francois Brémond, Monique Thonnat.

Mots clés : *interprétation d'images, reconnaissance de forme, reconnaissance de scénario, séquence d'images.*

Glossaire

L'interprétation automatique d'images consiste à attribuer une sémantique aux données en fonction de modèles prédéfinis. Cela correspond à un sous-problème de la perception, celui de l'interprétation automatique des résultats des traitements d'images.

L'interprétation automatique d'images est une problématique très difficile qui est la base de nombreux travaux en vision et aussi en intelligence artificielle. La difficulté dépend de la nature des entités à reconnaître et du type d'interprétation recherchée. Dans le projet Orion, nous nous intéressons à des images qui sont des entités numériques complexes spatiales et/ou temporelles (2D à 4D). Les résultats de l'interprétation peuvent être la reconnaissance d'objets physiques, d'événements, de situations ou de scénarios.

L'interprétation automatique d'images est une problématique très difficile qui est la base de nombreux travaux en vision et aussi en intelligence artificielle. La difficulté dépend en premier lieu de la nature des entités à reconnaître. Il est plus simple de reconnaître des objets statiques et rigides en environnement manufacturé, que des comportements dynamiques de plusieurs objets non-rigides en environnement naturel. La difficulté dépend également du type d'interprétation recherchée. Le problème peut être soit, simplement, d'étiqueter une entité bien déterminée que l'on peut mettre directement en correspondance avec des modèles, soit de détecter les entités, de les étiqueter et de vérifier leur cohérence (spatiale, temporelle, structurelle, etc).

Dans le projet Orion, nous nous intéressons à l'interprétation automatique de données spatiales et/ou temporelles (2D à 4D). Les résultats de l'interprétation peuvent être la reconnaissance d'objets physiques, d'événements, de situations ou de scénarios. Le problème d'interprétation se décompose en une étape de traitement d'images qui permet la détection des entités d'intérêt et une étape d'analyse de ces entités dépendante du but du système développé, qui peut être la classification d'objet ou l'analyse de comportement. La résolution d'un tel problème se révèle complexe en raison de la double nature des connaissances requises : en effet, l'extraction, à partir d'images d'entrée, des paramètres et des primitives essentiels à l'interprétation nécessite des appels à des programmes de traitement d'images ; de plus, l'interprétation proprement dite ne peut s'accomplir qu'avec la connaissance du domaine que possède un expert sur les entités à reconnaître ou à analyser. L'automatisation des appels aux programmes de traitement d'images est un problème de pilotage de programmes ; il est donc traité dans l'axe de recherche correspondant (cf. module 3.2). Les deux points présentés ici concernent les modèles proposés pour l'interprétation : d'une part, pour l'interprétation de séquences d'images allant jusqu'à la reconnaissance de scénarios, et, d'autre part, pour la reconnaissance d'objets complexes.

Interprétation de séquences d'images : l'interprétation de séquences d'images a pour objectif, pour ce qui nous concerne, de donner un sens à une scène décrivant des activités humaines, à partir d'images fournies par une caméra couleur, monoculaire et fixe. Cette interprétation de scène repose, en général, sur la coopération d'un module de traitement d'images, d'un module de suivi des objets mobiles et d'un module de reconnaissance du comportement des objets mobiles qui s'appuient sur une base de contexte (cf. figure 2). Il s'agit, pour le module de traitement d'images, de détecter les régions mobiles sur la séquence d'images. Le module de suivi associe les régions détectées afin de former et de suivre les objets mobiles. La tâche du module de reconnaissance des comportements consiste, grâce à des techniques d'intelligence artificielle, à identifier les objets suivis et à reconnaître leur comportement comme constitutif d'un ou plusieurs scénarios prédéfinis.

Reconnaissance d'objets complexes : la reconnaissance d'objets complexes a pour objectif, à partir de modèles sémantiques abstraits, la reconnaissance d'un objet non géométrique. Dans une première phase, les

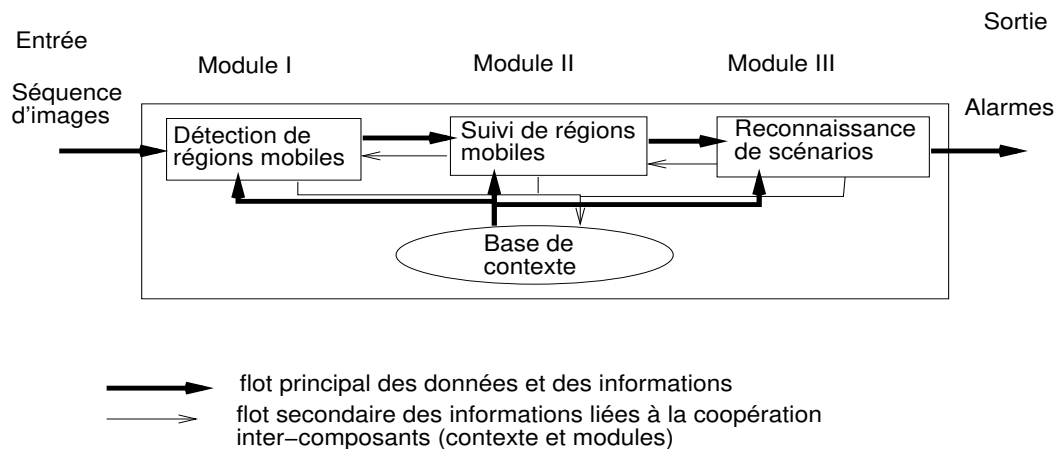


Figure 2. Architecture d'un système d'interprétation de séquences d'images.

traitements d'images sont effectués sur l'image à interpréter ; ils permettent de détecter, d'isoler et de décrire l'objet grâce à des mesures numériques. À partir de ces mesures numériques, le système d'interprétation va ensuite classer l'objet à reconnaître parmi des hiérarchies de classes prédéfinies et structurées qui représentent les modèles sémantiques ; trois étapes récursives essentielles sont impliquées dans cette phase de classement : abstraction des données, mise en correspondance avec une classe prédéfinie, raffinement de la reconnaissance. Pendant la phase de classement, de nouvelles informations peuvent devoir être recherchées à partir de l'image. Notons que la réalisation de tels systèmes opérationnels requiert une somme considérable de travail pour le développement des bases de connaissances et des algorithmes de traitement d'images.

4. Domaines d'application

4.1. Panorama

Mots clés : *astronomie, vidéosurveillance, transport, environnement, santé, pollen, multimedia, bioinformatique.*

Les applications abordées dans le projet ont un rôle essentiel pour mener à bien les travaux dans nos axes de recherches et pour valider nos modèles. Les grands domaines principalement représentés sont les suivants : l'astronomie, la santé et l'environnement, la vidéosurveillance et les transports. Les réalisations effectuées à l'aide de nos outils et méthodologies peuvent avoir deux finalités différentes : l'une, à caractère scientifique, est de permettre un apport dans d'autres disciplines, par exemple en astronomie pour la classification automatique de galaxies ; l'autre, à caractère industriel, est de permettre le développement de systèmes opérationnels comme la vidéosurveillance de stations de métro. Si l'imagerie est le domaine d'intérêt privilégié du projet, des travaux applicatifs en calcul numérique, tel que le pilotage de codes de simulation numérique, ont également lieu. Enfin nous commençons à aborder le nouveau domaine de la bioinformatique dans le cadre du développement d'une plateforme logicielle pour les biopuces.

4.2. Imagerie astronomique

L'automatisation complète de la description et du classement de galaxies selon leur type morphologique à partir d'images est une application historique du projet [40][37]. Cette application pour laquelle nous disposons en interne de l'expertise aussi bien sur les traitements d'images de galaxies que sur les modèles théoriques de classification morphologique nous sert de support d'expérimentation pour valider nos modèles et nos logiciels en interprétation pour la reconnaissance d'objets complexes et en pilotage de programmes [38][42].

4.3. Vidéosurveillance

Dans le domaine de la surveillance de locaux, le sentiment croissant d'insécurité parmi la population a conduit les sociétés privées et, dans une certaine mesure, les autorités publiques, à intégrer des systèmes de sécurité pour protéger leurs équipements ou leurs intérêts commerciaux. Pour la sécurité des lieux publics, les techniques de surveillance par caméras sont de plus en plus utilisées, mais la multiplication du nombre de caméras entraîne une saturation des moyens de transmission et des moyens d'analyse par les contrôleurs (il est difficile de surveiller simultanément des centaines d'écrans). Par exemple, il y a actuellement plus de 1000 caméras pour surveiller le réseau du métro de Bruxelles. Dans le cadre de nos travaux en interprétation automatique d'images vidéo, nous étudions depuis 1994 le problème du développement d'un système automatisé d'assistance aux opérateurs de vidéosurveillance.

L'objectif d'un tel système est de fonctionner comme un filtre ayant pour fonction de trier les scènes susceptibles d'être intéressantes pour l'opérateur humain. Construit sur la coopération d'un module de traitement d'images et d'un module d'interprétation basé sur des techniques d'intelligence artificielle, ce système doit reconnaître automatiquement différents scénarios présentant un intérêt quelconque, afin de les présenter aux opérateurs. Ces travaux ont été effectués avec les partenaires académiques et industriels des projets européens Esprit Passwords, AVS-PV et AVS-RTPW. Une première gamme d'applications très simples pour la surveillance de nuit de l'intérieur d'un supermarché (AUCHAN) a montré la faisabilité de cette approche. Une deuxième gamme d'applications de type « surveillance de parking » où l'angle de vue assez large permet de voir de nombreux objets de nature distincte (voitures, piétons, chariots, etc.) dans un environnement changeant (éclairage, voitures en stationnement, arbres agités par le vent, etc.) a été étudiée. Cette gamme d'applications a permis d'expérimenter diverses méthodes de récupération du suivi, d'analyse de trajectoire, de reconnaissance de cas typiques (occultation, formation et séparation de groupes, etc.). Nous avons fait porter nos efforts depuis 1997 sur l'étude des techniques de vidéosurveillance dans le domaine du transport nécessitant l'analyse et la reconnaissance de groupes de personnes à partir de vue latérales basses prises dans des stations de métro (métros de Nuremberg, Bruxelles et Charleroi). Plus récemment, en coopération avec Bull dans le cadre de l'action Dyade Telescope, nous travaillons sur la conception d'un système intelligent de vidéosurveillance indépendamment d'une application particulière, où les principales contraintes sont l'utilisation de caméras fixes et la possibilité de décrire les situations à reconnaître liées à l'application dans des modèles de scénarios indépendants du système de reconnaissance. Enfin, nous avons expérimenté dans le cadre d'une collaboration nationale l'application de nos techniques d'interprétation de séquences vidéo au problème de la communication médiatisée. Pour cela l'interprétation de scènes est un moyen de décider quelle information doit être transmise par une interface multimedia.

4.4. Reconnaissance de pollens

Dans le domaine de l'environnement et de la santé, le projet Orion s'intéresse à l'automatisation de la détection et de la reconnaissance de pollens anémophiles, ce qui permettra de traiter des données beaucoup plus nombreuses et dans des délais plus courts que ce qui est réalisé actuellement manuellement par les analystes en palynologie. Pour cela, nous mettons en œuvre des méthodes de reconnaissance d'objets complexes faisant appel au traitement d'images, à la reconnaissance de formes et aux systèmes à base de connaissances. Nos travaux prennent place dans un projet de santé publique avec des objectifs épidémiologiques et médicaux. Les objectifs épidémiologiques sont ici de mettre en évidence le rôle et l'importance des différents facteurs et cofacteurs de pollution de l'air dans l'augmentation de la prévalence des maladies allergiques ainsi que d'intégrer un réseau de surveillance des pollens anémophiles dans les réseaux existants de surveillance de la qualité de l'air.

Du point de vue médical, il s'agit de réduire la fréquence et l'intensité des manifestations cliniques de l'allergie aux pollens, et d'assurer des actions de prédiction, d'information et de prévention médicale. Afin d'atteindre ces objectifs, les mesures de détection et de reconnaissance des différents types de pollens doivent être effectuées, d'une part, sur un réseau plus dense (il y a seulement 38 points de prélèvements en France) et, d'autre part, de manière beaucoup plus rapide (les résultats de mesures sont diffusés entre 8 et 15 jours après

les prélèvements). Pour ces deux raisons, l'automatisation de la détection et de la reconnaissance des grains de pollens est souhaitée.

