

5 – Equipe Image

5-1. Composition de l'équipe

Responsable actuelle : Marinette Revenu (PR)

Responsable actuelle : S. Ruan Guo (MC-HDR)

Membres permanents

D. Bloyet (PR 0,25), R. Clouard (MC), M. Desvignes (MC-HDR, départ en sept. 2002), A. Elmoataz (MC 0,5 – HDR), M.J. Fadili (MC, arrivé en sept. 2001), S. Fourey (MC, arrivé en sept. 2001), C. Porquet (MC), H. Rahbar (MC, intégration en 2002), M. Revenu (PR), S. Ruan Guo (MC-HDR), R. Malgouyres (MC, nommé PR à Clermont-Ferrand en sept. 2000), P. Nugues (PR en détachement depuis sept. 2001).

Chercheurs-doctorants

F. Angot (fin en 1999), J. Bailleul (déb. en 2001), S. Bougleux (déb. en 2002), O. Bentrach (déb. en 2002), W. Dou (déb. en 2001), E. Dumas (fin en 2000), J. Fadili (fin en 1999), E. Faurot (déb. en 2000 - 30 %), V. Ficet-Cauchard (fin en 1999), N. Flasque (fin en 2001), S. Fourey (fin en 2000), A. Lenoir (fin en 1999), O. Lezoray (fin en 2000), C. Meurie (déb. en 2001 - 50 %), C. Renault (fin en 2001), B. Romaniuk (déb. en 1999), S. Schüpp (fin en 2000).

Post-doctorants

J. Xue (1999, un an), H. Li (nov. 2002, un an).

Membres associés

Q.Liao (PR chinois associé), P. Clochon (CR INSERM - IFR 47).

5-2. Présentation et objectifs généraux

Mots-clés : approches numériques et approches symboliques pour le traitement et l'analyse d'images, modèles géométriques, reconstruction de formes et de volumes, géométrie discrète, préservation de la topologie, théorie axiomatique, détection, estimation, segmentation, reconnaissance de formes, relations spatiales, ingénierie des connaissances, système à base de connaissances, raisonnement par cas, méthodologie de développement, système multi-agents pour l'interprétation d'images.

Résumé

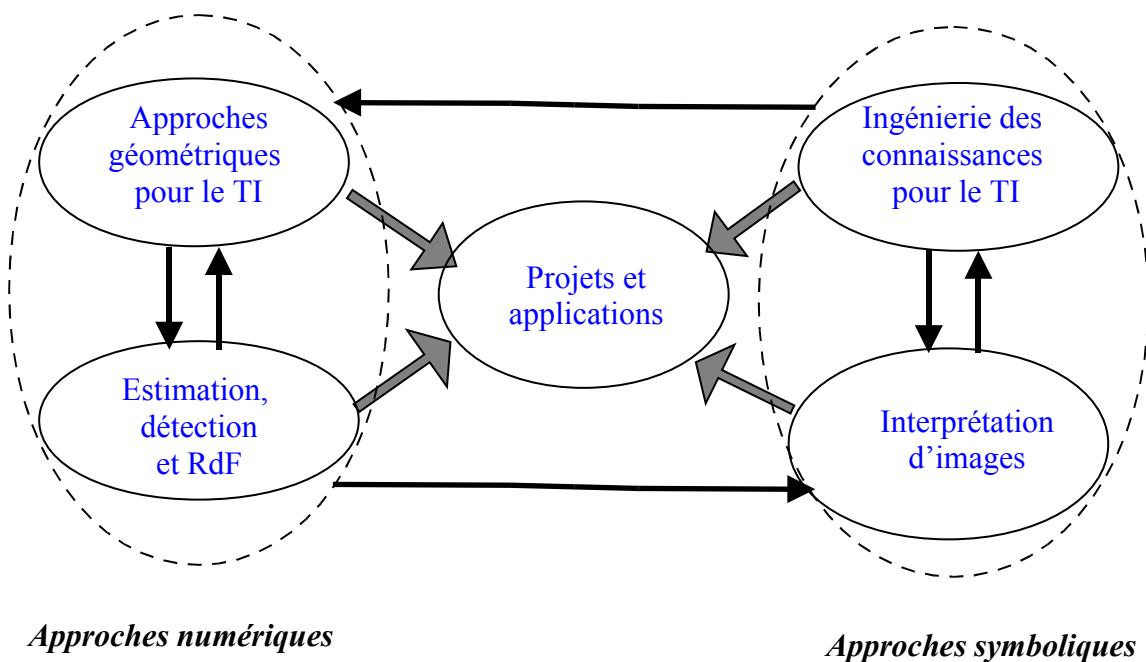
L'équipe Image est composée de chercheurs d'origines variées (physique, mathématiques, informatique, intelligence artificielle). Cette variété de compétences lui permet d'aborder l'analyse du contenu des images selon plusieurs points de vue ou paradigmes de modélisation et de concevoir de nouveaux algorithmes. Elle bénéficie aussi de la proximité de centres de recherche en imagerie biomédicale et, de ce fait elle dispose de bases d'images conséquentes et elle est confrontée à des problèmes difficiles à résoudre pour lesquels il est nécessaire de disposer d'une expertise d'interprétation. Malgré cette prédominance, l'équipe souhaite s'ouvrir à d'autres thématiques applicatives issues des domaines industriels pour le multimédia et ainsi tester et valider les outils

développés dans le cadre des applications biomédicales.

L'organisation de l'équipe se décline selon trois axes :

- Les approches numériques pour le traitement d'images et la reconnaissance des formes,
- Les approches symboliques pour la modélisation des compétences en traitement d'images et des connaissances sur les objets à identifier,
- Les projets thématiques et les applications.

Organisation



Répartition des chercheurs permanents dans les thèmes

- Approches géométriques pour le Traitement d'Images : **A. Elmoataz** (0,5), S. Fourey.
- Estimation, détection et reconnaissance des formes : **J. Fadili**, S. Ruan, D. Bloyet (0,25).
- Ingénierie des connaissances pour le Traitement d'Images : **R. Clouard**, M. Revenu (0,5).
- Interprétation d'images : **C. Porquet**, M. Revenu (0,5).
- Applications en imagerie : P. Nugues* (0,2), H. Rahbar**.

* P. Nugues est actuellement en détachement et son activité est décrite avec celle de l'équipe ISLand dirigée par Anne

Nicolle.

