

PROPOSITION D'ARC INRIA 2008-2009

BIO SERRE

-

Réseau de Capteurs pour la Détection Précoce des BIOagresseurs dans les Cultures sous SERRE sans Pesticides

Résumé

Une production agricole respectueuse de l'environnement (agriculture durable) est un défi majeur pour les disciplines scientifiques de l'agronomie et de la santé des plantes. En agronomie, la détection précoce de maladies s'inscrit dans ce défi. La Protection Biologique Intégrée (PBI) vise à minimiser l'utilisation de pesticides pour la protection des cultures au moyen de méthodes biologiques (introduction de biodéfenseurs). A cette fin, la détection précoce des bioagresseurs (insectes, champignons) est un élément-clé de la méthode. Cela nécessite des observations fréquentes et précises des plantes en serre qui ne sont pas compatibles avec des contraintes de production. Le but de BIOSERRE est de détecter automatiquement et de manière précoce les bioagresseurs. Actuellement, les systèmes de vision expérimentés dans les serres (en imagerie statique) sont restreints par leurs capacités d'échantillonnage spatial et temporel. Le but de cette proposition est de définir de nouvelles méthodes pour la détection précoce et *in situ* de bioagresseurs en se basant sur l'analyse et l'interprétation de scènes vidéo multi-capteurs.

Les données issues de cette analyse sont aussi d'une importance majeure pour les biologistes. En effet, notre projet permet également d'apporter de nouvelles données pour la compréhension et la modélisation du comportement des organismes vivants dans leur milieu naturel.

Ce projet regroupe les compétences des équipes-projets INRIA VISTA (Rennes) et ORION (Sophia Antipolis), Centre de Recherches de la Chambre d'Agriculture (CREAT, Nice), de l'Unité de Pathologie Végétale (INRA-UPV) de l'INRA Avignon et de STMicronics (STM, Rousset).

Le programme proposé correspond au défi prioritaire de l'INRIA «**Coupler modèles et données pour simuler et contrôler les systèmes complexes**».

mots-clés : vision cognitive, comportement de bioagresseurs, protection intégrée, surveillance temps-réel, réseau de capteurs

1 Introduction

1.1 Le Système de culture sous serre dans le contexte de l'agriculture durable

Le système de culture abritée (serres, abris) a vu le jour dans les années 1950-60 dans l'Europe du Nord. Il a conquis successivement les régions méditerranéennes et l'Extrême Orient (Japon, Corée) dans les années 70-80, l'Afrique du Nord le Moyen Orient et la Chine dans les années 80-90 et il s'étend actuellement avec le même succès dans les régions subtropicales et tropicales (Amérique du sud et centrale, Afrique de l'Est, Indonésie). C'est maintenant un système de production de masse incontournable qui assure l'approvisionnement des populations en fruits et légumes frais et en végétaux d'ornement toute l'année, dans toutes les régions et sous tous les climats du monde.

Ce système de culture est par essence un système de production intensive. Les investissements lourds liés aux structures et aux équipements font que le système serre est au plan financier plus proche d'un système industriel que d'un système agricole. La viabilité d'un tel système dans un contexte d'agriculture durable impose qu'on maîtrise les intrants (énergie, eaux, pesticides) et les sorties (déchets). Les techniques actuelles en matière de recyclage des solutions de fertilisation/irrigation permettent de limiter les consommations en matière d'eau et d'engrais. Cependant, subsiste le point noir des pesticides encore abondamment utilisés. Ces sont des substances chimiques, soumises à autorisation, le plus souvent toxiques vis-à-vis de la santé humaine et de l'environnement.

1.2 La Protection biologique intégrée

Depuis une vingtaine d'années, la plupart des professionnels tentent de réduire leur consommation de pesticides dans la protection des cultures contre les ravageurs (source INH, Angers). La Protection Biologique Intégrée (PBI) [1] des cultures utilise en priorité la protection biologique en complément de la lutte chimique, tout en intégrant les autres méthodes de protection (mécanique, génétique, etc.).