De tels travaux n'ont commencé que très récemment dans la communauté scientifique ; ils sont basés sur l'utilisation d'images numériques, acquises à partir de lames, qui sont ensuite traitées par ordinateur. Deux directions principales sont étudiées : le comptage de tous les grains de pollen présents sur une lame dans le but d'avoir un compte global de la quantité de pollens, et la reconnaissance individuelle de chaque grain pour avoir une quantité précise pour chaque type de pollen. En ce qui concerne l'estimation globale de la quantité de pollen, son automatisation a commencé à être étudiée en utilisant des techniques de traitement d'images, à partir de 1995, que ce soit au Japon [30] ou en France [41]. Toutefois, l'intérêt d'un système d'analyse automatique de pollens réside dans sa capacité à reconnaître le type de chaque grain de pollen ; c'est à ce problème qu'Orion s'est intéressé dès la fin de l'année 1996 [33].

À cause de la complexité des différentes formes de pollens, nous étudions une approche prenant en compte la connaissance des palynologues ; pour cela, nous nous appuyons sur la coopération entre deux types d'outils : d'une part, des algorithmes de traitement d'images et de reconnaissance de formes et, d'autre part, des outils d'intelligence artificielle sous forme de systèmes à base de connaissances. Les algorithmes de traitement d'images et de reconnaissance de formes doivent permettre d'isoler les grains de pollens, et de réaliser les mesures numériques sur les grains susceptibles d'être des pollens. Les systèmes à base de connaissances doivent permettre de reconnaître les différents types de pollens en s'appuyant sur une modélisation taxonomique des espèces, et éventuellement, à terme de piloter les algorithmes pour optimiser les traitements. Notons que nous avons déjà utilisé cette approche dans d'autres domaines d'applications pour la reconnaissance d'objets naturels complexes tels que les galaxies, les zooplanctons [39][35] ou les foraminifères [31][32].

Après avoir mené en 1997 en collaboration avec les palynologues du CEMBREU et le service de pneumologie du CHU de Nice, une étude de faisabilité sur ce sujet montrant la nécessité de travailler en 3D, nous avons monté en 1998 le projet européen ASTHMA dont le but est de prévoir et de fournir des informations sur la qualité de l'air pour les personnes sensibles aux aéroallergènes (pollens et autres poussières présents dans l'air). Dans ce cadre, le projet Orion s'intègre dans l'étude d'un système de reconnaissance semi-automatique de pollens et est responsable de la reconnaissance 3D de grains de pollen (cf. module 8.3)

4.5. Détection Précoce et Reconnaissance de pathologies végétales

Dans le domaine de l'environnement, le projet Orion s'intéresse à l'automatisation du diagnostic précoce des pathologies végétales. Il s'agit de détecter, d'identifier et de quantifier de manière précise les apparitions précoces de pathologies, souvent non visibles à l'échelle de l'oeil humain. Pour cela, nous mettons en oeuvre des méthodes de reconnaissance d'objets complexes faisant appel au traitement d'images, à la reconnaissance de forme, à l'analyse de scènes et aux systèmes à base de connaissances. Ces travaux prennent place dans un projet plus général de Protection Intégrée des Cultures Horticoles dont l'objectif biologique principal est la réduction de l'utilisation de pesticides. Une attention particulière est portée à la détection précoce de l'oïdium du rosier de serre identifié par la Chambre d'Agriculture comme un problème majeur en production horticole ornementale. Les résultats attendus concernent l'ensemble de la filière horticole (cultures ornementales et maraichères) dans la mesure où les méthodes développées sont génériques.

A cause de la complexité et de la diversité d'une part des différentes formes de pathologies et d'autre part des différentes formes de support végétal de la maladie, nous étudions une approche prenant en compte la connaissance des biologistes (pathologistes, zoologues, climatologues,...). Pour cela, nous nous appuyons sur la coopération entre deux types d'outils : d'une part des algorithmes de traitement d'images et de reconnaissance de formes, d'autre part des outils d'intelligence artificielle sous forme de systèmes à base de connaissances. Les algorithmes de traitement d'images doivent permettre d'isoler les différentes pathologies et de réaliser des mesures numériques en vue de leur identification. Les systèmes à base de connaissance doivent permettre de faire un diagnostic sur l'état phytosanitaire de l'organe observé (reconnaissance des différentes pathologies présentes et détermination de l'état d'avancement de chaque pathologie) en s'appuyant

sur une modélisation de la scène et sur une modélisation des différentes pathologies. Les systèmes à base de connaissance peuvent aussi permettre de piloter les différents algorithmes pour optimiser les traitements (pilotage de programmes). Cette approche a déjà été utilisée dans d'autres domaines d'application pour la reconnaissance d'objets naturels complexes tels que les galaxies, zooplanctons ou foraminifères.

En septembre 2000, une COopération LOcale de Recherche (COLOR) HORTICOL d'une durée d'un an entre l'INRIA et l'URIH (INRA Sophia Antipolis) a permis de faire une étude de faisabilité sur ce sujet, montrant l'utilité des techniques de vision cognitive pour le diagnostic précoce de pathologies végétales. Un contrat de Recherche débutant en novembre 2002 entre les deux partenaires précédents (INRIA et INRA) sur la Détection Précoce de Pathologies pour des cultures de serres fait suite à cette action. Dans ce cadre, le projet ORION s'intègre dans l'étude d'un système d'interprétation automatique d'images de végétaux pour la détection et la reconnaissance des pathologies.

5. Logiciels

5.1. Ocapi

Jusqu'en 1996 le projet Orion a continué à développer et à diffuser le moteur de pilotage de programmes OCAPI version 2.0. Les utilisateurs appartiennent au domaine industriel (NOESIS, Geoimage, CEA/CESTA) ou académique (Observatoire de Nice, Observatoire de Paris à Meudon, Université de Maryland).

5.2. Pegase

Depuis septembre 1996, le projet Orion diffuse un nouveau moteur de pilotage de programmes PEGASE, basé sur la plate-forme LAMA. PEGASE, version Lisp, a été utilisé à l'université de Maryland et chez Genset. La version C++ de ce moteur est maintenant disponible.

5.3. VSIP

Nous avons développé en C/C++ une plate-forme d'interprétation de séquences vidéos, nommé VSIP (Visual Surveillance Interpretation Platform). L'objectif est de concevoir une plate-forme générique fonctionnant sur des applications d'agences bancaires ou de stations de métro. La plate-forme comprend des modules de traitement d'images pour la détection et le suivi des personnes ainsi qu'un module d'interprétation des comportements des personnes détectées et suivies. La plateforme (figure 3) prend en entrée une séquence vidéo, une description de scène vide et un ensemble de modèles de comportements à reconnaître. Les algorithmes développés transmettent un message d'alarme typé en sortie lors d'une reconnaissance d'un modèle de comportement prédéfini. Une étape de validation est prévue en mono-caméra dans une agence bancaire pour décembre 2002 et en multi-caméra dans une station de métro de Barcelone pour janvier 2003.

6. Résultats nouveaux

6.1. Pilotage de programmes

Participants : Sabine Moisan, Fabien Tricoire, Jean-Philippe Vidal.

Cette année, nous avons focalisé nos recherches principalement sur des tâches proches de la tâche de pilotage, mais qui demandent cependant des adaptations et des extensions. Les applications qui motivent ces recherches se situent dans le domaine de l'hydraulique fluviale et de l'astronomie.

6.1.1. Pilotage et calage de codes

Participants : Sabine Moisan, Jean-Philippe Vidal.

Dans le cadre d'une thèse co-encadrée avec le Cemagref de Lyon et l'INPT de Toulouse, nous étudions des méthodes et des outils pour l'assistance au calage de codes de calcul en hydraulique fluviale. Le calage consiste

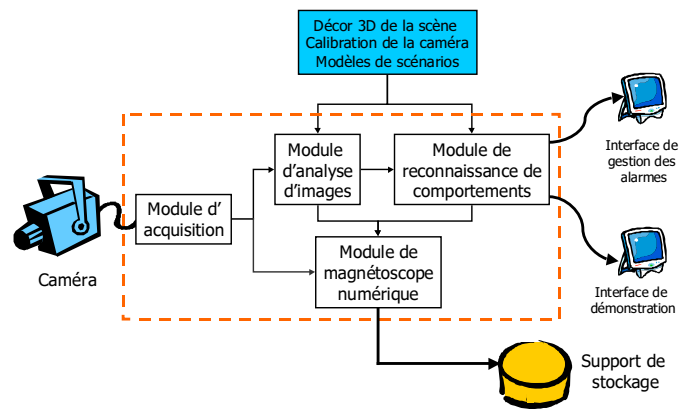


Figure 3. Description des différents modules constituant la plate-forme de vidéosurveillance de séquences vidéos, VSIP

à estimer les paramètres des modèles numériques que les codes implantent pour les ajuster à la réalité physique. L'insuffisance des données ne permet souvent pas d'obtenir une bonne solution et aboutit à des écarts entre valeurs observées et valeurs calculées par les codes.

Notre approche est de combiner des techniques d'intelligence artificielle, en particulier des extensions du pilotage de codes, et des méthodes classiques d'optimisation.

Un premier travail a consisté à proposer une modélisation des connaissances du domaine de l'hydraulique mises en jeu dans les simulations numériques (principalement des notions de points et de courbes : hydrogrammes, lignes d'eau, etc.). Pour cela, nous avons utilisé le langage Arom (développé à l'Inria Grenoble), qui propose une interface graphique proche des outils UML. Cette modélisation a permis de mettre en évidence les éléments qui interviennent dans la tâche de calage et d'en déduire les structures de données intéressantes pour cette tâche. Ces connaissances sont génériques, c'est-à-dire indépendantes d'une application particulière.

Nous avons ensuite réalisé une formalisation de la tâche de calage de modèles hydrauliques, telle qu'elle est pratiquée actuellement. Ce travail s'est appuyé sur une recherche bibliographique. Un processus générique de calage de modèles hydrauliques a été dégagé et formalisé en utilisant le formalisme CommonKADS. Nous avons identifié huit sous-tâches. Par exemple, la sous-tâche « Ajustement des paramètres » est cruciale dans le calage. Elle consiste, en fonction des résultats d'une simulation et de leur écart avec les données, à modifier les valeurs de certains coefficients du modèle (la rugosité sur un tronçon, le plus souvent) grâce à des règles de physique des écoulements. Cette formalisation a permis d'identifier les limites des techniques offertes par le pilotage, le rôle des connaissances et les axes de recherches à poursuivre pendant la thèse.

En parallèle, une première base de connaissances utilisant le moteur de pilotage PEGASE a été développée afin d'identifier les manques, et donc les extensions nécessaires pour répondre aux besoins de la tâche de calage.

L'objectif est d'aller vers une couche de la plate-forme LAMA adaptée au calage, qui puisse s'adapter à différents codes de simulation et différents domaines d'application. Pour cela, chaque sous-tâche devra être raffinée en définissant précisément les connaissances et heuristiques mises en jeu. Une chaîne de traitement en hydraulique, disponible au Cemagref, servira de ban de test.

6.1.2. Etude de nouveaux moteurs pour le séquençement

Participants : Sabine Moisan, Fabien Tricoire.

Cette étude a été motivée par une collaboration nouvelle avec le Centre d'Étude Spatial et du Rayonnement (CESR) de Toulouse, sur les télescopes entièrement autonomes, pour lesquels aucune présence humaine n'est nécessaire. Différents utilisateurs peuvent déposer des requêtes d'observation (par exemple *via* le web), qui doivent être automatiquement séquençées et effectuées durant les nuits. Pour des raisons de coût,

il est souhaitable d'optimiser l'utilisation du télescope. On souhaite donc réaliser un système capable de séquencer le plus d'observations possibles, avec des priorités et des périodicités éventuellement variables, en prenant en compte des contraintes temporelles, ou de nature astronomique (position, distance à la lune...). D'autre part, il est nécessaire d'offrir une réactivité importante aux événements extérieurs, qu'ils soient de nature météorologique (couverture nuageuse), astronomique (sursauts gamma), ou mécaniques (pannes). Ce problème va au delà du problème de planification traité en pilotage.

Un premier prototype de télescope est déjà opérationnel, et un programme de séquençement fonctionne en permanence depuis 2000. Cependant, ce programme est limité, notamment en ce qui concerne les prévisions sur le long terme et l'altération du planning de la nuit pour prendre en compte les sursauts gamma.

En nous basant sur les travaux existant dans le domaine du séquençement (*scheduling*) et en intégrant les contraintes particulières au problème des télescopes autonomes, nous avons proposé une solution en deux volets.