*** H. Rahbar a intégré l'équipe depuis juin 2002 et a débuté une activité de recherche en synthèse d'images dans le cadre d'une convention d'étude portant sur la création d'un logiciel de rendu 2D style dessin animé de scènes 3D pour la société en émergence TOON-AXIS.*

Objectifs généraux

Le travail de recherche de l'équipe Image est guidé par trois motivations :

1. Développer de nouveaux algorithmes de traitement et d'analyse d'images fondés sur des modèles ; l'image est vue soit comme une surface, ce qui conduit aux approches géométriques qui privilégient les représentations par courbes de niveaux, par graphes d'éléments de surface, etc., soit comme une fonction multivaluée (modalités d'acquisition, séquences temporelles), associée à des connaissances a priori sur les images. Ces connaissances sont, par exemple, des modèles de bruit, des modèles statistiques d'objets obtenus à partir de bases d'images expertisées. Ces travaux sont regroupés sous l'étiquette « approches numériques ».
2. Expliciter et représenter les compétences et connaissances mises en œuvre dans le développement d'applications de traitement d'images. L'approche se veut ici résolument symbolique, déclarative et complémentaire de l'approche numérique. Dans le thème « Ingénierie des connaissances », on s'évertue à modéliser les savoir-faire des « traiteurs d'images » pour le développement d'opérateurs, et aussi pour le choix, l'enchaînement et le paramétrage de ces opérateurs. L'objectif ultime est de faire émerger des stratégies de résolution en fonction du contenu des images et des buts d'interprétation. C'est un thème tout à fait d'actualité dans le contexte de la capitalisation des connaissances en entreprises et dans les équipes de recherche, quel que soit le domaine d'application. L'atelier logiciel de l'équipe est la partie la plus visible de ce thème. L'autre thème s'inscrivant dans l'approche symbolique vise la modélisation des connaissances pour l'interprétation des images. Ce thème est nouveau dans l'équipe et nous comptons explorer des modélisations symboliques d'objets et les capacités des architectures multi-agents pour faciliter la mise en œuvre de stratégies de segmentation différentes selon les zones de l'image et selon les objets à détecter.
3. Enrichir mutuellement les approches numériques et les approches symboliques, et résoudre des problèmes concrets. La proposition de plusieurs projets thématiques tend à expliciter les moyens que se donne l'équipe pour aboutir à une harmonie « idéale » entre numérique et symbolique. Les projets applicatifs fournissent l'opportunité de se poser des problèmes difficiles, de diffuser notre savoir-faire en imagerie biomédicale et en imagerie industrielle, et aussi de coopérer avec des équipes de recherche appliquée, que ce soit régionalement, nationalement ou internationalement.

Bilan par rapport aux perspectives 1999

Bilan chiffré

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Revue internationale..... | 36 |
| Ouvrages..... | 3 |
| Conférences internationales avec comité de lecture et actes..... | 53 |
| Revue nationale..... | 3 |
| Conférences nationales avec comité de lecture et actes..... | 12 |
| Thèses soutenues entre novembre 1998 et octobre 2002..... | 12 |
| Habilitations à diriger des recherches..... | 4 |

L'organisation de l'équipe se présente en continuité avec les perspectives développées en 1999, avec cependant quelques aménagements liés au départ d'enseignants chercheurs. Le départ de Rémy Malgouyres a conduit au regroupement des activités « Algorithmes et structures discrètes » et « Modèles géométriques ». De même, le départ de Pierre Nugues et l'orientation de son activité vers l'étude des interactions homme-machine par le biais de la réalité virtuelle ont mené à considérer que cette activité de recherche était plus proche des préoccupations de l'équipe ISLanD que de l'équipe Image.

Les résultats chiffrés sont très encourageants. De nouveaux projets applicatifs ont abouti à des contrats. Citons principalement Télécrâne Innovation et Philips Composants. La nomination de deux MC en 2001, ainsi que la soutenance de plusieurs HDR, ont donné un nouveau souffle à l'équipe. Le point négatif est actuellement le faible nombre de thésards, mais deux thèses pour lesquelles nous avons des financements vont démarrer en octobre. Par ailleurs, un nouveau thème de recherche sur la « synthèse d'image » est actuellement en cours d'émergence par le biais de l'accompagnement d'une création d'entreprise et de l'implication de Hamid Rahbar (thèse d'État en mathématique), enseignant la synthèse d'images à l'Université de Caen, dans l'équipe Image.

5-3. Thèmes de recherche

5-3.1. Approches géométriques pour le Traitement d'Images

Ce thème correspond au regroupement des thèmes proposés en 1999 : « Algorithmes et structures discrètes » et « Modèles géométriques ».

Participants :

Permanents : *Abder Elmoataz (0,5), Sébastien Fourey.*

Thèses soutenues : *François Angot, Sébastien Fourey, Alexandre Lenoir, Olivier Lezoray, Sophie Schüpp.*

Thèses en cours : *Cyril Meurie (oct. 2001, 0,5), Sébastien Bougleux (oct. 2002).*

Mots clés : modèles géométriques, reconstruction de formes et de volumes, géométrie discrète, préservation de la topologie, théorie axiomatique.

Résumé : les travaux du groupe ont porté sur les aspects théoriques et sur des représentations d'images mettant en relation des considérations géométriques, les approches variationnelles, les modèles non linéaires et les représentations discrètes d'images par morphologie ou par graphe pour appréhender l'image et bien entendu l'analyser et la traiter.

5-3.1.1. Objectifs

Les travaux de recherche ont été validés à travers différentes applications en imagerie numérique. Ainsi plusieurs collaborations ont été établies dans trois domaines de l'image : l'imagerie médicale 2D/3D, l'imagerie des matériaux (analyse et synthèse) et le multimédia.

Ces travaux se sont organisés autour de trois centres d'intérêts :

- Développement de modèles et algorithmes pour le traitement et l'analyse d'images. Cette

recherche répond à la nécessité de disposer d'une variété de processus de traitement d'images pour résoudre des applications et les valider aussi bien sur des images en niveaux de gris 2D que sur des images couleur mais également sur des images 3D issues entre autres de la microscopie confocale.

- Etude d'un formalisme géométrique fiable et adapté au caractère intrinsèquement discret des images manipulables par l'outil informatique : définition de ce cadre géométrique, plus particulièrement des notions liées à la topologie, et mise au point d'algorithmes de traitement, d'analyse ou de synthèse basés sur l'arithmétique entière.
- Résolution d'applications effectives en traitement d'images. Cet axe regroupe des travaux sur la résolution d'applications effectives dans des domaines de l'imagerie microscopique médicale, de l'imagerie microscopique des matériaux et du multimédia.

5-3.1.2. Résultats

➔ Développement de modèles et algorithmes pour le traitement et l'analyse d'images

Les recherches sur l'étude et le choix des modèles et algorithmes numériques sont liés au choix des représentations des images. Représenter une image, c'est trouver la meilleure façon à partir de laquelle une image doit être décrite par des modèles (mathématiques ou autres) établis. Le choix des représentations des images peut être justifié en fonction de leur utilisation. Le groupe a privilégié deux types de représentation : les représentations discrètes par morphologie ou par graphes et les représentations continues basées sur la théorie des analyses multi-échelle (scale-space). Ces dernières sont bien adaptées à l'analyse d'images. En effet, elles se présentent comme des modèles formalisant un certain nombre d'opérations bas niveau de la vision. C'est dans le cadre de cette dernière représentation que nous avons choisi d'étudier les modèles géométriques basés sur certaines équations de déformation de courbes ou de surfaces.

Publications : 5T10, 5T12, 5H2, 5A1, 5A2, 5A4, 5A5, 5A10, 5A21, 5A22, 5A23, 5A33, 5A34, 5B1, 5B3, 5B7, 5B21, 5B23, 5B24, 5B25, 5B26, 5B42, 5B43, 5B44, 5B45, 5B46, 5B47, 5B48, 5B49, 5B50, 5B51, 5D2, 5D3, 5E12.