La protection biologique utilise contre un bioagresseur ennemi des plantes (insecte prédateur, champignon), des organismes vivants (insectes, acariens, champignons et autres micro-organismes), encore appelés *auxiliaires* ou *biodéfenseurs*. Dans ce projet nous sommes particulièrement concernés par la mise en place de la protection biologique intégrée comme alternative aux pesticides d'origine chimique.

2 Objectifs de la collaboration

2.1 La détection précoce des bioagresseurs comme objectif principal

Compte tenu des conditions de température et d'hygrométrie régnant sous une serre, les attaques (insectes, champignons) sont rapides et fréquentes. Cela nécessite des prises de décision quasi-immédiates pour éviter toute situation de pullulation difficilement réversible.



FIG. 1 – Exemple de bioagresseurs dans leur milieu naturel (feuille de rosier). De gauche à droite : aleurodes, pucerons et chenille.

Des études d'épidémiologie [7] ont par ailleurs montré que les attaques fongiques ou les foyers initiaux d'insectes ou acariens ne sont pas uniformément répartis dans la serre. Une cartographie précise des attaques permettrait aussi de faire un traitement ciblé au lieu d'un traitement volumique uniforme, consommateur de temps et de produits. La détection précoce des bioagresseurs est donc essentielle et c'est un facteur-clé de la réussite de la PBI [10]. Ceci implique des observations fréquentes et précises pour contrôler l'état biotique de la culture. Dans ce contexte, la collaboration entre des équipes de vision de l'INRIA et des équipes de protection intégrée de l'INRA et du CREAT est clairement motivée.

2.2 Objectifs scientifiques

Notre premier objectif est de pouvoir surveiller en continu la serre à plusieurs échelles en fonction des objets à surveiller. Cependant, l'installation d'un réseau de capteurs pour la vidéo surveillance est délicate dans un milieu naturel de production qui obéit à des contraintes spécifiques (contrôle de l'hygrométrie, tailles des plantes, etc.). Le positionnement, le nombre et la nature des caméras à utiliser sont donc des éléments essentiels afin d'obtenir un échantillonnage optimisé en coût/précision. Notre motivation est aussi basée sur le fait que le coût et la faisabilité de telles installations sont maintenant réalistes [20] et qu'elles apporteront de nouvelles possibilités d'observations inatteignables aujourd'hui.

Le deuxième objectif est de développer de nouveaux algorithmes pour la détection et le suivi d'objets complexes dans leur environnement naturel. Le défi majeur est d'atteindre un niveau de robustesse suffisant pour une surveillance en continu c'est-à-dire capable de s'adapter aux changements d'éclairage au cours de la journée. L'approche *in situ* proposée est non-destructive et non-invasive. Cela implique notamment d'utiliser des méthodes de suivi capable de s'adapter aux mouvements (oscillant ou aléatoire) des plantes.

Le troisième objectif de ce projet est d'intégrer ces différentes techniques originales au sein d'un système de vision cognitif. Les caractéristiques d'un tel système sont d'une part d'être facilement réutilisable dans les serres, et d'autre part de pouvoir s'adapter aux différents problèmes biologiques (i.e. détection d'autres bioagresseurs sur d'autres types de plantes). Notre approche cognitive utilise, en complément des techniques de vision classiques, des techniques d'apprentissage et des connaissances *a priori* du problème (i.e. description des objets par les experts du domaine ou description de l'utilisation des algorithmes de vision [15]).

Le quatrième objectif est de tester un nouveau concept de capteur biologique permettant de surveiller l'environnement en temps réel. En complément de la surveillance temps-réel, les données biologiques acquises aideront à la validation de modèles d'épidémiologie et, plus généralement, à la mise en oeuvre de la PBI. Cela pourra se faire «off-line» par l'utilisation de techniques de fouille de données.