Premièrement, un module diurne construit non pas un seul plan, mais un « schéma de plan » qui propose un ensemble partiellement ordonné d'observations possibles selon un découpage de la nuit en intervalles de temps et un découpage du ciel en secteurs visibles. Le module diurne effectue un tri parmi les observations et doit assurer une répartition équitable de tâches périodiques et non-périodiques, venant d'utilisateurs différents. Pour chaque intervalle et chaque secteur, il sélectionne et ordonne les observations les plus prioritaires. Pour cela, nous utilisons principalement des variantes d'algorithmes de séquençement et de planification classiques, notamment ceux déjà implantés dans la plate-forme LAMA.

Deuxièmement, un module nocturne choisit en temps-réel une observation parmi l'éventail d'observations proposées dans le schéma de plan, en tenant compte des informations qu'il reçoit de capteurs ou de satellites sur la situation courante. Ce module permet au télescope de s'adapter en permanence à l'environnement d'observation. Cette adaptation est complètement transparente en cas de perturbation mineure. Par exemple, une couverture nuageuse partielle sur certains secteurs ne fera que déplacer les observations vers des secteurs plus clairs, sans nécessiter de re planification dynamique coûteuse. En cas de perturbation majeure (comme la détection d'un sursaut gamma), le module n'effectue que le minimum de re planification nécessaire pour introduire les nouvelles observations liées à cet événement. Pour ce second module, nous nous sommes tournés vers les formalismes synchrones, et plus particulièrement les *SyncCharts* [28]. Ce formalisme intègre en particulier des notions de préemption et de concurrence qui permettent de proposer un module nocturne à la fois réactif et très modulaire. En fonction des événements de natures différentes qui peuvent survenir (mauvais temps, sursauts gamma, pannes), le module est capable de gérer les réactions adaptées en temps-réel. La concurrence et la modularité du modèle des *SyncCharts* facilite l'extensibilité. De plus, il est possible de générer du code *C(++)* à partir de *syncCharts*, ce qui devrait faciliter la connexion avec la plate-forme LAMA.

Les spécifications de ces deux modules et une première phase de conception préliminaire ont été réalisées au cours d'un stage de DEA. La conception détaillée et l'implantation sont en cours.

6.2. Plate-forme logicielle de développement de SBC

Participants : Sabine Moisan, Annie Ressouche, Jean-Paul Rigault.

Nous nous intéressons aux problèmes de réutilisation logicielle, de support et de fiabilité dans la conception des systèmes à base de connaissances, afin de faciliter la conception de systèmes adaptables aux besoins des applications. À partir d'une analyse du domaine, la solution proposée consiste à définir une plate-forme logicielle LAMA, servant de support aux développements. La plate-forme est composée de diverses boîtes à outils, chacune dédiée à la construction et l'adaptation d'un des éléments constituant un générateur de système à base de connaissances. Par exemple, un « framework » (nommé BLOCKS) offre des composants logiciels réutilisables et adaptables pour construire des moteurs. Notre approche, qui s'apparente à celle des « component frameworks » en génie logiciel, permet le développement de plusieurs moteurs à partir de composants adaptables. L'objectif de cette approche est, outre un gain en temps, d'améliorer la lisibilité et la fiabilité des systèmes construits et de faciliter leur distribution.

Cette année, nous avons principalement travaillé sur des outils de vérification formelle des comportements des moteurs construits.

6.2.1. Vérification de moteurs

Participants : Sabine Moisan, Annie Ressouche, Jean-Paul Rigault.

Nous avons poursuivi l'étude des modèles synchrones pour modéliser le comportement des moteurs de systèmes à base de connaissances. Ces modèles sont bien adaptés pour décrire les comportements des composants d'un moteur, mais l'utilisation directe des outils existants s'avère difficile car l'application des techniques de vérification du domaine synchrone aux systèmes à base de connaissances est une approche nouvelle qui demande une adaptation tant au niveau de la définition du modèle qu'au niveau de la conception des outils.

L'année dernière nous avons défini un langage de spécification comportemental pour décrire le fonctionnement des moteurs. La définition de ce langage repose sur l'existence d'un modèle mathématique qui permet d'utiliser les méthodes de *model-checking* pour faire des preuves de sûreté de fonctionnement des moteurs.

La description statique des moteurs est basée sur une approche orientée composants (bibliothèque BLOCKS). Par conséquent, la description de leur comportement doit naturellement suivre la hiérarchie des composants qui les définissent (le comportement d'un sous-type se déduit du comportement du type plus général par une opération de notre langage).

Cette année, nous avons tout d'abord amélioré la sémantique sous-jacente à notre langage afin de donner un cadre formel à la notion de sous-typage de l'approche par composants. La définition d'une sémantique permettant d'interpréter le sous-typage dans un modèle synchrone est un sujet ouvert dans la communauté du *model-checking*. D'autres approches font intervenir des modèles d'automates à pile et une théorie basée sur la théorie des jeux pour résoudre ce problème. Cette approche ne nous convient pas car les outils de *model-checking* travaillent sur de simples automates et changer de modélisation implique d'étendre les algorithmes à ce nouveau modèle. Nous avons défini une caractérisation du sous-typage basée sur une opération de restriction associée à la notion usuelle de simulation. Avec cette caractérisation, la sémantique mathématique du langage de description est bien fondée et elle nous permet d'utiliser les outils de *model-checking* usuels.

Sur un plan plus pratique, nous sommes en train d'implanter le langage de description comportemental défini l'année passée. Nous donnons la priorité à la réalisation de l'intégration du *model checker* NuSMV dans notre implémentation. NuSMV est un nouvel outil qui réalise des preuves de formules de logique temporelles permettant d'exprimer aisément des propriétés de sûreté. Il permet de modéliser des systèmes synchrones et asynchrones. Il utilise des techniques modernes de représentation des automates sous forme de BDD (Binary Decision Diagram) pour mettre en œuvre les algorithmes classiques de preuves. De plus, il intègre aussi des méthodes récentes de preuves basée sur les « SAT solvers » (outils qui utilisent des algorithmes de satisfaction de formules de la logique propositionnelle associés avec des heuristiques sophistiquées permettant d'être à la fois rapide et de traiter un grand nombre d'états). De ce fait, il nous paraît être l'outil le plus efficace adapté à nos besoins.

Par ailleurs, une interface graphique pour notre langage est en cours d'étude et de réalisation.

6.3. Interprétation automatique de séquences d'images

Participants : François Brémond, Binh Bui, Magali Mazière, Monique Thonnat, Christophe Tornieri.

Nous nous intéressons ici à l'interprétation dynamique de scènes à partir de séquences d'images, et ce afin d'automatiser la compréhension des activités se déroulant dans une scène donnée. Le capteur utilisé est une caméra fixe et monoculaire, les scènes sont des scènes d'intérieur ou d'extérieur et les objets mobiles sont principalement des êtres humains et des véhicules. L'objectif de nos travaux est, d'une part, la modélisation du processus d'interprétation de séquences d'images et, d'autre part, la validation de ce modèle à travers le développement d'un système générique d'interprétation. Nous avons appliqué ces techniques dans le cadre de trois projets : l'action de développement Telescope2, le projet européen ADVISOR et un nouveau projet avec la RATP.

Le problème que nous souhaitons résoudre est de produire une interprétation logique du comportement des personnes dans une scène à partir des images envoyées par une caméra vidéo fixe. Pour cela, nous avons besoin de résoudre deux sous-problèmes.

Le premier est de fournir à chaque image des mesures sur le contenu de la scène. Le système en charge de résoudre ce problème est appelé module perceptuel. Le second sous-problème est de comprendre le contenu, c'est-à-dire, interpréter les comportements des personnes. Pour cela, on cherche à reconnaître des scénarios prédéterminés à partir de certaines primitives. Le système en charge de résoudre ce second problème est appelé module décisionnel de reconnaissance de scénarios. Notre approche d'interprétation de séquences vidéo est basée sur une modélisation a priori de l'environnement observé (ou décor de la scène).

Cette année, nous avons poursuivi nos travaux sur la détection de personnes, nous avons proposé de nouvelles approches pour le suivi spatio-temporel d'individus, l'analyse de groupes d'individus, la reconnaissance de comportement humains, la visualisation de comportements humains et l'apprentissage de paramètres pour notre plateforme logicielle. Nous avons appliqué ces diverses techniques dans le cadre de trois projets : l'action de développement Telescope2, le projet européen ADVISOR et un nouveau projet avec la RATP.

6.3.1. Gestion des objets du décor

Participants : François Brémond, Christophe Tornieri.

Les déplacements des objets du décor dans l'image perturbent la phase de détection des régions mobiles en rajoutant du bruit dans l'image segmentée. En effet, il arrive que des portes soient ouvertes ou fermées par des personnes ou que ces dernières déplacent des chaises dans une pièce. Il s'agit de développer une méthode permettant d'éliminer les objets du décor perturbateurs après la phase de segmentation. On fait l'hypothèse qu'une région mobile est une personne ou un objet perturbateur du décor et on s'intéresse uniquement aux zones de l'image contenant des objets du décor susceptibles de se déplacer. On utilise dans ce but une méthode basée sur les distributions de couleurs comparant les distributions calculées sur les objets du décor et sur les individus détectés dans la scène. La méthode supprime les pixels de la région mobile ayant une forte probabilité d'appartenir aux objets perturbateurs du décor. La méthode est rendue plus robuste pour les pixels des images suivantes par le calcul de la distribution de couleurs sur les pixels restants qui correspondent à une personne. On a alors le choix entre deux classes pour étiqueter les pixels des images suivantes, ces classes correspondant à l'appartenance à une personne ou à un objet de l'agence.

6.3.2. Elimination des ombres

Participants : François Brémond, Christophe Tornieri.

En fonction de la luminosité présente dans une pièce, il arrive que les objets en mouvement génèrent des ombres sur le sol, les objets du décor ou les murs de la pièce. Ces ombres sont alors détectées en mouvement et engendrent du bruit dans la phase de segmentation. La méthode utilisée classe les pixels de l'image courante en trois classes pendant la phase de segmentation : les pixels des régions détectées en mouvement, les pixels appartenant aux ombres et les pixels appartenant au fond de l'image. Deux approches sont alors utilisées afin de distinguer les deux premières classes. La première approche, basée sur la couleur, caractérise une ombre en détectant des changements de couleur, d'intensité lumineuse et de saturation alors que la deuxième approche, basée sur la texture utilise le fait qu'une ombre ne modifie pas la texture de la région recouverte.

6.3.3. Repositionnement des régions mobiles dans la scène 3D

Participants : François Brémond, Magali Mazière.

L'étape de repositionnement des régions mobiles dans la scène 3D est réalisée après l'étape de groupement des régions mobiles, dont l'objectif est d'obtenir des régions correspondant à des personnes. Gardons à l'esprit qu'une détection de personne dans une image n'est pas complètement infaillible, par exemple :

- la couleur ou la luminance de la personne se confond (le plus souvent partiellement) avec l'environnement et l'algorithme de détection signale une forme de taille réduite par rapport à la taille réelle.

- un objet du décor est intercalé entre le champ de vision de la caméra et la personne en cours de détection. Par exemple, une personne peut se trouver derrière un comptoir lorsque la camera se situe à l'arrière du comptoir.
- du bruit lié aux ombres, des réflexions parasites ou d'autres artefacts peuvent apparaître dans les images.

Les régions *en mouvement* sont considérées comme des personnes ayant une taille moyenne (entre 80cm et 2m20) et dont les pieds touchent le sol. La distance de la caméra à la personne est ensuite estimée à partir des paramètres intrinsèques de la caméra et de sa taille projetée et mesurée dans l'espace image. Cette distance peut s'avérer fautive si les pieds de la personne sont en pratique masqués par un obstacle ou pas détectés par absence de contraste colorimétrique. Dans certains cas, la région 3D calculée d'une personne se superpose avec le mobilier ou les murs, ou sort même de la scène. On procède alors à 3 types de repositionnement des régions mobiles dans la scène 3D de manière à lever ces cas aberrants.

6.3.4. Classification de formes latérales

Participants : François Brémond, Binh Bui, Monique Thonnat.

Dans le système d'interprétation de séquences vidéos, une des étapes essentielles consiste à classifier les régions mobiles évoluant dans la scène car les régions mobiles peuvent correspondre à plusieurs types d'objets différents (une personne, deux personnes accolées, une poussette, etc.). Cela permet de faciliter la phase de suivi des objets mobiles et celle de reconnaissance de comportements de ces objets.

Pour résoudre ce problème, cette année nous avons proposé une nouvelle méthode de classification avec un réseau Bayésien pour la classification de formes d'objets mobiles observés de côté (formes latérales). Pour cela nous avons besoin d'informations latérales sur les régions mobiles et nous avons mis en place un site prototype équipé d'une caméra observant la scène vue d'en haut et de capteurs latéraux (23 cellules optiques et 3 caméras observant vue de côté des leds disposées dans la scène).