Modèles géométriques

En traitement et analyse d'images, les modèles géométriques sont utilisés avec succès pour formuler des traitements variés tels que le lissage sélectif, la restauration d'image, le rehaussement de contraste, la déconvolution, la détection de contours, la morphologie continue, l'analyse invariante de formes, la segmentation, la détection et le suivi des objets en mouvements, etc. En particulier en segmentation d'images, ils ont permis d'unifier différentes approches orientées contours ou régions.

L'idée de base est de formuler un traitement donné comme la déformation d'une courbe, surface ou d'une image donnée selon une équation aux dérivées partielles (EDP) ou un système couplé d'EDP, et d'obtenir le résultat désiré comme solution de cette EDP.

Avec la thèse de Sophie Schüpp, nous avons concentré les travaux de recherche sur deux problèmes importants liés à l'utilisation des EDP en traitement d'images :

- Le premier est le pré-traitement regroupant le filtrage d'images préservant les contours, le rehaussement ou la simplification d'images.
- Le second est celui de l'extraction automatique ou semi-automatique des objets dans une image, et leurs représentations.

Dans le domaine du pré-traitement, après une synthèse de différents travaux, nous avons mis en œuvre une classe d'opérateurs basés sur un modèle combinant des processus de filtrage par diffusion et de choc. Dans ce modèle une image de dimension N est considérée comme une surface

dans un espace $N + 1$, le filtrage est alors formulé comme la recherche d'une surface minimale relativement à une métrique dépendante de l'image. Ces filtres ont montré leur pertinence comme filtres conjuguant le lissage du bruit et le rehaussement de contraste.

Nous nous sommes également intéressés à la formulation par EDP à l'aide de filtres de morphologie mathématique fondés sur la reconstruction. Nous avons montré leurs performances en tant que filtres de simplification d'une image, car ils permettent également de résoudre facilement et d'une manière efficace certains problèmes de pré-traitement relevant de l'interpolation d'images 3D ou de la métamorphose entre deux images ou entre deux objets.

Dans le domaine de la segmentation, nous avons choisi d'étudier et d'analyser les méthodes reposant sur certaines équations d'évolutions de courbes ou surfaces et leur implémentation par la méthode des ensembles de niveaux. Nous avons considéré les méthodes basées sur les ensembles de niveaux géométriques ou à progression rapide et nous avons montré que ces algorithmes sont bien adaptés pour résoudre des problèmes en segmentation d'images (contours actifs géodésiques, contours actifs par méthodes variationnelles, ligne de partage des eaux, croissance de régions, détection de structures linéaires) ou en segmentation géométrique (diagramme de Voronoï, distance pondérée, etc.).

On a pu constater que les contours actifs géodésiques permettent d'extraire les objets tout en gérant facilement les changements de topologie, qu'ils sont sensibles à l'initialisation et à la direction d'évolution et qu'ils ne permettent de détecter que des objets caractérisés par un bon contraste aux frontières. Les méthodes variationnelles associées aux méthodes des ensembles de niveaux quant à elles permettent de pallier ce genre de problèmes. Cependant, malgré les avantages cités de ces modèles, ils restent très coûteux en temps de calcul et leur utilisation en segmentation d'images quantitative nécessite une initialisation automatique.

Pour pallier ces deux problèmes, nous avons proposé de considérer les modèles géométriques non régularisés basés sur la résolution de l'équation eikonale par des algorithmes rapides. Nous avons proposé une modification pour tenir compte de l'évolution multiple et simultanée de plusieurs contours. Le problème d'initialisation automatique a été peu abordé dans les travaux sur les contours actifs. Nous avons proposé une initialisation automatique, qui comporte deux étapes : une détection de germes et une classification de ces germes. La détection d'un ensemble de germes à l'intérieur des objets, est réalisée par des opérateurs morphologiques orientés objets. Les germes sont ensuite classés automatiquement en plusieurs ensembles selon des caractéristiques globales d'intensité ou de couleur. Par la suite, ces germes évoluent simultanément jusqu'à ce que leurs frontières viennent épouser les objets de l'image.

Représentation d'image dans le contexte de la théorie des graphes et morphologie discrète

Nous avons travaillé également dans le contexte d'une représentation discrète d'images par les graphes. En effet, différents problèmes en analyse d'images, peuvent se modéliser par des graphes de voisinage. C'est le cas pour les deux problèmes suivants :

- des problèmes mettant en jeu des populations d'objets et des relations de voisinage entre ces objets.
- et des problèmes relevant de la segmentation hiérarchique 2D ou 3D.

Un exemple en imagerie biomédicale est l'étude quantitative des tissus cellulaires sur coupes histologiques en vue de l'analyse de l'architecture tissulaire, de la classification de certaines zones, ou de la caractérisation de la manière qu'une population de cellules de type A, se répartit au milieu de cellules de type B (le type peut être identifié par une grandeur donnée sur une caractéristique des objets, une coloration, etc.). Notre choix d'une représentation par graphes a été motivé initialement par ce genre de problèmes.

En segmentation hiérarchique 2D ou 3D, ou d'une manière générale, dans beaucoup de méthodes de segmentation par fusion ou croissance de régions, on procède à une décomposition de l'image initiale en une mosaïque de régions, pouvant être représentée par un graphe, qu'on peut contracter pour arriver à une segmentation acceptable.

Dans le cadre de la thèse de François Angot, nous avons mis en œuvre des opérateurs variés de traitement d'images manipulant des graphes 2D et 3D. Ces opérateurs sont intégrés dans l'environnement de développement "PANDORE". Parmi ces opérateurs, on peut mentionner les classes d'opérateurs suivants : construction de différents types de graphes, descripteurs 2D et 3D de forme d'un nuage de points ou d'objets, pré-traitement et simplification de graphes. Ces différents opérateurs ont été validés sur des applications en imagerie médicale microscopique comme la quantification de la topographie ou l'architecture des tissus.

Avec la thèse d'Olivier Lezoray, nous avons travaillé sur la segmentation d'images couleur par morphologie mathématique et sur la classification de données par réseaux de neurones. Ces travaux ont trouvé des applications en imagerie microscopique tout d'abord dans le cadre d'un système d'Aide et de Reconnaissance par Traitement d'Images pour la Cytologie des séreuses (ARTIC).

→ Algorithmes et structures discrètes

Cette thématique concerne la recherche d'un formalisme géométrique fiable et adapté au caractère intrinsèquement discret des images manipulables par l'outil informatique. Une des grandes motivations de cette activité est la mise au point d'algorithmes de traitement, d'analyse ou de synthèse basés sur l'arithmétique entière. Nous nous sommes donc intéressés à la fois à la définition de ce cadre géométrique, plus particulièrement aux notions liées à la topologie, et aussi à la mise au point de nouveaux algorithmes orientés traitement et analyse.

Publications : 5T9, 5T6, 5H3, 5A3, 5A16, 5A17, 5A18, 5A24, 5A25, 5A26, 5A27, 5A28, 5B2, 5B16, 5B17, 5B18, 5B19, 5B20, 5B27.