2.3 Résultats précédents pour chaque partenaire

Une action de recherche INRA-INRIA (2004-2007 entre ORION et l'INRA-URIH à Sophia Antipolis) a déjà eu lieu et a commencé à s'attaquer à certains de ces objectifs. Pour automatiser et rendre performantes les observations faites sur les cultures sous serre, une collaboration sur plusieurs années a été mise en place entre deux équipes scientifiques aux thématiques complémentaires. Cette collaboration a donné lieu à deux thèses passées et une en cours. Des avancées significatives ont été faites dans trois domaines : choix du domaine spectral, choix de la résolution et choix de l'échantillonnage [5]. Le CREAT possède des installations d'expérimentation et sont l'interface entre la recherche et les producteurs. Ils cherchent actuellement à développer la protection intégrée auprès des développeurs [16].

Les équipes-projets VISTA et ORION partagent l'expertise nécessaire sur les techniques de détection, de suivi et d'interprétation de séquences vidéos.

En particulier, VISTA a développé des méthodes et des outils pour l'estimation du mouvement dans les images [17] ainsi que des méthodes pour la détection et la segmentation d'objets en mouvement dans des scènes dynamiques [8]. Cette expertise est fondamentale dans notre projet puisque le contexte environnemental est fortement perturbé (mouvement des feuilles dû au système de ventilation, mouvement rapide des insectes, etc.). VISTA a également une activité importante en suivi (déterministe ou stochastique) d'objets dans les vidéos et en reconnaissance d'objets et d'actions [12].

ORION a développé des outils de vision réutilisables, comme un langage général de description d'événements [19] qui a été utilisé dans des applications de vidéo surveillance [2]. D'autre part, ORION a proposé une plate-forme de vision cognitive [9] prenant en compte la connaissance des experts et des méthodes d'apprentissage pour la segmentation adaptative d'images [14].

Les partenaires INRA apportent leur expertise pour l'optimisation de l'échantillonnage en système de culture (acquisition *in situ*, test de capteurs), le diagnostic, la description des objets à reconnaître, ainsi que la compréhension de leurs interactions avec la culture (cycle de vie des bioagresseurs) [6]. L'INRA-UPV possède un savoir-faire sur des maladies (champignons) et des moyens de lutte alternatifs (biodéfenseurs anti-oïdium en particulier [4]).

STM possède une grande expertise dans la conception et l'intégration de capteurs vidéos et pourra ainsi fournir différents systèmes d'acquisition. STM maîtrise la technologie des systèmes sur puce («System On Chip» ou SoC) et des microcontrôleurs. STM a aussi une expérience en imagerie, depuis 12 ans (capteurs, optiques et traitements) et en communication sans fil (Bluetooth, etc.).

3 Activités scientifiques envisagées

Les activités du projet s'organisent autour de trois axes :

Concevoir un réseau de capteurs en serre : les caméras doivent résister à une utilisation prolongée en milieu humide et être assez petites pour pouvoir s'intégrer dans le couvert végétal sans le perturber. Le matériel informatique visé est du matériel du commerce, ce qui limite aussi la taille mémoire pour le stockage des vidéos et la puissance de calcul pour le traitement et l'analyse des données. Le défi est d'obtenir des résultats pertinents dans un délai bref (maximum quelques heures après l'acquisition).

Détecter et suivre les bioagresseurs : les bioagresseurs sont petits (taille de l'ordre du mm) et complexes (changement d'apparence, sous-parties mobiles). Ils évoluent dans un environnement dynamique avec des conditions de mesure variables (éclairage naturel, support vivant donc changeant). De plus, notre approche non-destructive impose une grande adaptabilité dans les méthodes d'acquisition. Concernant le suivi, les contraintes temps réel impliquent de combiner différentes approches (méthodes probabilistes, stochastiques, d'apprentissage) qui devront être évaluées et combinées pour délivrer des résultats robustes en temps-réel. Enfin, le suivi longue durée envisagé reste un réel défi. Cela impose de faire un tri des données à enregistrer et d'utiliser des algorithmes de détection de mouvement qui s'adaptent dynamiquement aux variations de l'environnement ou de l'apparence des objets, par exemple grâce à l'apprentissage des seuils de détection.

Interpréter et modéliser leurs comportements : les bioagresseurs évoluent dans un milieu naturel et leurs comportements répondent à plusieurs besoins (recherche de nourriture, reproduction, etc.) qui doivent être identifiés. Pour cela, les techniques complémentaires de reconnaissance d'événements développées par ORION et VISTA devront être adaptées. De plus, d'après les biologistes, certains comportements restent encore à analyser plus précisément (comme la prédation intra-guille¹). Ceci pourra se faire à l'aide de techniques de fouille de données, à partir, par exemple, de la trajectométrie des objets détectés.