Modèles de formes latérales

Dans un premier temps, nous déterminons les modèles des formes latérales de plusieurs types d'objets différents : personne seule, deux personnes accolées, une poussette, etc. Ces modèles sont construits à partir des caractéristiques sur les objets détectés par les capteurs latéraux (par exemple la densité des cellules optiques obturées). Nous découpons la forme latérale d'une région mobile en plusieurs zones (trois ou neuf zones). La forme est découpée en trois zones si elle est partiellement détectée (région mobile qui vient d'entrer ou de sortir du site observé par les capteurs latéraux). La forme est découpée en neuf zones si elle est totalement détectée (région mobile complètement dans le site observé par les capteurs latéraux). La taille de chaque zone est définie proportionnellement à la taille de la région mobile. Dans chacune de ces zones, nous comptabilisons le nombre de capteurs libres et le nombre de capteurs obturés. L'ensemble de ces zones constitue les modèles de formes latérales. Pour affiner les modèles de descriptions des formes latérales, en plus de ces zones, nous avons rajouté la longueur et la hauteur latérales de la région mobile.

Apprentissage des formes latérales

Pour chaque modèle (classe) de formes latérales, nous utilisons une dizaine de séquences typiques (représentatives de la classe), soit une centaine de frames. Pour chaque frame, nous calculons et nous stockons les valeurs de densité de capteurs libres/obturés pour chaque zone. Nous comptons le nombre de régions mobiles ayant la même valeur de densité pour une zone donnée Z et ainsi nous obtenons la fréquence qu'une région mobile d'une classe de forme latérale donnée (par exemple « personne seule ») ait une densité d : c'est la probabilité conditionnelle $P(d|F = \text{« personne seule »})$ qu'une région mobile de la classe de forme F « personne seule » ait une densité d pour la zone Z .

De même, on apprend les hauteur et longueur des formes latérales pour chaque classe.

Classification des formes latérales

L'algorithme de classification de formes latérales comporte 3 étapes :

- 1. Calcul des tailles des 3 ou 9 zones selon que la région mobile est partiellement ou totalement dans la zone couverte par les capteurs latéraux.

- 2. Calcul des caractéristiques de la région mobile d_i (densité de capteurs obturés/libres pour chaque zone) avec sa hauteur et longueur latérales.
- 3. Comparaison des caractéristiques de la région mobile avec celles des modèles de formes latérales à l'aide de la formule de Bayes. On obtient pour chaque région mobile un tableau contenant les degrés d'appartenance $D(r|F)$ de la région mobile r à tous les modèles de formes latérales F . Le degré d'appartenance $D(r|F)$ est le rapport de la probabilité de la région r d'appartenir à la classe F divisée par la probabilité de la région r d'appartenir à la classe $\neg F$ ($\neg F$ correspond à toutes les classes exceptées la classe F). Le degré d'appartenance au modèle de formes latérales F d'une région mobile r est calculé de la façon suivante :

$$D(r|F) = \frac{P(F|d_1, d_2, \dots, d_n, h_{top}, h_{bot}, l)}{P(\neg F|d_1, d_2, \dots, d_n, h_{top}, h_{bot}, l)} = \frac{P(d_1|F) \times P(d_2|F) \times \dots \times P(h_{top}|F) \times P(h_{bot}|F) \times P(l|F)}{P(d_1|\neg F) \times P(d_2|\neg F) \times \dots \times P(h_{top}|\neg F) \times P(h_{bot}|\neg F) \times P(l|\neg F)}$$
 où $P(d_i|F)$: la probabilité conditionnelle qu'une région mobile ait une densité d pour la zone i sachant que la région mobile appartient à la classe de formes latérales F ; ($i \in [1, 9]$ ou $i \in [1, 3]$ selon le type de modèles) ; h_{top} : la limite supérieure de la région mobile ; h_{bot} : la limite inférieure de la région mobile ; l : la longueur de la région mobile.

Pour chaque modèle de formes latérales, on a appris les paramètres du réseau Bayésien sur une centaine d'images prises sur quatre vidéos caractéristiques du modèle. Pour chaque image, on a calculé les valeurs des caractéristiques (densité capteurs obturés/libres) de la région mobile représentant la forme latérale que l'on a stockées dans un fichier. Ce fichier qui contient les probabilités qu'une valeur corresponde à la forme donnée, représente le modèle de forme latérale. Dans un second temps, on a testé ces modèles avec trois cents images prises sur neuf séquences qui sont différentes des séquences utilisées pour construire les modèles. Les classifications correctes des formes latérales sont toutes supérieures à 90%. Par exemple pour la classe « personne seule », on a un taux de bonne classification de 98%.

6.3.5. Fusion de données à partir de plusieurs caméras

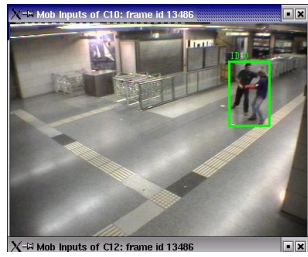
Participants : François Brémond, Frédéric Cupillard, Monique Thonnat.

Dans de nombreuses applications d'interprétation vidéos, la même scène est observée par plusieurs caméras dont les champs de vue se recoupent. Ainsi, cette année, nous avons conçu un algorithme de fusion qui tire avantage de toutes les caméras observant la même scène en combinant entre eux les graphes de régions mobiles (chaque région mobile est caractérisée par une position et une dimension 3D ainsi qu'un label (ex : PERSON, GROUP ou SCENE OBJECT)) produits pour chaque caméra afin d'obtenir un graphe global, plus robuste, que l'on appelle graphe de combinaison qui permettra d'améliorer le suivi des groupes de personnes et par ce fait, les résultats du module de reconnaissance de comportements. Un exemple est montré sur la figure 4. Les deux images du haut montrent les régions mobiles détectées par deux caméras C1 et C2 observant un hall de métro et les deux images du bas montrent la projection des régions mobiles après l'étape de fusion combinant les deux caméras. Cet exemple illustre le cas où deux personnes sont détectées comme une seule région mobile par la caméra C1 (a1) alors qu'elles sont détectées comme deux régions mobiles distinctes par la caméra C2 (a2). Comme il y a une correspondance assez grande mais ambiguë entre les régions mobiles détectées par les deux caméras et comme il y a plus de régions mobiles détectées par C2, les régions mobiles détectées par C2 sont sélectionnées comme meilleure détection. Ainsi, l'algorithme de fusion a amélioré la détection de la caméra C1 (b1) : maintenant les deux personnes sont bien détectées séparément.

Cet algorithme de fusion a été testé sur dix séquences de métro dans le cadre du projet ADVISOR. De façon générale, il a permis de sélectionner à chaque instant la meilleure caméra observant la scène. Actuellement les principales limitations de cet algorithme sont dues au problème de mauvaises détections qui peut entraîner une surestimation du nombre de personnes détectées dans la scène et par conséquence une mauvaise correspondance entre les détections des différentes caméras. Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans les proceedings du Workshop IEEE sur les applications de la vision par ordinateur.

6.3.6. Extension et amélioration du suivi d'individus sur une longue durée

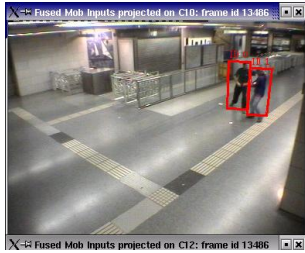
Participants : Alberto Avanzi, François Brémond, Monique Thonnat.



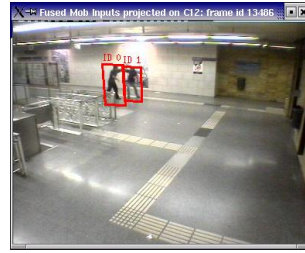
(a) mono caméra (C1) détection



(b) mono caméra (C2) détection



(c) détection améliorée pour la caméra C1



(d) détection sélectionnée pour la caméra C2

Figure 4. L'algorithme de fusion utilise la vue où les gens sont isolés pour les séparer dans la vue où ils ne le sont pas

Un problème toujours non résolu est le suivi des personnes sur une longue durée. Ce problème consiste à reconstruire les trajectoires des différentes personnes filmées par une caméra au cours de leurs déplacements dans la scène observée. Le terme « longue durée » signifie que le choix de la trajectoire à associer à chaque personne est pris sur une fenêtre temporelle de durée T , cette fenêtre permettant d'étudier l'évolution future des mouvements par rapport à l'instant courant $t - T$ (et donc d'augmenter le degré de fiabilité de cette décision).

Par rapport aux projets précédents menés au sein de l'équipe, de nombreuses contraintes s'ajoutent. Ces contraintes sont dues à la nature des scènes filmées (on utilise typiquement des caméras de vidéosurveillance placées à différents endroits dans des stations de métro). Étant donnée la nature des séquences d'images que l'on veut traiter, le module de suivi doit :

- suivre plusieurs individus en même temps, à partir de l'instant où ils apparaissent dans l'image jusqu'au moment où ils sortent du champ de vue de la caméra. Le module doit suivre les individus sur des trajectoires complexes (correspondentes aux pistes), caractérisées par des croisements (avec d'autres trajectoires). Un des problèmes à gérer est alors d'estimer le nombre des personnes présentes à chaque instant dans la scène,
- suivre les mouvements des personnes à l'intérieur d'environnements complexes et encombrés, appelés « contextes »,
- gérer et corriger dans une certaine mesure, les erreurs de mauvaise détection qui peuvent être à l'origine des deux problèmes suivants :
 - le premier problème concerne l'absence de détection de mouvement d'une personne vue par la caméra. Ceci est principalement dû à un contraste insuffisant ou une distance trop importante entre la caméra et l'objet en mouvement,

- le second problème concerne la détection partielle de la silhouette d'une personne provoquant une erreur de mauvais positionnement 3D. L'objet en mouvement est alors projeté dans une position 3D différente de celle attendue.

Les nouvelles contraintes de fonctionnement du module de suivi ont demandé la mise en place de solutions techniques dédiées pour faire face aux situations relatives dans les stations de métro.

Estimation du nombre d'individus

Les caméras de vidéosurveillance utilisées sont placées dans des endroits de grand espace et topologiquement complexes, où des dizaines de personnes peuvent se déplacer ensemble, en se croisant, se mêlant ou se cachant. On utilise les informations suivantes et provenant des objets en mouvement détectés dans l'image pour estimer le nombre de personnes potentiellement présentes dans une piste :

- le nombre et la classe (*personne, petit groupe, groupe ou foule*) des objets en mouvement,
- leurs dimensions,
- la tendance (augmentation ou diminution) du nombre des personnes dans les images suivantes.

Cette solution permet de décider d'initier ou de terminer une piste.

Gestion des pertes de détection

En cas de mauvaise détection, ou si une personne est très loin de la caméra, il est possible de ne pas avoir des objets en mouvement lui correspondant. Le module doit alors associer une trajectoire à la personne suivie en se basant sur des informations du passé telles que la vitesse et la direction. Si l'absence de détection se prolonge, le module « suspend » le suivi de la personne en gardant en mémoire la dernière position 3D (c'est à dire le point correspondant à la dernière image de la personne). Le suivi est alors suspendu jusqu'à détection d'un nouveau objet mobile dans une position compatible. Dans le cas contraire, la personne est enlevée du suivi comme si elle avait quitté la pièce.

Correction des fausses positions 3D

A cause des erreurs de mauvaise détection, il arrive que la nouvelle détection de la position 3D des objets en mouvement ne soit pas cohérente avec les positions précédemment détectées (représentées par la trajectoire de l'objet). Cette erreur de détection impliquant une trop grande distance parcourue par l'objet entre deux instants empêche de relier cette nouvelle détection à la trajectoire calculée précédemment. Pour résoudre cet inconvénient, le module de suivi se charge de corriger la nouvelle position 3D en supposant que la trajectoire a été correctement calculée. L'algorithme est capable de distinguer deux situations :

- si une seule position nouvellement détectée est incohérente avec la trajectoire, on la filtre en interpolant la trajectoire,
- si plusieurs positions nouvellement détectées sont cohérentes entre elles mais incohérentes avec la trajectoire, on repositionne les nouvelles positions en calculant la moyenne entre les positions détectées incohérentes et leur position 3D estimée à l'aide de la trajectoire, le but étant que les positions estimées convergent, après un nombre limité d'itérations, vers les positions détectées.