Homotopie et préservation de la topologie

Le problème de la caractérisation de l'homotopie, relation entre deux objets qui sont identiques moyennant une déformation préservant la topologie, reste encore et toujours ouvert. Ce problème, en rapport étroit avec celui des nœuds, reste très difficile. Cependant, plusieurs travaux qui en sont inspirés ont été réalisés.

Dans la continuité des recherches menées par Alexandre Lenoir sur les surfaces discrètes (dites *surfaces de surfels*), Rémy Malgouyres a proposé une méthode permettant de calculer une présentation du groupe fondamental pour les espaces discrets de dimension quelconque. Le groupe fondamental est en effet un invariant topologique de base que l'on peut qualifier d'incontournable dès lors qu'il s'agit d'étudier la préservation de topologie.

Dans le même domaine, la thèse de Sébastien Fourey a apporté de nouveaux résultats en montrant d'une part que le groupe fondamental est suffisant pour caractériser complètement la préservation de la topologie dans le cas des surfaces discrètes. Dans cette même thèse, une contribution au développement du formalisme topologique évoqué ci-dessus a aussi été apportée. En effet, une caractérisation complète et simplifiée des *voxels* simples (*pixels* d'une image 3D dont la suppression ne modifie pas les propriétés topologiques d'un objet), utilisant le formalisme offert par le groupe fondamental, a été donnée et démontrée. La preuve de la validité de cette caractérisation repose sur l'utilisation du nombre d'entrelacement (*linking number*), nouvel invariant topologique dans le cadre discret, défini dans la thèse de Sébastien Fourey. Ces résultats montrent l'utilité de la mise au

point d'un cadre théorique fiable dans lequel des résultats importants ont pu être démontrés.

Mise au point d'algorithmes pour le traitement et l'analyse

D'autres travaux sur les surfaces de surfels ont été menés dans le cadre de la thèse de Jasmine Burguet, commencée au GREYC et poursuivie au sein du LLAIC à l'Université d'Auvergne de Clermont-Ferrand. Jasmine Burguet a mis au point une méthode de facettisation utilisant un algorithme de squelettisation basé sur les points P-simples (notion proposée dans le cas 3D par Gilles Bertrand et adaptée aux surfaces de surfels par Jasmine Burguet au cours de son stage DEA au GREYC).

Conclusion

L'activité *Algorithmes et structures discrètes* a vu le départ de Rémy Malgouyres qui a été nommé professeur à l'Université d'Auvergne en septembre 2000 ainsi que celui de Jasmine Burguet, doctorante partie elle aussi à Clermont-Ferrand et qui devrait soutenir sa thèse en 2002. Sébastien Fourey, qui a soutenu en juillet 2000, a été recruté en tant que maître de conférences, rattaché au GREYC Image (après une absence d'une année pendant son stage post-doctoral). Le bilan scientifique de cette activité reste largement positif en dépit de ces nombreux mouvements d'effectifs.

→ Résolution d'applications effectives

Le groupe a consacré un effort particulier aux développements d'applications à travers différentes collaborations avec des médecins et des pathologistes. Plus récemment, on a abordé d'autres applications de segmentation en vue de l'analyse des matériaux et de l'indexation d'images.

- En imagerie médicale microscopique, les problèmes étudiés en collaboration avec des médecins et des biologistes relèvent de la quantification cellulaire, de l'identification ou de la reconnaissance de catégories de cellules et de la quantification de l'architecture des cellules. L'objectif final est de proposer des logiciels aidant à l'amélioration des diagnostics et des pronostics des cancers, ou d'évaluer le pouvoir carcinogène d'un produit chimique sur des cellules.
- En imagerie des matériaux, les problèmes étudiés relèvent de l'analyse et de la synthèse d'images de matériaux observés sous microscope à balayage électronique. Le premier objectif est le développement de logiciels spécifiques de mesure de taille et de paramètres morphologiques en prenant comme exemple des matériaux de type céramique. Le second objectif porte sur la recherche et la synthèse de modèles 3D permettant de caractériser ces matériaux.
- En multimédia, les problèmes étudiés concernent la détection automatique et la structuration du texte des documents images ou en imagerie vidéo. Les objectifs sont variés et peuvent concerner de l'archivage de coupure de presse sous forme numérique, l'extraction de l'information textuelle à partir de documents scannés ou l'indexation d'images.

Analyse d'images 2D et 3D en microscopie cellulaire

Une plate-forme logicielle d'aide au diagnostic en cancérologie est actuellement en cours de développement en collaboration avec le LUSAC, l'Hôpital Pasteur de Cherbourg et le Centre François Baclesse de lutte contre le cancer.

Par ailleurs, au travers de diverses collaborations, le groupe a travaillé sur plusieurs projets :

- Quantification de l'ADN en cytologie,
- Quantification des immunomarquages des coupes de tissus,
- Tri et reconnaissance de catégories cellulaires en cytologie des séreuses,
- Quantification de l'architecture osseuse,
- Quantification de la présence des contacts focaux sur des images 3D issues de la microscopie confocale,
- Quantification du test SHE sur des images 3D issues de la microscopie confocale.

Granulométrie et modélisation de céramiques par analyse d'images

Le projet industriel « Modélisation et logiciel de granulométrie de matériaux associant la société ADCIS, le LERMAT et le GREYC est en cours. L'objectif de ce projet est de déterminer automatiquement par analyse d'images la granulométrie des matériaux, puis de développer un modèle 3D permettant d'accéder à tous les paramètres morphologiques 3D dont le nombre de particules par unité de volume. Les problèmes abordés sont de deux niveaux :

- Segmentation et caractérisation des joints de grains sur des images 2D de différentes céramiques.
- Synthèse de modèles basés sur les diagrammes de Voronoï et de Johnson-Mehl. Les travaux basés sur la déformation des surfaces et leur implémentation par la méthode des ensembles de niveaux ont été utilisés.

Détection automatique et structuration du texte dans les images

A travers différents projets scientifiques (collaboration avec des universités marocaine et canadienne) ou industriels (société Manréo), les objectifs sont la détection automatique de visages, de textes dans des documents électroniques ou dans des images vidéo et la recherche d'informations par le contenu des images. Les travaux de segmentation par ensemble de niveaux et par morphologie continue développés par le groupe, ont également été appliqués ici.

Youssef Chahir du GREYC et Sophie Schüpp dans un travail commun, ont développé une méthode automatique pour l'indexation et la recherche d'images par le contenu. Ils ont introduit une nouvelle méthode automatique de segmentation d'images couleur. Cette méthode combine la classification floue, les contours actifs et des opérateurs morphologiques.

La méthode de segmentation commence par une étape d'identification des germes qui sont ensuite classifiés automatiquement en plusieurs classes selon leurs caractéristiques couleurs. Cette étape d'initialisation est suivie d'une phase de propagation simultanée des contours de tous les germes pour venir épouser les contours des objets de l'image. Cette propagation se fait de l'intérieur vers l'extérieur.

Une fois que les objets sont délimités, leur signature spatiale est extraite en définissant des relations spatiales entre les objets dominants de l'image. Pour retrouver l'information d'une image par le contenu, un algorithme de recherche par similarité basé sur le principe du vote a été développé.

5-3.1.3. Perspectives

Mots clés : modèles géométriques, reconstruction de formes et de volumes, géométrie discrète, préservation de la topologie, théorie axiomatique.