Dans ce contexte, nous envisageons le plan de travail suivant qui s'articule autour de trois axes de recherche.

Réseau de capteurs en serre

La première étape de notre projet consiste à concevoir et installer un réseau de capteurs dans une serre de culture (par exemple de roses) mise à disposition par nos partenaires du CREAT. La disposition spatiale des capteurs est un point important ; nous nous appuyerons sur les travaux précédents conduits à l'INRA-URIH [13] et sur l'expertise des partenaires INRA et CREAT pour déterminer au mieux l'échantillonnage spatial 3D. Différentes configurations sont envisagées. Premièrement, il est important de surveiller les bioagresseurs entrants dans la serre ou à proximité immédiate de la culture. Nous utiliserons des pièges conçus par l'INRA pour les attirer afin de les filmer avec une caméra

¹prédation exercée entre des espèces au même régime alimentaire, par exemple, prédation entre prédateurs ayant les même types de proie

fixe. Deuxièmement, d'autres caméras seront utilisées pour filmer les parties des plantes attaquées en priorité (i.e. jeunes pousses) par les différents bioagresseurs. Nous utiliserons des caméras IP à capteurs CMOS ou CCD proposés par STM. Les caméras seront reliées à un réseau local existant par WIFI. La gestion des flux vidéos sera réalisée à l'aide d'un outil dédié déjà développé par ORION. Cet outil permet d'acquérir et de stocker des flux vidéos en provenance de plusieurs caméras IP.



FIG. 2 – Premier essai de capture vidéo à l'aide d'un capteur CMOS positionnée sous une feuille de rosier infecté par des Aleurodes (mouches blanches).

Détection et suivi des bioagresseurs

Le problème de la détection des bioagresseurs est rendu difficile par la faible résolution des objets, la complexité de leurs formes, les conditions de mesure changeantes, etc. Pour produire de bons résultats, nous proposons de combiner les techniques traditionnelles de la chaîne de vision (segmentation, détection, suivi et reconnaissance) avec d'autres techniques.

Premièrement, nous proposons d'utiliser des connaissances expertes *a priori* pour la description visuelle des objets d'intérêt afin de guider les algorithmes de détection. Pour cela, nous envisageons d'utiliser une ontologie de concepts visuels existante (couleur, texture, relations spatiales, etc.) et de l'étendre pour les aspects temporels.

Deuxièmement, afin de rendre les algorithmes de détection robustes aux variations de mesure, nous allons utiliser des techniques d'apprentissage. Par exemple, VISTA a déjà étudié des outils basés sur des histogrammes d'orientation de gradient et sur l'apprentissage par «boosting». ORION a aussi travaillé sur des méthodes d'apprentissage supervisé, telles que SVM et apprentissage à partir d'exemples, pour l'adaptation dynamique des algorithmes (par exemple, pour le réglage des paramètres de segmentation). Enfin, le mouvement des feuilles pourra être estimé par les approches d'estimation robuste du mouvement dominant développées il y a plusieurs années dans Vista [17].

Pour le suivi des bioagresseurs, nous nous baserons tout d'abord sur des techniques développées par ORION (par exemple, suivi long-terme et suivi global [3]). Dans le cadre d'un suivi en temps réel et sur une longue durée (typiquement une journée), ces techniques offrent un bon compromis entre robustesse et coût d'exécution. En complément, VISTA dispose de plusieurs outils [11]

déterministes (à base de nuages de points, ou d'histogrammes de couleurs) ou stochastiques (filtre de Kalman ou filtre particulaire), qui pourront être évalués et éventuellement combinés en fonction des performances obtenues et des contraintes de CPU et de mémoire.