6.3.7. Reconnaissance de comportements à l'aide d'automates

Participants : François Brémond, Frédéric Cupillard, Monique Thonnat.

Le Projet ADVISOR a démarré en janvier 2000 pour une durée de trois ans. Ce projet a pour but de développer un système intelligent permettant de sélectionner les écrans de surveillance intéressants pour les opérateurs de métro ainsi que d'archiver et d'annoter les séquences vidéo afin de rechercher en post-traitement les séquences intéressantes. L'innovation de ce projet consiste pour l'INRIA dans l'utilisation de caméras multiples, le traitement temps réel des séquences vidéo, et l'annotation des séquences vidéo.

Cette année, nous avons poursuivi la définition d'un formalisme permettant d'écrire et utiliser toutes méthodes (appelées **Opérateurs**) nécessaires à la reconnaissance de comportements. Nous nous sommes intéressés à des méthodes à base d'automates d'états finis afin de reconnaître des scénarios complexes



Figure 5. Un exemple de suivi de trois personnes se déplaçant le long du quai de la station YZER à Bruxelles. Les boîtes blanches entourant les individus indiquent que le module a bien pris en charge le suivi de la personne alors que le label sur fond noir indique l'identité (sous la forme d'un numéro) associée à l'individu

combinant plusieurs états ou événements. L'alphabet de ces automates est composé des états ou événements qui ont été reconnus à chaque instant et qui composent le scénario complexe. Les états de l'automate définissent les différentes étapes intermédiaires (représentées par les noeuds de l'automate) rencontrées avant la reconnaissance totale du scénario c'est à dire lorsque l'état final est atteint. Le chemin pour atteindre l'état final définit la chronologie des états et événements qui composent le scénario. A chaque noeud, on attache des variables dites « variables d'états » permettant de préciser cette chronologie en ajoutant soit des contraintes temporelles (ex : l'état e_1 doit précéder l'état e_2 d'au plus 15 secondes) soit des contraintes d'occurrences (ex : l'état e_1 doit être détecté sur 20 images consécutives). L'ajout de contraintes permet également d'augmenter la robustesse de la reconnaissance en palliant aux possibles erreurs de détections (ex : l'état e_1 doit être détecté au moins trois fois sur quatre images consécutives pour considérer sa détection comme « sûre »).

Dans l'exemple qui suit, on décrit l'automate fini (voir figure 6) utilisé pour la reconnaissance du scénario : « Le groupe de personne G_i bloque une zone sensible ». Cet automate est caractérisé par :

- **Un alphabet** : $\{(e1), (\bar{e}1), (e2), (\bar{e}2)\}$. ($e1$) correspond à la détection, à l'instant courant, de l'état « Le groupe de personne G_i est l'intérieur d'une zone sensible » et ($\bar{e}1$) correspond à sa non-détection. ($e2$) correspond à la détection, à l'instant courant, de l'état « Le groupe de personne G_i est arrêté » et ($\bar{e}2$) correspond à sa non-détection.
- **Des états** : $\{(Init), (In\ blocking\ zone), (Blocking\ scenario)\}$. ($Init$) est l'état initial, ($In\ blocking\ zone$) correspond à l'état intermédiaire ou le groupe G_i est détecté comme étant dans une zone sensible au blocage et ($Blocking\ scenario$) correspond à l'état final c'est à dire quand le groupe G_i est détecté comme étant dans une zone sensible au blocage et comme étant à l'arrêt depuis un temps assez important.
- **Des variables d'états** : $\{(Ce1), (Ce2)\}$. Ces deux variables sont des compteurs permettant de comptabiliser la différence entre le nombre de détection d'un état et le nombre de non-détection de ce même état.
 $(Ce1) = \text{Nombre détection}(e1) - \text{Nombre détection}(\bar{e}1)$ $(Ce2) = \text{Nombre détection}(e2) - \text{Nombre détection}(\bar{e}2)$

Grâce à cet automate, une chronologie simple a pu être modélisée de la manière suivante : pour qu'un groupe de personnes soit considéré comme bloquant un passage sensible, il faut d'abord que ce groupe rentre dans ce passage sensible puis qu'il s'y arrête.

Les variables d'états ont permis d'affiner cette chronologie (le groupe doit rester arrêté pendant au moins 10 images dans la zone sensible) tout en tenant compte des possibles erreurs de détection (par exemple, même si le groupe est réellement arrêté pendant 10 images, il peut y avoir quelques non-détection ($\bar{e}2$) pendant ce

temps). Ainsi, on considère qu'un groupe est à l'intérieur d'une zone sensible si la différence entre le nombre de détection de $(e1)$ et $(\bar{e}1)$ est positive ($(Ce1) > 0$). Et, on considère que le groupe bloque la zone sensible si la différence entre le nombre de détection de $(e2)$ et $(\bar{e}2)$ est supérieure à un seuil $Te2$ ($(Ce2) > Te2$. On utilise $Te2 = 7$).

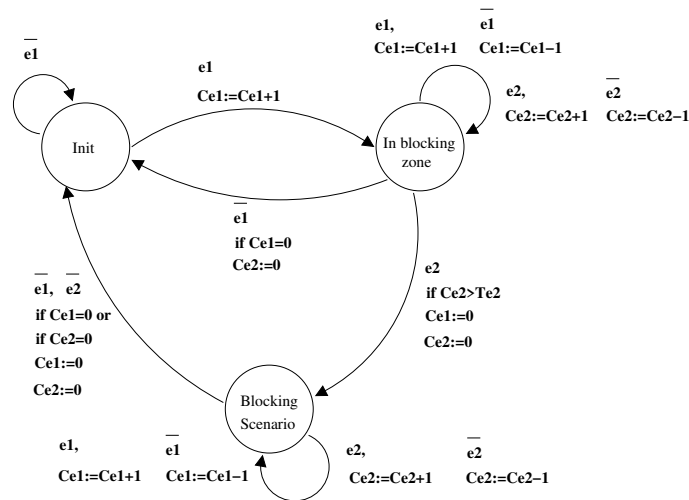


Figure 6. Automate fini pour la reconnaissance du scénario : « Le groupe de personnes G_i bloque une zone sensible »

Nous avons aussi cette année utilisé ces méthodes à base d'automates pour reconnaître des scénarios relatifs à des individus isolés (« sauter par dessus une barrière »), à des groupes de personnes (« bloquer une issue », « violence ») et à une foule (« forte densité de personnes »). Ces scénarios ont été testés sur 30 séquences de métro dans le cadre du projet ADVISOR. Le pourcentage de bonne détection par image varie de 70% pour le scénario « violence » à 95% pour le scénario « bloquer une issue ». Même si ces résultats sont assez bons, le taux de fausses alarmes est encore assez élevé en ce qui concerne le scénario « violence » (3% de détections incorrectes sur des séquences où il n'y a pas de violence). On prévoit, pour réduire ce taux de fausses alarmes, l'utilisation de techniques d'apprentissages (Dynamic Bayesian Network) pour optimiser la combinaison des états ou événements qui composent le scénario « violence » ainsi qu'une analyse sur la forme des individus. Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans les proceedings du Workshop IEEE sur les applications de la vision par ordinateur.

6.3.8. Apprentissage et reconnaissance de scénarios à l'aide d'un réseau bayésien récurrent pour l'interprétation vidéo.

Participants : François Brémond, Nicolas Moenne-Loccoz, Monique Thonnat.

Nous avons conçu un Réseau Bayésien Récurrent (RBR) afin de reconnaître des comportements humains et de régler ce réseau à partir d'exemples lors d'une phase d'apprentissage. Un RBR est un type particulier de réseau Bayésien dynamique. Un RBR prend en entrée des descripteurs visuels calculés sur une fenêtre temporelle (de durée n instants) ainsi que le résultat récurrent de la reconnaissance effectuée à l'instant précédent. Il calcule pour chaque image la probabilité de reconnaissance d'un comportement donné à l'aide de la formule de Bayes. Ce terme récurrent permet au réseau de tenir compte de l'historique des reconnaissances passées. Afin de valider cette approche, nous avons construit un réseau récurrent permettant de reconnaître si un groupe d'individus a un comportement violent. Comme le montre la figure 7 un comportement est dit violent si le groupe concerné a une agitation globale importante. Cette agitation globale est calculée à l'aide de l'agitation externe et interne du groupe.

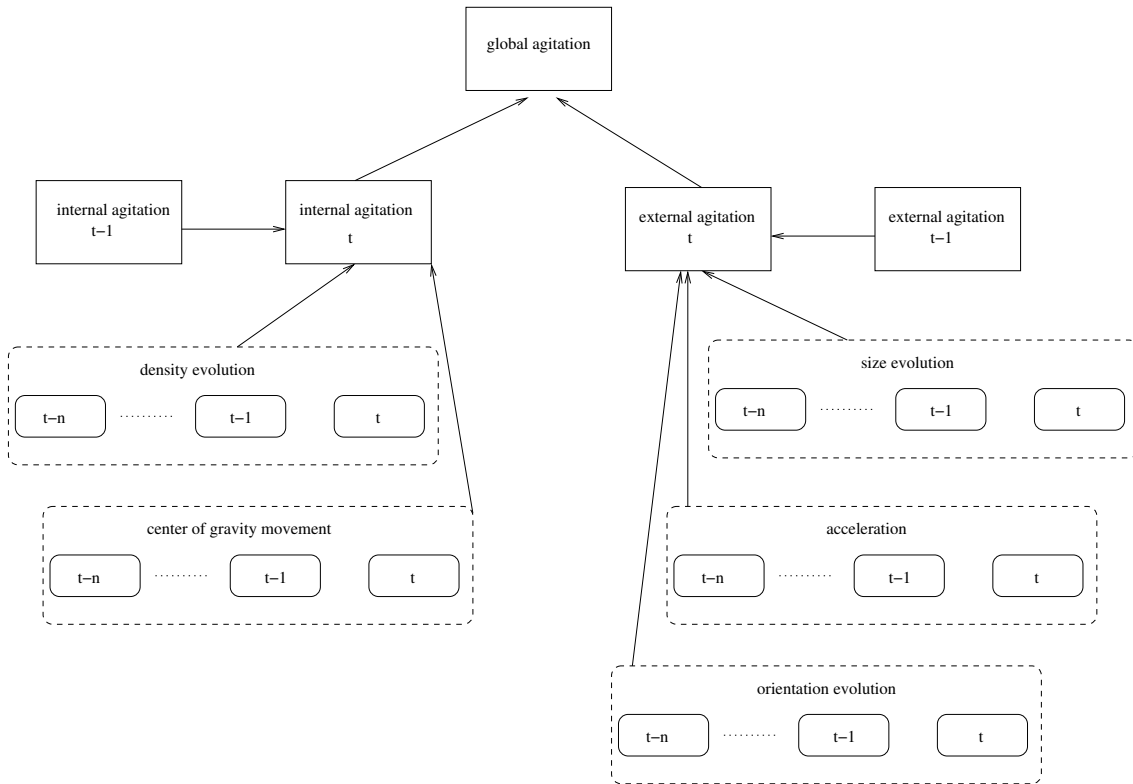


Figure 7. Structure du Réseau Bayésien Récurrent pour la reconnaissance du comportement violent

Ne disposant que de dix séquences vidéos de groupe violent, pour chaque séquence à tester, nous avons appris (entraîné) le réseau avec les neuf autres séquences. La figure 8 montre les résultats de reconnaissance du comportement « violent » sur une séquence vidéo. Ce comportement est correctement reconnu à pratiquement tous les instants, seul un décalage dans le temps de la reconnaissance implique une imprécision dans le calcul du début et de la fin de la détection des comportements violents. Ce décalage est dû au terme récurrent du RBR.