Les recherches vont se poursuivre selon deux axes : modèles et algorithmes et applications.

→ Modèles et algorithmes

Analyse d'images 2D et 3D en microscopie cellulaire

On envisage de considérer d'autres problématiques relevant du pré-traitement, comme la restauration d'images de données scalaires ou vectorielles sur des surfaces. Il serait intéressant également de considérer la restauration d'images où l'information est manquante, comme pour les images contenant des taches ou des objets masquant l'information intéressante.

Pour les modèles géométriques, on propose d'allier l'utilisation des surfaces actives géométriques et l'information statistique sur les formes pour résoudre deux problèmes en analyse d'images et en visualisation scientifique :

- Le premier est celui de la segmentation d'images 3D robuste par surface actives pouvant intégrer des informations statistiques a priori sur la forme des objets à extraire. Différents exemples d'applications seront considérées : extraction rapide et robuste d'objets ou de structures anatomiques en IRM, segmentation d'images de radiologie 3D pour l'endoscopie virtuelle, extraction de cellules ou de groupement de cellules en microscopie confocale. On souhaite étendre cette approche pour qu'elle puisse intégrer une information géométrique relative aux formes recherchées dans l'image. Cette information a priori sera obtenue par apprentissage non paramétrique à partir d'exemples de formes du type de celle recherchée.
- Le deuxième est celui de la reconstruction de surfaces ou de volumes à partir d'un nuage de points ou de formes non organisées. Ce problème trouve différentes applications en informatique graphique et en imagerie médicale 3D. Ce problème est souvent traité dans le cadre de modèles triangulaires. Nous voulons l'aborder par des modèles implicites d'interpolation basés sur l'évolution de surfaces et les méthodes des ensembles de niveaux.

Représentation morphologiques par graphes

Des travaux récents ont montré l'intérêt de cette représentation comme représentation complète et invariante par changement de contraste pouvant répondre à différents problèmes : simplification des images, segmentation d'images, comparaison globale de deux images. Il serait intéressant de représenter explicitement tous les ensembles de niveaux d'une image par des graphes et réaliser des traitements d'images directement sur ces graphes. Dans le cadre de la thèse de C. Meurie, on se propose également d'adapter la représentation morphologique au cas de la couleur.

Reconstruction et analyse de surfaces ou de volumes

La reconstruction et l'analyse de surfaces ou volumes dont on ne connaît qu'un ensemble de points non organisés, trouvent des applications dans plusieurs domaines tels que l'imagerie médicale ou l'informatique graphique. Nous proposons l'étude de la problématique de détection et de représentation de la forme adéquate de points dans le cadre de deux représentations complémentaires. La première est basée sur les modèles triangulaires où nous envisageons d'utiliser le concept des A-formes, dérivé de modèles triangulaires. La seconde est basée sur des méthodes d'interpolation par déformation de surfaces et les ensembles de niveaux.

→ Algorithmes et structures discrètes

De nombreux problèmes restent ouverts concernant la caractérisation de la préservation de la topologie dans l'espace Z^3 . On définit par exemple la relation d'homotopie entre deux parties de Z^3 par l'existence d'une suite d'ajout ou de suppression de points simples mentant de l'une à l'autre de ces parties. La question de l'existence d'une caractérisation efficace de l'homotopie 3D dans le cas général est un problème jugé très difficile, puisqu'en rapport étroit avec le problème fondamental de la théorie des nœuds. Toutefois, on peut modestement espérer en étudier des cas particuliers. Ce

travail à long terme est envisagé en collaboration avec Rémy Malgouyres et T. Yung Kong.

D'autre part, nous avons pour projet d'étudier la possibilité de fournir une définition générale du groupe fondamental discret et de la notion de point simple pour un espace discret quelconque. En effet, le groupe fondamental discret ainsi que la notion de point simple font régulièrement l'objet de définitions particulières à un espace discret donné, ce qui entraîne la multiplication de preuves consistant à étudier des cas particuliers propres à chacun de ces espaces. Une théorie unifiée et s'appliquant directement, dès lors que ses axiomes – les moins contraignants possibles – sont vérifiés par un espace donné, serait un progrès significatif pour le domaine de la géométrie discrète. Le travail réalisé avec Yung Kong et Gabor Herman marque le point de départ de cette approche.

Nous souhaitons aussi nous intéresser à un thème de recherche encore peu exploré : les surfaces minimales discrètes (définition, caractérisation et génération). Il est envisageable de mettre au point des algorithmes basés sur l'arithmétique entière permettant de générer des surfaces discrètes approchant de façon satisfaisante les solutions données par la résolution d'équations peu simples dans le domaine connu.

➔ Applications

Le projet ADAIMIC (Aide au Diagnostic par Analyse d'Images en Microscopie Cellulaire), effectué en relation avec le LUSAC, le Centre F. Baclesse et l'Hôpital Pasteur de Cherbourg, a abouti au développement d'une plate-forme logicielle. Grâce à celle-ci, nous allons poursuivre et conforter des collaborations déjà établies en imagerie médicale. Par ailleurs, deux nouvelles collaborations ont commencé dans ce domaine : la première avec l'AFSSA (Agence Française de Sécurité et de Santé Alimentaire) sur la caractérisation et la détection de la prolifération bactérienne sur des cellules de culture, et la deuxième avec le laboratoire de Neurosciences de Caen sur l'étude et la caractérisation de cultures de neurones dans le cadre de la maladie d'Alzheimer.

Toujours dans le domaine de l'imagerie médicale, avec le Service de Radiologie du CHU de Caen, nous envisageons de travailler sur des problèmes de traitement d'images en vue de l'endoscopie et la navigation virtuelles.

Le travail commencé dans le domaine du multimédia va se poursuivre, détection et structuration d'images de texte, segmentation de séquence vidéo, avec pour objectif l'indexation.

5–3.2. Estimation, détection et reconnaissance des formes

Titre précédent : Détection et contrôle en reconnaissance de formes

Participants :

Permanents actuels : Daniel Bloyet, Michel Desvignes, Jalal Fadili, Marinette Revenu, Su Ruan.

Permanents futurs : Daniel Bloyet (0,25), Jalal Fadili, Su Ruan.

Doctorants : Jonathan Bailleul, Weibei Dou, Barbara Romaniuk, Ouided Bentrah.

Post-doctorants : Jinghao Xue, Hua Li.

Professeur étranger : Qingmin Liao.

Thèses soutenues : Emmanuel Dumas, Jalal Fadili, Nicolas Flasque, Cyril Jaggi, Serge Langlois, Christophe Renault.

Mots clés : détection, estimation, segmentation, reconnaissance de formes, relations spatiales.

Résumé : les actions menées par ce thème ont pour objectif d'étudier les aspects méthodologiques des axes acquisition, détection, estimation, segmentation, reconnaissance de formes. Cet ensemble de compétences donne la possibilité de traiter une application complète.

5-3.2.1. Objectifs

Modélisation et utilisation de connaissances a priori en traitement d'images et reconnaissances des formes.