Interprétation et modélisation des comportements

En plus de la détection des bioagresseurs, l'approche proposée fournira aux biologistes des données et des outils pour une meilleure compréhension du comportement des bioagresseurs, voire la découverte de nouveaux comportements. Le projet apportera des informations spatio-temporelles plus complètes que celles obtenues par les observations usuelles. Ceci permettra la mise en relation entre la propagation de l'infestation et les modèles d'épidémiologie existants. Ceci permettra également d'affiner les stratégies actuelles de lutte biologique.

L'interprétation sera automatisée grâce aux techniques de reconnaissance d'événements développées par ORION. Nous disposons en effet d'un moteur d'interprétation qui a été appliqué à la vidéo surveillance [3]. Nous étudierons la possibilité d'adapter ce moteur au problème.

ORION s'intéresse aussi depuis peu aux techniques de fouilles de données pour la découverte de connaissances [18]. Nous envisageons d'appliquer ces techniques pour construire des outils d'aide à la modélisation des comportements. Une étape-clé sera d'apparier les caractéristiques bas niveaux (par exemple, trajectoires ou distributions de densité d'individus) et leur interprétation en termes biologiques (par exemple, foyer d'infestation ou prédation). Nous appliquerons des techniques de *clustering* afin d'identifier des motifs pertinents dans les données, comme les répartitions spatiales, la présence simultanée d'espèces distinctes, les phases du cycle de vie (ex. ponte) ou les stades de développement (ex. larve).

4 Résultats attendus

Du point de vue INRIA, nous attendons des avancées dans la jeune discipline de la vision cognitive en termes d'architecture, d'algorithmes et de conception de systèmes pour la vidéo surveillance.

Plus concrètement, le projet aboutira à un prototype de système intégré de surveillance à valider dans un contexte de production. Ce prototype devrait permettre de surveiller en temps réel l'état biotique d'une serre. Actuellement, seules la gestion climatique et la gestion de la fertirrigation sont déjà automatisées. Ce projet pourra aussi servir de base pour la définition de nouveaux capteurs biologiques pour surveiller l'environnement.

Du point de vue des biologistes, le système permettra d'accéder à des phases précoces du démarrage des attaques fongiques (oïdium) ou des premiers foyers d'insectes (mouches blanches, pucerons). Ce point est essentiel car il permet de raccourcir le délai avant la prise de décision. A un niveau de connaissance plus fondamental l'analyse des données fournies par ces capteurs et capitalisées dans une base permettra de définir des types de comportement pour une espèce donnée ou pour deux espèces associées (par exemple, prédation intragilde). Ce projet permettra également de construire une base de données par type de

bioagresseurs interrogeable par les biologistes et les acteurs de la PBI, comme les fournisseurs d'insectes auxiliaires.

Enfin, les résultats scientifiques seront disséminés via des publications dans des conférences et revues internationales.

Les résultats seront fournis le long du projet selon le calendrier suivant :

- Système de surveillance de pièges lumineux avec caméra fixe pour le comptage et la reconnaissance des bioagresseurs (T0+10).
- Rapport contenant l'évaluation des performances de ce premier système et un retour sur l'échantillonnage spatio-temporel (T0+12).
- Système de surveillance pour les organes des plantes (T0+20).
- Rapport final d'évaluation des performances du prototype de système intégré de surveillance (T0+24).

Evaluation des résultats

Un des avantages de ce projet est la disponibilité de différents types d'expertise biologique. Les experts en lutte biologique permettront de valider la pertinence de l'approche pour la PBI en comparant une sous-partie de serre témoin et une autre sous-partie de serre surveillée par le système. Les spécialistes en étiologie valideront la précision des réglages des différents algorithmes : par exemple, un seuil de détection. Il influenceront aussi sur l'organisation du réseau de capteurs, en fonction des résultats.

Les partenaires INRIA pourront confronter leurs algorithmes aux observations traditionnelles menées par des opérateurs humains (i.e. comparaison de la détection obtenue avec un comptage manuel). Les critères de fausses détections seront prépondérants afin d'évaluer la sensibilité du système à différentes configurations *conditions de mesure* × *réglages des algorithmes*. Enfin, nous établirons aussi un ensemble de vidéos de test qui servira pour comparer les résultats d'interprétation obtenus par le système et les annotations des experts en entomologie.