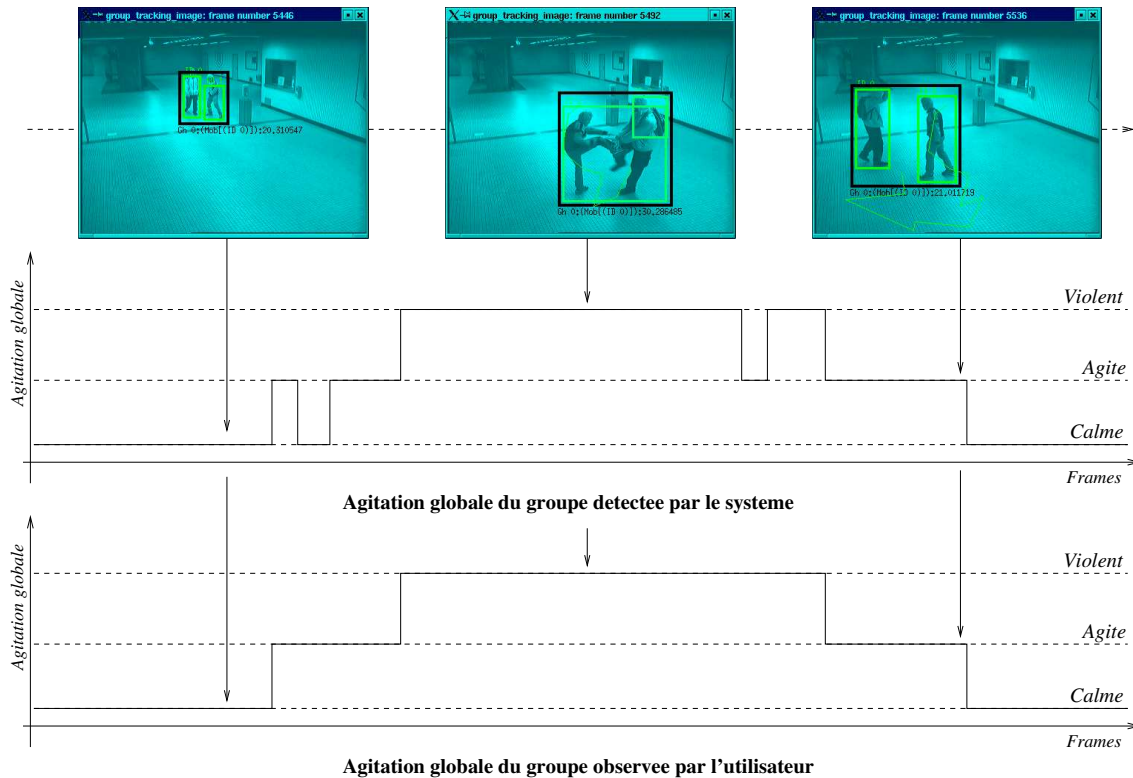


Figure 8. Résultats de la reconnaissance du comportement violent pour chaque image d'une séquence filmant une scène de violence

6.3.9. Reconnaissance de scénarios à base de contraintes pour l'interprétation vidéo

Participants : François Brémond, Monique Thonnat, Thinh Vu Van.

Ce travail a pour objectif d'étudier le problème de la reconnaissance de scénarios temporels pour l'interprétation de séquences vidéos. Il s'agit de concevoir un algorithme reconnaissant des scénarios temporels prédéfinis par un expert à partir des individus suivis par un module de vision et partir de connaissances a priori sur l'environnement observé.

Cette année, nous avons proposé d'améliorer l'algorithme à base de résolution de contraintes, proposé par N. Rota lors de sa thèse soutenue dans l'équipe ORION en 2001. Nous avons mis à jour trois types de problèmes concernant cet algorithme. Premièrement, la représentation des scénarios concernant sa description par un expert du domaine, n'est pas intuitive. En particulier, les scénarios correspondent à des événements détectés uniquement à un instant donné. Nous avons alors rajouté la possibilité de définir un scénario sur un intervalle de temps. Par exemple, la figure 9 montre la représentation du scénario "Attack" dans le contexte d'une agence bancaire. Dans notre formalisme de représentation, un scénario se compose en trois parties : (1) les variables d'acteur correspondant aux individus impliqués dans le scénario et dont au moins un des acteurs

est un individu, (2) les variables temporelles correspondant aux sous scénarios composant le scénario et (3) les contraintes portant sur les variables d'acteur et sur les variables temporelles. Une contrainte est appelée temporelle si elle porte sur au moins une variable temporelle. Une contrainte est appelée atemporelle si elle n'est pas temporelle. Un scénario est défini sur un intervalle de temps. Un intervalle de temps est représenté par son temps de début et de fin. Ces travaux ont été publiés dans le recueil de la conférence KES2002 (The 6th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information & Engineering Systems).

```

Scenario(Attack,
Characters((cashier : Person), (robber : Person))
SubScenarios(
(cas_at_pos, inside_zone, cashier, "Back_Counter")
(rob_enters, changes_zone, robber, "Entrance_zone", "Infront_Counter")
(cas_at_safe, inside_zone, cashier, "Safe")
(rob_at_safe, inside_zone, robber, "Safe") )
Constraints( (rob_enters during cas_at_pos)
(rob_enters before cas_at_safe)
(cas_at_pos before cas_at_safe)
(rob_enters before rob_at_safe)
(rob_at_safe during cas_at_safe) ) )

```

Figure 9. Représentation du scénario « Attack » : (1) le commercial (cashier) est derrière le guichet, (2) l'agresseur (robber) entre dans la banque et se déplace vers le devant du guichet (3) tous les deux se dirigent vers la porte du coffre

Deuxièmement, pour améliorer le temps de traitement de l'algorithme, nous avons optimisé la recherche d'un scénario donné dans l'ensemble de scénarios déjà reconnus en indexant cet ensemble à l'aide d'un graphe constitué par les modèles de scénarios et les listes d'acteurs impliqués dans le scénario. Cette indexation a permis de diminuer notablement le temps de traitement de l'algorithme de reconnaissance. Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans le workshop "Modélisation et résolution de problèmes à base de contraintes" attaché à la conférence ECAI2002 (The 15th European Conference on Artificial Intelligence).

Troisièmement, nous avons continué à améliorer le temps de traitement de l'algorithme en optimisant le traitement des contraintes temporelles en propageant les contraintes temporelles de l'instant courant aux reconnaissances de scénarios réalisés dans le passé. Cette amélioration permet de passer d'une vérification de contraintes temporelles exponentielle en fonction du nombre de contraintes à une vérification de contraintes temporelles linéaire. La mise en oeuvre de cet algorithme est basée sur la pré-compilation des modèles de scénarios prédéfinis. Nous appelons une solution d'un modèle de scénario, une liste d'acteurs et une liste de sous scénarios déjà reconnus concernant ces acteurs et satisfaisant à toutes les contraintes du modèle. Nous appelons scénario élémentaire un scénario qui n'a aucun sous scénario et nous appelons scénario composé un scénario qui contient au moins un sous scénario. Pour les scénarios élémentaires, l'algorithme de reconnaissance essaye de trouver les acteurs satisfaisant ses contraintes atemporelles. Pour les scénarios composés, après d'avoir trouvé une liste d'acteurs satisfaisant ses contraintes atemporelles, l'algorithme doit chercher une liste de scénarios reconnus correspondant à ses variables temporelles et satisfaisant à ses contraintes temporelles. Les algorithmes similaires de l'état de l'art re-vérifient les contraintes d'un scénario donné effectuées aux instants précédents jusqu'à ce que ce scénario puisse être reconnu. Cette vérification implique la recherche de sous scénarios dans la liste des scénarios déjà reconnus, pouvant ainsi aboutir à une explosion combinatoire. Pour résoudre ce problème, nous proposons de décomposer les scénarios dans une phase initiale de pré-compilation pour que chaque scénario composé ne contienne que deux sous scénarios

comme décrit par la figure 10. Grâce à cette décomposition, l'algorithme pour reconnaître un scénario composé ne doit chercher qu'un seul sous scénario reconnu, impliquant seulement une recherche en un temps linéaire. L'algorithme essaye également d'étendre les scénarios déjà reconnus à l'aide des événements détectés à l'instant courant en étendant leur intervalle de temps. Afin d'optimiser l'algorithme de reconnaissance, nous utilisons également la notion de déclencheur pour indiquer quels scénarios peuvent être reconnus à l'instant courant. Ces travaux font l'objet d'une publication soumise à la conférence ICVS2003 (3rd International Conference on Computer Vision Systems).

```

Scenario(Attack_1,
Characters((cashier : Person), (robber : Person))
SubScenarios((cas_at_pos, inside_zone, cashier, "Back_Counter")
  (rob_enters, changes_zone, robber, "Entrance_zone", "Infront_Counter"))
Constraints((cas_at_pos during rob_enters) ))
Scenario(Attack_2,
Characters((cashier : Person), (robber : Person))
SubScenarios((att_1, Attack_1, cashier, robber)
  (cas_at_safe, inside_zone, cashier, "Safe" )
Constraints(((start of att_1) before cas_at_safe) ))
Scenario(Attack_3,
Characters((cashier : Person), (robber : Person))
SubScenarios((att_2, Attack_2, cashier, robber)
  (rob_at_safe, inside_zone, robber, "Safe" )
Constraints((rob_at_safe during (termination of att_2)) ))

```

Figure 10. Ces trois modèles intermédiaires sont générés pendant la compilation du modèle « Attack », et ce modèle est équivalent à « Attack_3 »

Dans le cadre de ce travail, nous avons intégré notre algorithme de reconnaissance dans la plate-forme d'interprétation automatique de séquences vidéos VSIP (Video Surveillance Intelligent Platform). Nous avons effectué différentes expérimentations dans le cadre de la surveillance d'une agence bancaire. L'algorithme reconnaît correctement le scénario d'attaque de banque à partir d'une séquence vidéo de l'agence. Nous avons réalisé ces expérimentations avec des modèles de scénarios composés d'un nombre variable de sous scénarios. Les résultats expérimentaux en terme de temps de traitement montrent que l'algorithme de reconnaissance est quasi linéaire en fonction du nombre de sous scénarios comme le montre la figure 11.

6.4. Reconnaissance d'objets complexes

Mots clés : *classification, image, 3D, pollen, santé, environnement.*

Participants : Alain Boucher, Nicolas Dey, Monique Thonnat.

Cette année, nous avons poursuivi nos travaux sur l'analyse d'images 3D de pollens pour la reconnaissance de classes allergènes à partir de connaissances palynologiques dans le cadre du projet européen ASTHMA. Nous avons approfondi l'étude du processus de formation d'une image de pollen sous microscope optique dans le cadre de la thèse de Nicolas Dey. Nous avons démarré une nouvelle activité en coopération avec l'INRA à Sophia Antipolis pour la détection et l'interprétation de pathologies de rosiers à partir d'images obtenues par vidéomicroscope.

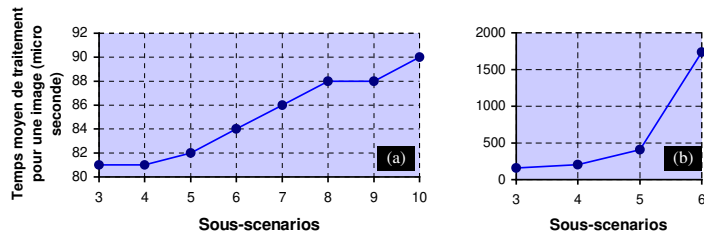


Figure 11. Le temps moyen de traitement pour une image (a) de l'algorithme proposé est quasi linéaire en fonction du nombre de sous scénarios et (b) le temps moyen de traitement pour une image d'un algorithme similaire de l'état de l'art est exponentiel en fonction du nombre de sous scénarios

6.4.1. Etude de la formation de l'image d'un objet microscopique 3D translucide

Participants : Alain Boucher, Nicolas Dey, Monique Thonnat.

Nous proposons un modèle complet de la formation de l'image, qui s'applique à des objets microscopiques 3D translucides. La principale originalité de ce modèle est la prise en compte d'objets 3D translucides. Le système imageur que nous simulons est un microscope optique conventionnel, travaillant en lumière visible. Un système optique réel possède une profondeur de champ finie. Il en résulte que l'objet n'apparaît net qu'autour du plan de focalisation. Par opposition, toutes les parties de l'objet 3D qui sont en dehors de cette zone sont floues. De plus, l'objet étant translucide, toutes les parties de l'objet, nettes ou floues, sont visibles par transparence.

Dans notre modèle, un objet translucide est défini comme une répartition discrète d'indices de réfraction et de coefficients d'absorption. Pour simuler le trajet de la lumière, nous proposons un modèle physique utilisant des techniques de lancer de rayons de la source vers l'observateur. Ce modèle physique sert à calculer l'espace objet éclairé. Pour simuler la génération d'images par le système optique, nous utilisons des principes d'optique ondulatoire. Nous modélisons la fonction de transfert 3D du microscope, qui dépend de la défocalisation. Après avoir choisi un plan de focalisation, nous calculons une image simulée en appliquant cette fonction de transfert [36] à chaque plan plus ou moins défocalisé de l'espace objet éclairé. Une séquence d'images simulées est obtenue en faisant varier la focalisation.

Ce modèle a été validé sur des objets simples : des micro-billes de verre, de différentes tailles. En particulier, nous retrouvons avec précision les caustiques qui apparaissent à l'arrière de l'objet observé. Pour terminer, nous avons appliqué ce modèle à des objets biologiques complexes : des grains de pollen.