5-3.2.2. Résultats

L'effort de ce thème a porté particulièrement, pour la période 1999-2002, sur l'analyse **statistique** des images, tant dans les domaines de la détection, de l'estimation, de la segmentation et de la reconnaissance des formes. Cet effort fondamental s'est retrouvé dans les applications et thèses qui ont été soutenues pendant cette période.

Les différents points que nous avons particulièrement étudiés sont les suivants :

- Acquisition d'images et précision des images.
- Détection et estimation statistique dans le domaine temps-échelle.
- Segmentation et qualité de la segmentation.
- Modélisation de la variabilité en reconnaissance des formes.

➔ Acquisition, mesures et précision des mesures à partir d'images

Toutes les techniques de reconnaissance de formes nécessitent l'extraction de mesures à partir des données image. La minimisation des erreurs de mesures dues à la chaîne d'acquisition est donc indispensable. Ce point peut être abordé par une modélisation adéquate du capteur, suivi par la détermination des paramètres du modèle, souvent à l'aide de procédures de calibration. Dans d'autres cas, c'est l'objet imagé qui sera modélisé, puis ce modèle sera mis en correspondance sur l'image. Ces deux approches ont été étudiées dans des cadres applicatifs différents.

Publications : 5T2, 5T8, 5H1, 5A15, 5A20, 5 B14, 5B15, 5B22, 5B30, 5B31, 5B32, 5B33, 5D1, 5E7, 5E8.

Modélisation du capteur

Dans ce cadre, le principe consiste à définir un modèle analytique dépendant de paramètres a_i de la partie du capteur provoquant les erreurs de mesure. Une analyse du système détermine la contribution théorique de ces erreurs en fonction des paramètres a_i . Si cette erreur s'exprime simplement, un calibrage à l'aide d'un objet de formes et de dimensions parfaitement connues donne la valeur des paramètres a_i inconnus. Une fois les paramètres connus, la correction des distorsions peut être effectuée.

Ces travaux sont illustrés par l'étude des distorsions en Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) et de leur correction qui a fait l'objet des travaux de thèse de S. Langlois. Ces distorsions sont dues aux non-linéarités des gradients de champ magnétique (intrinsèque à la machine) et aux différences de susceptibilité magnétique entre tissus ou aux déplacements chimiques (intrinsèque à l'objet imagé). Elles se traduisent par des variations de l'intensité et des déplacements spatiaux allant jusqu'à 5 ou 6 mm. En ce qui concerne les non-linéarités, en modélisant l'intensité des champs magnétiques des bobines de gradient par un modèle théorique polynomial plus complet, et en l'introduisant dans les équations du signal, nous obtenons la valeur théorique de l'erreur due à ces déformations. L'identification des paramètres des polynômes est faite par calibration avec un

cube. Les erreurs ont été réduites à moins de un voxel grâce à cette méthodologie.

Pour les effets de susceptibilité et de déplacement chimique, l'approche classique consiste à réaliser trois acquisitions d'images. Nous avons développé une méthode nécessitant deux acquisitions seulement, réduisant ainsi les temps d'acquisition, en utilisant la phase du signal. À l'aide des équations du signal, nous montrons que la phase est directement liée aux déplacements. La difficulté est alors de « dérouler » cette phase, c'est-à-dire de déterminer la valeur absolue de cette phase à partir de sa valeur modulo 2. Les déplacements ainsi calculés sont appliqués pour corriger les images.

Modélisation de l'objet imagé

Dans ce cadre, nous disposons d'un modèle de l'objet qui est observé et nous souhaitons mesurer un ou plusieurs paramètres sur cet objet. Si le modèle est paramétrique, l'approche consiste alors à mettre en correspondance ce modèle et les données images. On détermine de la sorte les paramètres du modèle et les mesures à effectuer sont alors données par leur expression analytique. Les étapes de segmentation sont particulièrement difficiles à modéliser du point de vue des mesures. Elles sont peu reproductibles, une faible variation des données d'entrée entraînant une forte différence de segmentation et de mesure. Lorsque le problème est limité et qu'il n'existe que peu d'objets de natures différentes, il est possible de contourner ce problème en modélisant l'objet en terme d'intensité par une fonction analytique. Cette technique peut être utilisée pour déterminer une mesure avec une précision inférieure au pixel. Une illustration est donnée par la détection et la quantification du diamètre de sténoses sur des IRM angiographiques et nos travaux relatifs aux sillons corticaux et aux courbures.

1. Modèle numérique paramétrique

Dans les travaux effectués pendant la thèse de N. Flasque, nous avons cherché à obtenir avec une grande précision le diamètre de vaisseaux sanguins dont l'ordre de grandeur est de quelques voxels. Pour cela, la notion de seuils souvent utilisée en traitement d'image a été systématiquement évitée afin de ne perdre aucune information lors des étapes de traitements d'images. L'objet de notre étude, le vaisseau, est considéré comme un cylindre de diamètre variable. Il est modélisé par une ligne de centre (spline) et un rayon qui évolue le long de cette ligne. L'identification entre le vaisseau géométrique et l'image est réalisée en introduisant un modèle simple de niveau de gris d'un vaisseau. Pour déterminer la ligne de centre, nous avons supposé une symétrie circulaire des niveaux de gris. Pour déterminer le rayon, le modèle d'intensité d'une coupe de vaisseau est une gaussienne. L'identification des paramètres de la gaussienne donne accès au rayon de notre vaisseau. Les avantages de cette solution sont l'absence de seuils et la précision sub-voxel obtenue grâce au modèle.

2. Modèle implicite, courbure et sillons corticaux

Les travaux de la thèse de C. Renault ont porté sur le calcul des courbures à partir d'images non segmentées et plus particulièrement sur leur application à la détection des sillons corticaux sur des IRM 3D. Dans la lignée de nos travaux antérieurs de reconnaissance des sillons corticaux, nous avons cherché à modéliser les sillons par le fond de la vallée des iso-surfaces de l'image (lignes de crêtes). Les surfaces crêtes sont les endroits où les iso-surfaces présentent un extremum de leur courbure principale. Elles sont très proches des surfaces médianes que nous obtenons avec notre segmentation classique, mais elles sont obtenues à partir du calcul des courbures et des directions de ces courbures. Elles sont ensuite extraites par une détection des passages par zéro ou par une recherche d'extremum.

Cette méthode est définie dans l'espace continu 3D. Dans l'espace discret dont nous disposons (l'image numérique), son adaptation ne peut se faire que si les conditions classiques d'échantillonnage sont vérifiées. La réalité anatomique, la résolution des images, les effets de

volume partiel sont autant d'éléments qui mettent en défaut cette approximation. Nous nous sommes donc penchés sur les différentes solutions de calcul des courbures et des lignes de crêtes sur des images discrètes, sur leur précision et sur leur exploitation pour extraire les sillons corticaux.

Le calcul des courbures principale et secondaire est réalisé à partir des dérivées premières et secondes de l'image. Ces dérivées sont obtenues soit directement à partir de l'image discrète par différences finies, soit par approximation de l'image par une fonction analytique continue (C3). Un des avantages de cette deuxième approche est la possibilité de calculer facilement les dérivées et les courbures en n'importe quel point de l'espace continu.