5 Identité et rôle des participants

5.1 Consortium

VISTA	INRIA Rennes Equipe-projet VISTA - VIsion Spatio-Temporelle et Apprentissage mots-clés : modèles probabilistes, estimation du mouvement dans les images, trajectographie, apprentissage, imagerie biologique http://www.irisa.fr/vista/ participant : <i>Patrick Pérez</i> (DR INRIA)
ORION	INRIA Sophia Antipolis Méditerranée Equipe-projet ORION - Environnements de résolution de problèmes pour des systèmes autonomes

mots-clés : vision cognitive, systèmes réutilisables, interprétation automatique d'images et de vidéos, génie logiciel

<http://www-sop.inria.fr/orion/>

participants : *Sabine Moisan* (CR INRIA), *Monique Thonnat* (DR INRIA)

CREAT

Centre de Recherches de la Chambre d'Agriculture Nice

mots-clés : protection biologique intégrée (roses et fleurs diverses), prophylaxie

http://www.astredhor.asso.fr/d_web/web_astr2.nsf/pages/Accueil_Astredhor

participant : *B. Paris* (Directeur)

INRA-UPV

INRA Avignon

Unité Pathologie Végétale

mots-clés : étiologie des maladies des cultures, méthodes de diagnostic, stratégies de lutte intégrée

<http://www.avignon.inra.fr/>

participant : *P. Nicot* (DR INRA)

STM

STMicroelectronics Rousset

mots-clés : capteurs, microcontrôleurs, SoC, communication sans fil

<http://www.st.com>

participant : *Richard Petri* (chargé R&D)

5.2 Responsable du projet

Sabine Moisan

Sabine Moisan est chargée de recherches l'INRIA Sophia Antipolis depuis 1983. Elle travaille dans l'équipe-projet Orion, qu'elle a créé avec Monique Thonnat. Elle a obtenu un diplôme d'ingénieur ENSEEIHT Toulouse, puis une thèse (Université Toulouse) et une Habilitation diriger les recherches (Université de Nice Sophia Antipolis) en informatique. Ses recherches portent sur l'intelligence artificielle et le génie logiciel, particulièrement pour les systèmes à base de connaissances. Elle est responsable de l'axe «génie logiciel» dans l'équipe-projet Orion et elle s'intéresse au développement de plate-formes logicielles pour construire des systèmes de vision cognitive.

5.3 Role des partenaires

VISTA

Développement des méthodes d'estimation de mouvement des feuilles

	Suivi spatio-temporel, méthodes probabilistes
ORION	Développement des méthodes d'analyses de vidéos Méthodes d'intelligence artificielle Installation du système de vidéo surveillance
CREAT	Optimisation du plan d'échantillonnage Acquisition des données Conduite des cultures et observations traditionnelles
INRA-UVP	Expertise en description des bioagresseurs Evaluation des observations et des résultats
STM	Fourniture et intégration des capteurs vidéos pour l'acquisition de données

6 Conclusion

BIO SERRE est un projet ambitieux qui s'inscrit dans la durée et nécessite la collaboration de plusieurs expertises INRIA et INRA. Le projet s'appuie sur les acquis des équipes partenaires et, en particulier, sur la complémentarité de VISTA et ORION, ainsi que sur les travaux précédents entre ORION et l'INRA. L'application visée est novatrice au plan international et s'inscrit dans les préoccupations environnementales actuelles.

A plus long terme, cette action s'inscrit dans une démarche d'horticulture de précision qui vise à remonter depuis les défauts observés sur les produits récoltés jusqu'à la localisation précise de la plante dans la serre.

7 Justification des ressources demandées

7.1 Destination envisagée des crédits

- Un post-doctorat de deux ans qui partagera son temps entre les différents partenaires (2×41500 euros)
- Deux stagiaires de 6 mois (2×9000 euros)
- Participation à des conférences et des réunions (7000 euros)
- Equipements informatiques et réseau (PCs, bornes WIFI, câblage, etc.) (3000 euros)

Références

- [1] G. Altner, G. Baggiolini, M. and Celli, F. Schneider, and H. Steiner. La protection intégrée, une technique d'appoint conduisant à la production intégrée. *Bulletin OILB/SROP*, 4 :117–132, 1977.
- [2] A. Avanzi, F. Brémond, C. Tornieri, and M. Thonnat. Design and assessment of an intelligent activity monitoring platform. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2005(14) :2359–2374, 2005.