La Fig. 12 montre une bille de verre (indice $n_v = 1.52$) de $16.8\mu\text{m}$ de diamètre plongée dans de la fuchsine (indice $n_f = 1.47$). Sur chaque figure (a) ou (b), nous avons représenté une coupe latérale en haut, 4 coupes transversales en-dessous. La Fig. (a) représente l'espace image calculé et la (b) l'espace image réel. Les résultats sont satisfaisants : nous simulons (à la diffraction près) précisément une séquence d'images d'un objet 3D translucide.

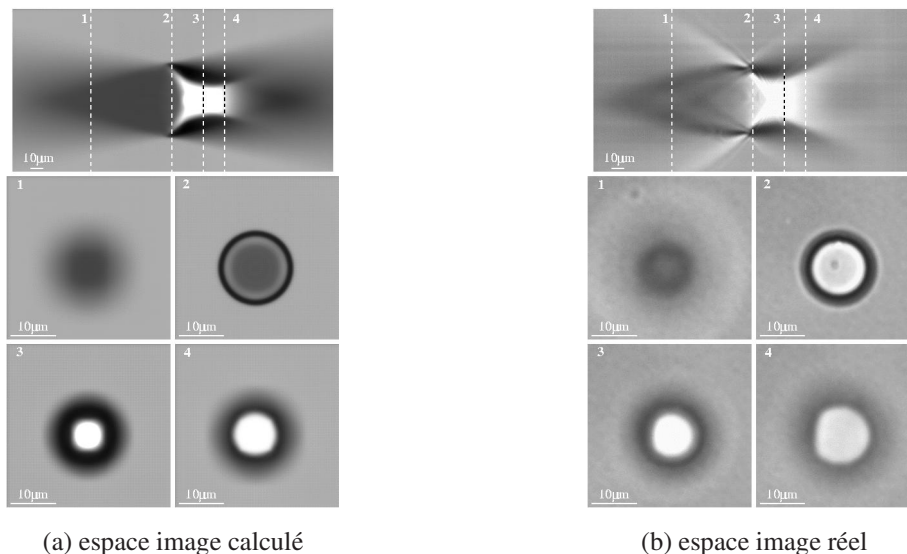


Figure 12. Les résultats pour la bille de verre dans la fuchsine. Son diamètre est de $16.8\mu\text{m}$: (a) espace image calculé et (b) espace image réel.

6.4.2. *Interprétation automatique d'images de végétaux pour le diagnostic précoce de pathologies*

Participants : Céline Hudelot, Monique Thonnat.

L'analyse et l'interprétation automatique d'images biologiques est un problème complexe qui comporte deux grands aspects :

- un aspect système physique : la mise au point d'un système automatique ou semi-automatique d'acquisition d'images de végétaux non-destructifs in situ.
- un aspect interprétation automatique d'images : faire des avancées dans le domaine de la vision cognitive pour résoudre le problème du diagnostic automatique des pathologies.

Une étude de faisabilité sur l'acquisition d'images de végétaux a permis de séparer ces deux aspects indépendants, de limiter nos recherches au deuxième aspect et de définir des conditions d'acquisition stables pour ce dernier.

Le problème est donc la reconnaissance automatique de différents types de pathologies végétales au stade précoce à partir d'images macroscopiques et microscopiques d'organes de la plante susceptibles d'être infectés. On s'intéresse en particulier aux maladies fongiques qui peuvent prendre la forme de réseaux filamenteux plus ou moins développés. En 2001 un stage de DEA avait permis de définir une chaîne de vision adaptée à la détection de certaines pathologies filamenteuses.



Figure 13. Deux attaques précoces d'oidium sur feuille de rosier jeune

Pour le problème de la reconnaissance, il est nécessaire d'acquérir et de modéliser les connaissances des experts pathologistes et biologistes. Pour acquérir cette connaissance, nous avons utilisé le logiciel d'annotation d'images Annotate. Ce travail avec des experts pathologistes a permis la définition d'un ensemble de concepts utiles pour la reconnaissance.

Concernant le raisonnement, étant donné la complexité d'une part du support végétal et d'autre part des formes diverses que peut prendre une même pathologie, une combinaison des approches ascendante et descendante est privilégiée. L'extraction de l'information doit être progressive guidée par la description des objets à reconnaître et dépendante de l'état de l'interprétation.

De plus, le nombre d'objets d'intérêts sur une feuille pouvant être multiple, il est nécessaire de rapprocher ce travail à celui de l'analyse de scènes et il convient donc de modéliser et d'utiliser au sein du raisonnement les différentes relations spatiales existant entre les différents objets ou parties d'objets. Nous choisissons de définir ces relations comme des concepts à part entière, qui possèdent des propriétés et qui s'organisent en hiérarchie mais qui possèdent la particularité d'être des liens entre concepts.

6.4.3. Acquisition de connaissances pour la reconnaissance d'objets tridimensionnels

Participants : Nicolas Maillot, Monique Thonnat.

Le travail mené pendant le stage de DEA de N. Maillot entre dans le cadre des activités du projet Orion relatives à l'interprétation d'images d'objets complexes.

Ce travail a permis de montrer comment, à partir d'une ontologie de concepts visuels primitifs, un expert peut être guidé dans la création d'une base de connaissances sur les objets de son domaine d'expertise. Le rôle de la connaissance ainsi générée est de faciliter la classification automatique d'images d'objets du domaine considéré.

Une ontologie de concepts visuels élémentaires a été créée. Un outil d'acquisition de connaissances reposant sur cette ontologie a également été mis au point pour guider l'expert dans la description des objets de son domaine (voir figure 14).

L'outil proposé a permis la création d'une base de connaissances décrivant quatre types de grains de pollen.

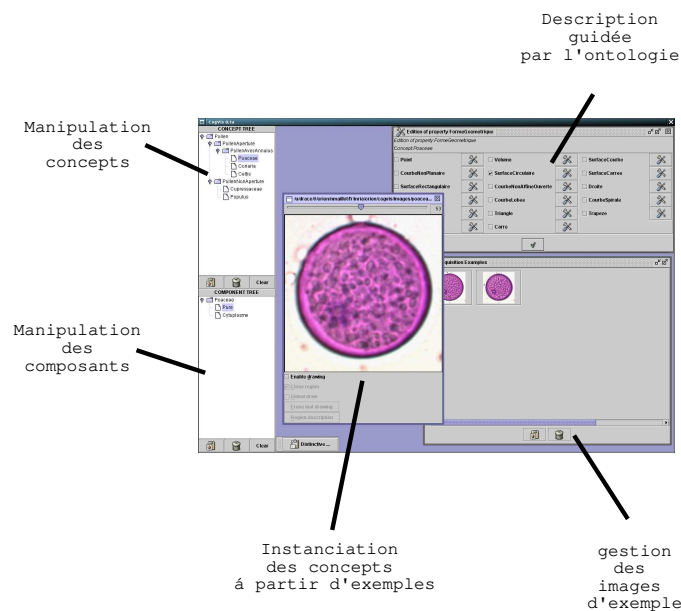


Figure 14. Vue globale de l'outil d'acquisition de connaissances

Une thèse a été commencée dans le prolongement direct des résultats de ce DEA. L'objectif est d'abord d'améliorer l'outil d'acquisition de connaissances ainsi que l'ontologie de concepts visuels élémentaires (ajout de relations spatio-temporelles).

A plus long terme, il s'agit de construire une plate-forme de vision cognitive comprenant un ensemble d'algorithmes de vision, une base de connaissances, un moteur de catégorisation ainsi que des mécanismes d'apprentissage.

7. Contrats industriels

Participants : Alberto Avanzi, François Brémond, Binh Bui, Frédéric Cupillard, Magali Mazière, Monique Thonnat.

En 2002, Orion a continué à participer au projet européen en vidéosurveillance ADVISOR et au contrat industriel avec la RATP pour la classification de voyageurs. Un nouveau contrat industriel, CASSIOPEE, a démarré en 2002 avec le groupe Crédit Agricole en vidéo surveillance.

- Projet ADVISOR : ce projet d'une durée de 3 ans et d'un montant de 2.4 MF pour Orion a pour objectif l'analyse et l'annotation automatique de séquences de vidéosurveillance dans les métros.
- RATP : ce contrat d'une durée de 3 ans et d'un montant de 1.6 MF pour Orion a pour objectif la détection et la classification de différents types de voyageurs en temps-réel.
- Projet CASSIOPEE : Le projet CASSIOPEE a démarré en janvier 2002 pour une durée de trois ans, pour un montant de 450 KEuros pour Orion. Ce projet vise à développer et expérimenter une plate-forme de vidéosurveillance automatique dans un contexte bancaire. Le système doit être capable de détecter des comportements définis comme à risque à partir d'une acquisition vidéo continue et d'une connaissance a priori de l'agence. L'objectif n'est pas de détecter à coup sûr les comportements mais plutôt de détecter des comportements potentiellement intéressants afin que leur prise en charge soit réalisée par la station centrale de télésurveillance pour la levée de doute. Le projet regroupe les compétences d'une banque, d'un intégrateur de systèmes d'acquisition vidéo, d'un opérateur de télésurveillance (Groupe Crédit Agricole, Eurotelis et Ciel) et de l'INRIA.

Pour plus d'informations sur le projet européen ADVISOR, voir aussi la rubrique concernant les actions financées par la Commission Européenne.

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Actions régionales

- Coopération entre l'URIH de l'Inra Sophia Antipolis et le projet Orion sur le thème des méthodes de détection précoce des maladies sur plantes en serre.
- Coopération avec l'action Helix de l'INRIA Rhône-Alpes dans le cadre de l'action de développement Genostar et le pilotage de programmes.
- Coopération avec le CEMAGREF de Lyon sur le thème de l'assistance au calage de codes de calcul en hydraulique fluviale.
- M. Thonnat est membre du conseil d'administration de l'UFR STAPS de la faculté des sciences du sport de l'université de Nice-Sophia Antipolis.

8.2. Actions nationales

8.2.1. *Projet CASSIOPEE*

Le projet CASSIOPEE a démarré en janvier 2002 pour une durée de trois ans. Ce projet a pour ambition de développer et d'expérimenter une plate-forme de vidéosurveillance automatique dans un contexte bancaire. Le système doit être capable de détecter des comportements définis comme à risque à partir d'une acquisition vidéo continue et d'une connaissance a priori de l'agence. L'objectif n'est pas de détecter à coup sûr les comportements mais plutôt de détecter des présomptions de comportements potentiellement intéressants afin que leur prise en charge soit réalisée par la station centrale de télésurveillance pour la levée de doute. Le projet regroupe les compétences d'une banque, d'un intégrateur des systèmes d'acquisition vidéo, d'un opérateur de télésurveillance et de l'INRIA.

8.2.2. *Projet MedLab*

Nous participons au projet *MedLab* pour une plate-forme expérimentale de réalisation de biochips. Les partenaires sont le CNRS (équipes de Pascal Barbry de l'IPMC, de Richard Kristen, Villefranche), le projet Orion, Philippe Roussel (ESSI, I3S) ainsi que deux partenaires industriels (CEREP, COSE).

8.3. Actions financées par la Commission Européenne

Le projet a participé cette année à deux projet européens en interprétation d'images : le projet ADVISOR et le nouveau réseau d'excellence ECVision de type IST.

8.3.1. Réseau *ECVision*

Le réseau d'excellence *ECVision* a démarré en mars 2002 pour une durée de trois ans. Ce réseau fédère les activités de recherche en vision cognitive de 35 laboratoires européens (voir <http://www.ECVision.info/home/Home.htm>).

8.3.2. Projet *ADVISOR*

Le Projet *ADVISOR* a démarré en janvier 2000 pour une durée de trois ans. Ce projet de type IST a pour but de développer un système intelligent permettant de sélectionner les écrans de surveillance intéressants pour les opérateurs de métro ainsi que d'archiver et d'annoter les séquences vidéo afin de rechercher en post-traitement les séquences intéressantes. L'innovation de ce projet consiste, pour Orion, dans l'utilisation de caméras multiples, d'un traitement temps réel des séquences vidéo et de l'annotation des séquences vidéo. Les partenaires sont Racal/Thomson (Grande-Bretagne), Bull (France), Vigitec (Belgique), King's College Londres (Grande-Bretagne), l'université de Reading (Grande-Bretagne) et l'INRIA (France).

8.4. Relations bilatérales internationales

8.4.1. Europe

Nous coopérons avec Sergio Velastin de l'université de Kingston sur le thème de l'interprétation du comportement de foules dans des vidéos.