De même les lignes de crêtes peuvent être calculées soit directement à partir de l'image discrète, soit par une formulation analytique dans le domaine continu $\mathbf{grad}(k_1) \cdot \mathbf{t}_1 = 0$. Cette équation est résolue par calcul formel. En modélisant l'image par un polynôme de degré 3, nous avons obtenu les solutions dans l'espace 3D. Les comparaisons effectuées montrent que les outils fondés sur une approximation de l'image par une fonction sont les plus performants en présence de bruit.

D'un point de vue explicatif, l'extraction des sillons est réalisée en deux étapes : un suivi de fond (vallée) des sillons, puis la propagation de ce fond vers l'extérieur du cortex. L'extraction du fond des sillons se fait par suivi pseudo-continu (précision inférieure au voxel) en utilisant la direction des vecteurs courbure minimum et la propagation vers la surface extérieure est réalisée dans la direction de la normale. Cette méthode d'extraction des sillons ne nécessite pas de segmentation fine du cortex cérébral.

➔ Détection et estimation statistique dans le domaine temps-échelle

De manière générale, ces travaux se focalisent sur l'estimation d'un signal plongé dans un environnement bruité. Cette estimation peut être effectuée suivant une démarche paramétrique, non-paramétrique ou en combinant ces deux dernières dans le cadre des modèles semi-paramétriques. Des bases de décomposition appropriées assurent une représentation efficace d'une large classe de signaux rencontrés en pratique, permettant ainsi d'aller bien au-delà des descripteurs de Fourier.

La problématique des méthodes statistiques pour l'estimation et la détection a été abordée dans le domaine temporel pour les séries chronologiques, spatial que pour les séries spatio-temporelles.

Dans le domaine des signaux non-stationnaires, c'est le mariage entre les outils statistiques à des fins d'estimation et de détection, et les transformations temps-échelle et temps-fréquence qui a été particulièrement étudié.

Publications : 5T3, 5A6, 5A8, 5A9, 5A11, 5A12, 5A13, 5A19, 5A35, 55L2, B8, 5B9, 5B10, 5E4, 5E5.

Analyse des séries spatio-temporelles

Parmi les techniques de neuro-imagerie, l'IRM fonctionnelle occupe une place de choix du fait de ses nombreux avantages dont son caractère non-invasif, ses performances temporelle et spatiale et sa disponibilité.

En règle générale, les techniques d'imagerie fonctionnelle tentent de répondre à deux questions majeures :

- Des aires cérébrales sont-elles concernées (activées ou désactivées) par l'expérience réalisée (inférence statistique) ?
- Si oui, quelles sont les caractéristiques (spatio-temporelles, spectrales, etc.) de ces aires

(localisation précise, décours de la réponse, spectre, etc.) ?

La réponse à la première question relève de la théorie de l'estimation et de la détection de signaux noyés dans le bruit avec un faible rapport signal sur bruit. Traiter de telles séries requiert une étape de restauration des images et la mise en œuvre d'algorithmes de post-traitement robustes souvent fondés sur des approches statistiques. Ces stratégies de traitement du signal fonctionnel requièrent d'avoir à disposition une information a priori concernant le paradigme expérimental, la forme de la réponse impulsionnelle et les propriétés statistiques du bruit. L'objectif a été de mettre au point des approches d'estimation et de détection des composantes déterministes et stochastiques du signal mesuré. En parallèle, une approche originale fondée sur la classification floue partitionnelle a été développée. L'influence des différents paramètres mis en jeu a été étudié et un choix rigoureux a été proposé sur des bases théoriques ou en utilisant des heuristiques appropriées.

Estimation multi-échelle en contexte stochastique

1. Estimation paramétrique

A cet égard, l'originalité a consisté à établir un estimateur dans le domaine des ondelettes ou des paquets d'ondelettes. Dans ce contexte, le bruit est modélisé par un processus fractionnaire de densité spectrale en $1/f$. Ce choix a été motivé par les bases physiques et biophysiques du signal. Les propriétés mathématiques remarquables des transformées d'ondelettes orthonormales ont été exploitées, notamment le blanchiment et la stationnarisation des coefficients de détail du signal transformé. Nous avons proposé un nouvel estimateur des modèles de régression linéaire en présence d'erreurs de mesure à longue mémoire. Le cadre théorique a été introduit avant d'établir les performances statistiques et nous avons proposé un nouvel algorithme itératif d'estimation et de détection de signaux connus en milieu bruité dit en $1/f$. Les résultats obtenus, conformément aux prévisions théoriques, sont très encourageants et supérieurs aux approches classiques.

2. Estimation non paramétrique

Dans le cadre de l'estimation non paramétrique, l'objectif est de rejeter la composante stochastique sans modèle paramétrique contraint sur la composante déterministe. Nous fixons uniquement l'espace de régularité de la fonction à estimer. Les bases d'ondelettes fournissent des décompositions creuses de grand intérêt pour de tels problèmes d'estimation en retenant uniquement les coefficients les plus importants. Les coefficients restants sont supposés ne provenir que du bruit. L'originalité de nos travaux est de nous attaquer à ces problématiques d'estimation pour une large classe de processus aléatoires additifs ou multiplicatifs et ce dans un cadre bayésien adaptatif. Ces travaux ont donné lieu à une collaboration avec l'équipe instrumentale du GREYC.

3. Estimation semi-paramétrique

Nous nous intéressons à la modélisation et l'estimation des composantes paramétrique et non paramétrique dans les modèles semi-paramétriques, en utilisant des décompositions sur des bases orthogonales. Notre approche estime la partie non-paramétrique en utilisant un dictionnaire regroupant toute une famille de bases orthonormales incluant les ondelettes, les paquets d'ondelettes, etc. Ainsi, la classe des fonctions que l'on peut estimer efficacement couvre largement celles des espaces de régularité usuels pouvant contenir des singularités isolés ou des signaux non-stationnaires. Un critère adaptatif basé sur la longueur de description minimale est proposé pour sélectionner la meilleure base parmi celles disponibles dans le dictionnaire. Nous avons aussi montré, moyennant quelques conditions, la normalité asymptotique de l'estimateur de la composante paramétrique. L'estimateur a été aussi profondément étudié par des simulations Monte-Carlo.

4. Temps-échelle et caractérisation d'une classe de processus aléatoires

Les transformations multi-échelle offrent un cadre particulièrement adapté et élégant pour scruter sous un autre angle une large classe de processus stochastiques, qu'ils soient additifs ou multiplicatifs. La caractérisation de tels processus reste une étape fondamentale pour comprendre et proposer des méthodes d'estimation originales, robustes et efficaces dans le contexte stochastique. Ceci ne se limite pas au cas d'un bruit additif mais permet d'adresser le cas du multiplicatif, où le niveau du bruit est étroitement lié au signal, et ce grâce à l'adaptativité des transformations multi-échelle.

Dans la continuité des travaux précédents, nous avons étudié la caractérisation statistique de la structure polyfractale dans les séries chronologiques à longue dépendance. Nous avons proposé une statistique paramétrique permettant de tester la constance temporelle des paramètres du processus estimés dans une fenêtre glissante. Nous avons établi les propriétés de ce test mais uniquement dans un cadre asymptotique. Afin de lever ces restrictions, une alternative non-paramétrique basée sur le bootstrap a été proposée pour pallier le problème du nombre limité d'échantillons.