- [3] A. Avanzi, F. Brémond, C. Tornieri, and M. Thonnat. Design and assessment of an intelligent activity monitoring platform. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2005(14) :2359–2374, 2005.
- [4] M. Bardin, M. Suliman, A. Sage-Palloix, Y. Mohamed, and P. Nicot. Inoculum production and long-term conservation methods for cucurbits and tomato powdery mildews. *Mycological Research*, 3 :740–747, 2007.
- [5] P. Boissard, V. Martin, and S. Moisan. A cognitive vision approach to early pest detection in greenhouse crops. *Computer and Electronics in Agriculture*, 2007.
- [6] P. Boissard, G. Pérez, and P. Béarez. La détection précoce des bioagresseurs : vers une horticulture de précision. In *4èmes Rencontres du Végétal*, pages 101–103, Institut National d’Horticulture, Angers, France, Janvier 2007.
- [7] R. Boll, C. Marchal, C. Poncet, and L. Lapchin. Rapid visual estimates of thrips (thysanoptera : Thripidae) densities on cucumber and rose crops. *J. Econom. Entomol.*, 100(1) :225–232, 2007.
- [8] A. Bugeau and P. Pérez. Detection and segmentation of moving objects in highly dynamic scenes. In *Proc. Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recog. (CVPR’07)*, Minneapolis, MI, June 2007.
- [9] C. Hudelot. *Towards a Cognitive Vision Platform for Semantic Image Interpretation; Application to the Recognition of Biological Organisms*. PhD thesis, Nice-Sophia Antipolis University, 2005.
- [10] L. Lapchin and D. Shtienberg. *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*, volume 14, chapter Sampling and Monitoring Pests and Diseases, pages 82–96. Kluwer academic publishers, Dordrecht, 2002.
- [11] I. Laptev. On space-time interest points. *Int. J. Comput. Vision*, 64(2-3) :107–123, 2005.
- [12] I. Laptev, B. Caputo, C. Schuldt, and T. Lindeberg. Local velocity-adapted motion events for spatio-temporal recognition. *Computer Vision and Image Understanding*, 2007.
- [13] J. Levy, P. Boissard, G. Pérez, P. Pyrrha, and L. Fahrmeir. Modelisation of spatial and temporal heterogeneity of a pathosystem in greenhouse crop. *Bull. Mathematical Biology*, 2007.
- [14] V. Martin and M. Thonnat. *Scene Reconstruction, Pose Estimation and Tracking*, chapter A Learning Approach for Adaptive Image Segmentation, pages 431–454. 2007.
- [15] S. Moisan. Knowledge representation for program reuse. In *European Conference on Artificial Intelligence (ECAI)*, pages 240–244, Lyon, France, July 2002.
- [16] O. Nicolas, P. Gros, Y. Boujot, L. Cambournac, J. N. Champoussin, C. Franceschini, R. Lanza, and B. Paris. Integrated biological protection in rose cut flower cultivation : overview of 5 years experimentation in alpes-maritimes. *PHM Revue Horticole*, (469) :39–42, 2005.
- [17] J.-M. Odobez and P. Bouthemy. Robust multiresolution estimation of parametric motion models. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 6(4) :348–365, 1995.
- [18] J. Patino, H. Benhadda, E. Corvee, and M. Brémond, F. Thonnat. Video-data modelling and discovery. In *International Conference on Visual Information Engineering VIE 2007*, London, UK, 25th -27th July 2007.
- [19] V.-T. Vu, F. Brémond, and M. Thonnat. Automatic video interpretation : A novel algorithm for temporal scenario recognition. In *The Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI’03)*, Acapulco, Mexico, 2003.
- [20] N. Wang, N. Zhang, and M. Wang. Wireless sensors in agriculture and food industry—recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50(1) :1–14, January 2006.