8.4.2. Afrique

Nous coopérons avec Wided Chaari et Faouzi Ghorbel du Grift à l'ENSI de Tunis dans le cadre d'un projet STIC franco-tunisien de deux ans sur le thème des systèmes à base de connaissances distribués pour la vision.

8.4.3. Amérique du Nord

Nous coopérons avec le professeur Ram Nevatia de l'University of South California (USC) à Los Angeles sur le thème de l'interprétation vidéo pour la reconnaissance d'activités d'individus.

9. Diffusion des résultats

9.1. Animation de la communauté scientifique

- M. Thonnat a été relecteur des revues *IVS* (Image and Vision Computing), *PATREC*, *RAS* (Robotic and Automation Systems)
- M. Thonnat a été relecteur des conférences *ICVS'03*, *ICPR02*, *Medianet2002*.
- M. Thonnat est membre du jury du prix *SPECIF* de la meilleure thèse en informatique.
- M. Thonnat a réalisé des expertises pour le programme *RNTL*.
- S. Moisan a été relecteur de la conférence *CARI*.
- S. Moisan a fait partie du comité de programme de la conférence *IC'2002*, sur l'ingénierie des connaissances.
- S. Moisan est membre du bureau de la commission de spécialiste de 27^e section à l'UNSA.
- S. Moisan a fait partie du comité de programme de la conférence *IC'2002*, sur l'ingénierie des connaissances.

9.2. Enseignement universitaire

- Orion est équipe d'accueil pour le DEA Informatique de l'UNSA.
- Enseignement au DESS Informatique à l'ESSI (université de Nice Sophia Antipolis), TD d'analyse et conception objet (25h S. Moisan).
- Enseignement au DEA Astronomie haute résolution angulaire, image et gravitation (université de Nice Sophia Antipolis) cours de classification (9h M. Thonnat et 3h F. Brémond)

9.3. Thèses en cours

- Nicolas Dey : Analyse 3D d'images de pollens pour la prévention des allergies, université de Nice-Sophia Antipolis.
- Celine Hudelot : Interprétation automatique d'images in situ de végétaux pour la détection et le suivi de pathologies, université de Nice Sophia Antipolis.
- Nicolas Maillot : Système cognitif d'interprétation d'images pour la reconnaissance d'images d'objets 3D, université de Nice Sophia Antipolis.
- Thinh van Vu : Visualisation de comportements humains pour l'interprétation de séquences vidéo, université de Nice Sophia Antipolis.
- Jean-Philippe Vidal : Equifinalité dans les modèles numériques en hydraulique à surface libre : méthodologie de calage de paramètres, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Benoit Georis : Knowledge-based reconfigurable tracker, Université Catholique de Louvain.

10. Bibliographie

Bibliographie de référence

- [1] F. BRÉMOND, M. THONNAT. *Issues of representing context illustrated by video-surveillance applications*. in « International Journal of Human-Computer Studies, Special Issue on Context », volume 48, 1998, pages 375-391.
- [2] N. CHLEQ, F. BREMOND, M. THONNAT. *Advanced Video-based Surveillance Systems*. édition C.S. Regazzoni, G. Fabri, and G. Vernazza, Kluwer A.P. , Hangham, MA, USA, November, 1998, chapitre Image Understanding for Prevention of Vandalism in Metro Stations, pages 108-118.
- [3] V. CLÉMENT, M. THONNAT. *A Knowledge-Based Approach to Integration of Image Procedures Processing*. in « CVGIP : Image Understanding », numéro 2, volume 57, mars, 1993, pages 166-184.
- [4] S. LIU, P. SAINT-MARC, M. THONNAT, M. BERTHOD. *Feasibility study of automatic identification of planktonic foraminifera by computer vision*. in « Journal of foraminiferal research », numéro 2, volume 26, avril, 1996, pages 113-123.
- [5] S. MOISAN, A. RESSOUCHE, J.-P. RIGAUULT. *Blocks, a Component Framework with Checking Facilities for Knowledge-Based Systems*. in « Informatica, Special Issue on Component Based Software Development », numéro 4, volume 25, November, 2001, pages 501-507.
- [6] M. THONNAT, V. CLÉMENT, J. OSSOLA. *Automatic Galaxy classification*. in « Astrophysical Letters and Communication », numéro 1-6, volume 31, 1995, pages 65-72.
- [7] M. THONNAT, M. GANDELIN. *Un système expert pour la description et le classement automatique de zooplanctons à partir d'images monoculaires*. in « Traitement du signal, spécial I.A », numéro 5, volume 9, novembre, 1992, pages 373-387.
- [8] M. THONNAT, S. MOISAN. *What can Program Supervision do for Software Re-use ?*. in « IEE Proceedings - Software Special Issue on Knowledge Modelling for software components reuse », numéro 5, volume 147, 2000.

- [9] M. THONNAT, S. MOISAN. *Knowledge-based systems for program supervision..* in « First international workshop on Knowledge-Based systems for the (re)Use of Programs libraries KBUP'95 », INRIA, pages 4-8, Sophia Antipolis, France, mars, 1995.
- [10] M. THONNAT, N. ROTA. *Image Understanding for Visual Surveillance Applications.* in « Third International Workshop on Cooperative Distributed Vision », Kyoto, Japan, novembre, 1999.

Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [11] N. DEY. *Etude de la formation de l'image d'un objet microscopique 3D translucide - Application à la microscopie optique.* thèse de doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis, décembre, 2002.

Articles et chapitres de livre

- [12] A. BOUCHER, P. HIDALGO, M. THONNAT, J. BELMONTE, C. GALAN, P. BONTON, R. TOMCZAK. *Development of a Semi-Automatic System for Pollen Recognition.* in « Aerobiologia, International Journal of Aerobiology, », 2002, (à paraître).
- [13] M. DERY, S. MOISAN. *Apport des interactions pour la distribution des connaissances.* in « Numéro spécial de L'OBJET « Systèmes distribués et Connaissances » », numéro 4, volume 8, 2002.
- [14] J.-L. MOISAN. *Gestion opérationnelle des connaissances sur les codes.* in « Ingénierie des connaissances », numéro 0, volume 0, 2002, à paraître.
- [15] M. THONNAT. *Knowledge-based techniques for image processing and for image understanding.* éditeurs A. HECK, F. MURTAGH., in « Voies nouvelles pour l'Analyse de Données en Sciences de l'Univers », série Journal Phys. IV France, volume 12, EDP Sciences, Les Ulis, 2002, pages 189-236.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [16] A. BOUCHER, M. THONNAT. *Object Recognition from 3D Blurred Images.* in « International Conference on Pattern Recognition, ICPR2002 », Quebec, Canada, August, 2002.
- [17] S. DELAITRE, A. GIBOIN, S. MOISAN. *The AEX Method and its Instrumentation.* in « ICEIS, International Conference on Enterprise Information Systems », éditeurs KLUWER., Ciudad Real - Spain, April, 2002.
- [18] N. DEY, A. BOUCHER, M. THONNAT. *Image Formation Model of a 3D Translucent Object Observed in Light Microscopy.* in « International Conference on Image Processing ICIP2002 », Rochester, USA, September, 2002.
- [19] S. MOISAN, M. BOËR, C. THIEBAUT, F. TRICOIRE, M. THONNAT. *A Versatile Scheduler for Automatic Telescopes.* in « SPIE Conference on Astronomical Telescopes and Instrumentation », Hawaii, USA, August, 2002.
- [20] S. MOISAN. *Knowledge Representation for Program Reuse.* in « ECAI », Lyon, France, July, 2002.
- [21] V. VU, F. BRÉMOND, M. THONNAT. *Human Behaviour Visualisation and Simulation for Automatic Video*

Understanding, in « 10-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2002 WSCG 2002 », Plzen, Czech Republic, February, 2002.

- [22] V. VU, F. BRÉMOND, M. THONNAT. *Temporal Constraints for Video Interpretation*. in « 15th European Conference on Artificial Intelligence, Workshop on Modelling and Solving Problems with Constraints », Lyon, FRANCE, July, 2002.
- [23] V. VU, F. BRÉMOND, M. THONNAT. *Video surveillance : human behaviour representation and on-line recognition*. in « Sixth International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, KES2002 », Crema, Italy, September, 2002.

Divers

- [24] N. MAILLOT. *Acquisition de connaissances pour l'interprétation d'images d'objets tridimensionnels*. rapport technique, Université de Technologie de Compiègne, 2002, Rapport de stage de DEA Technologie de l'information et des systèmes.
- [25] N. MOENNE-LOCCOZ. *Analyse des techniques d'apprentissage pour la reconnaissance de comportements à partir de vidéos*. rapport technique, Université de Nice, 2002, Rapport de stage de DEA Informatique.
- [26] C. TORNIERI. *Classification de régions mobiles pour l'interprétation de séquences vidéos*. rapport technique, ESSI - filière VIIM, 2002, Rapport de stage dernière année d'école d'ingénieur.
- [27] F. TRICOIRE. *Planificateur pour le séquençage de missions d'observation pour télescope autonome*. rapport technique, Université de Nice, 2002, Rapport de stage de DEA Informatique.

Bibliographie générale

- [28] C. ANDRÉ. *Representation and Analysis of Reactive Behaviors : A Synchronous Approach*. in « CESA'96 Proceedings », IEEE-SMC, Lille, France, 1996.
- [29] V. CLÉMENT, M. THONNAT. *A Knowledge-Based Approach to Integration of Image Procedures Processing*. in « CVGIP : Image Understanding », numéro 2, volume 57, mars, 1993, pages 166-184.
- [30] S. KAWASHIMA, Y. TAKAHASHI, S. AIKAWA, T. NAGOYA. *An attempt of applying the image processing for the automatic estimation of sampled airborne pollen*. in « Japanese Journal of Allergology », numéro 9, volume 44, 1995, pages 1150-1158.
- [31] S. LIU, P. SAINT-MARC, M. THONNAT, M. BERTHOD. *Feasibility study of automatic identification of planktonic foraminifera by computer vision*. in « Journal of foraminiferal research », numéro 2, volume 26, avril, 1996, pages 113-123.
- [32] S. LIU, M. THONNAT, M. BERTHOD. *Automatic Classification of Planktonic Foraminifera by a Knowledge-based System*. in « The Tenth Conference on Artificial Intelligence for Applications », IEEE Computer Society Press, pages 358-364, San Antonio, Texas, mars, 1994.

- [33] M. MAZIÈRE. *Étude de faisabilité pour la reconnaissance automatique de grains de pollen*. 1997, Rapport de DEA, université de Nice-Sophia Antipolis.
- [34] S. MOISAN. *Une plate-forme pour une programmation par composants de systèmes à base de connaissances*. Habilitation à diriger les recherches, université de Nice, avril, 1998.
- [35] J. OSSOLA. *Coopération de systèmes à base de connaissances pour l'analyse et la reconnaissance d'objets naturels complexes : application au classement de galaxies ou de zooplanctons*. thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, mai, 1996.
- [36] P. STOKSETH. *Properties of a Defocused Optical System*. in « Journal of Optical Society of America », numéro 10, volume 59, octobre, 1969, pages 1314-1321.
- [37] M. THONNAT, A. BIJAOU. *Knowledge-based galaxy classification systems*. éditeurs A. HECK, F. MURTAGH., in « Knowledge-based systems in astronomy », série Lecture Notes in Physics, volume 329, Springer Verlag, 1989.
- [38] M. THONNAT, V. CLÉMENT, J. OSSOLA. *Automatic Galaxy classification*. in « Astrophysical Letters and Communication », numéro 1-6, volume 31, 1995, pages 65-72.
- [39] M. THONNAT, M. GANDELIN. *Un système expert pour la description et le classement automatique de zooplanctons à partir d'images monoculaires*. in « Traitement du signal, spécial I.A », numéro 5, volume 9, novembre, 1992, pages 373-387.
- [40] M. THONNAT. *The World of Galaxies*. édition Corwin, H. Jr. and Bottinelli, L., Springer Verlag, 1989, chapitre Toward an automatic classification of galaxies, pages 53-74.
- [41] R. TOMCZAK, P. BONTON, C. AUROYER, D. CAILLAUD, C. ROUQUET. *Traitement d'images et reconnaissance des formes appliquées à la mesure des taux de pollens dans l'air*. in « Journées Automatique, Agriculture et Agro-alimentaire », Clermont-Ferrand, France, 1997.
- [42] R. VINCENT, M. THONNAT, J. OSSOLA. *Program Supervision for Automatic Galaxy Classification*. in « Proc. of the International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology CISST'97 », juin, 1997.