Nous nous intéressons actuellement à la caractérisation des sources prépondérantes de bruit des capteurs surfaciques d'images de type CMOS. Ceci constitue une étape importante pour proposer des algorithmes de mise au point automatiques robustes (autofocus) et bien établis théoriquement. Ces recherches s'inscrivent dans le cadre d'un projet CRITIC nous associant à l'entreprise Philips.

➔ Segmentation et qualité de la segmentation

Nous nous intéressons ici à l'introduction de modèles et de connaissances a priori dans le cadre de la segmentation d'images. Pour la comparaison objective de différentes méthodes de segmentation, nous nous sommes penchés sur l'évaluation quantitative de la qualité de cette segmentation, vis-à-vis d'un but donné.

Publications : 5T7, 5H4, 5A29, 5A31, 5A32, 5A36, 5B4, 5B6, 5B28, 5B29, 5B34, 5B35, 5B36, 5B37, 5B38, 5B39, 5B40, 5B41, 5B52, 5B53, 5E3, 5E9, 5E10, 5E11.

Segmentation statistique

Cet axe est consacré à la segmentation statistique globale non supervisée, s'appuyant sur un modèle de champs de Markov cachés flous, qui permet d'inclure dans une même image ou un même volume des régions "dures" et des régions floues. L'estimateur des paramètres de lois utilise une procédure de gradient stochastique au cas de données incomplètes.

Cette méthode a été appliquée sur les images IRM cérébrales. Un cerveau peut être considéré comme composé de trois tissus cérébraux : la matière blanche (MB), la matière grise (MG) et liquide céphalo-rachidienne (LCR), appelés les classes "dures", et de mélanges des classes dures (dû à l'effet de volume partiel), appelés les classes floues. Nous avons proposé un modèle statistique pour modéliser ce phénomène. L'intensité d'un voxel soumis à l'effet de volume partiel est une somme pondérée des intensités des tissus purs qui le constituent, les poids correspondant aux proportions de chaque tissu pur dans le voxel (le voxel est alors appelé mixel). La variance de l'intensité des niveaux de gris de chaque tissu prend en compte à la fois l'hétérogénéité du tissu et le bruit instrumental. La distribution des niveaux de gris des mixels dépend évidemment de celle des tissus purs. Dans le cas où les distributions des tissus purs sont gaussiennes, l'expression analytique de celle des mixels a été calculée.

La méthode a été testée sur la base EVA de volumes IRM, les résultats obtenus sont très satisfaisants. Une comparaison entre cette méthode et la méthode classique fuzzy c-means (FCM) montre l'avantage de la méthode proposée.

Segmentation et représentation floue

Les ensembles flous sont bien adaptés à la représentation des connaissances a priori et surtout à l'imprécision de celles-ci. Nous les utilisons en particulier afin de représenter des connaissances spatiales.

1. La représentation spatiale floue

La reconnaissance des formes des objets nécessite souvent les connaissances a priori sur les formes et les relations spatiales entre les objets. Dans le cas où la variabilité des formes et des relations spatiales est importante, mal définie et où l'apprentissage est impossible, l'ensemble des formes et relations est inaccessible et ne peut être facilement représenté par un modèle numérique paramétrique. C'est l'objectif des travaux de Jing Xue (post-doctorant) et de la thèse de J. Bailleul.

Dans ce cas, associer une forme moyenne à la modélisation de systèmes flous est une solution adaptée pour représenter les imprécisions sur ces connaissances a priori mal définies. Le concept de champ électrostatique est utilisé pour calculer une distribution de possibilités liée à une propriété relative à un ou plusieurs objets sur l'ensemble de l'image. Chaque propriété de chaque objet est représentée par un champ flou (un ensemble flou) dont la valeur en un pixel donné est fonction de la taille, la forme et des distances spatiales relatives à l'objet, ainsi les influences des autres objets présents en image (les relations géométriques entre les objets). La fusion de ces informations de nature fondamentalement différente est ensuite réalisée pour prendre une décision de segmentation. Les interactions entre les objets sont naturellement prises en considération par ce formalisme et permet de traiter les objets en parallèle. Cette représentation a été utilisée dans le domaine de la segmentation des noyaux gris centraux.

2. La représentation des connaissances expertes

Les connaissances des experts sont souvent exprimées de façon floue. Par exemple, un médecin peut nous dire qu'une tumeur est souvent sombre sur l'image IRM pondérée en T1, très claire en image T2, claire en densité de proton. Pour utiliser et combiner ce genre de connaissances qualitatives présentant beaucoup d'incertitudes, nous utilisons les ensembles flous et de nombreuses fonctions d'appartenance ont été étudiées en fonction des applications traitées.

L'application principale de cette technique a été dans le domaine des images IRM multispectrales. L'objectif est de détecter et de segmenter les tumeurs. Compte tenu des différences des caractéristiques des tumeurs selon le type d'image, trois modélisations pour exprimer la notion de valeur des signaux (de très fort à très faible) ont été utilisées pour chaque type d'images (T1, T2 et densité de proton). Ces travaux sont l'objet de la thèse de W. Dou.

3. La fusion des informations floues

Plusieurs techniques numériques de fusion sont aujourd'hui concurrentes (théorie des probabilités, ensembles, flous, théorie de la croyance...) et présentent des qualités très différentes. Cette fusion peut avoir lieu au niveau de la modélisation, au niveau de la combinaison des informations ou au niveau de la décision.

Nous travaillons sur la combinaison des informations provenant des connaissances a priori et des caractéristiques des images pour la reconnaissance des formes. Notre application consiste à segmenter des structures internes du cerveau en IRM à partir d'un atlas anatomique du cerveau. Basée sur la modélisation floue et la segmentation floue présentées ci-dessus, la méthode proposée combine plusieurs sources d'informations afin d'identifier les structures. Un algorithme génétique est utilisé pour optimiser cette combinaison. Quatre structures cérébrales sont pour l'instant correctement segmentées : les putamens, les thalamus, les noyaux coudés et les ventricules.

Le deuxième volet de la fusion concerne la prise de décision à partir d'ensembles flous.

Différents opérateurs de fusion flous ont été étudiés dans le cadre de la détection des tumeurs. La difficulté essentielle réside dans le choix des paramètres utilisés et des efforts vont être poursuivis pour résoudre ce problème.

Evaluation de la qualité de la segmentation

La validation et la comparaison des méthodes de segmentation est ici abordé d'un point de vue quantitatif vis-à-vis du but recherché. La mesure de la confiance accordée à des résultats présuppose une information a priori sur le résultat idéal (gold standart) et l'étape de quantification doit donc faire appel à cette référence. Ensuite, des critères de comparaison judicieux doivent être établis. Les critères les plus usuels pour quantifier la qualité de la segmentation font appel à des notions d'ensembles (faux positifs, faux négatifs). Ces outils sont cependant réducteurs à cause de leur caractère global qui supprime ainsi les possibilités de comparaison fine entre deux méthodes de segmentation. Afin de différencier deux segmentations, nous utilisons des caractéristiques mesurables discriminantes proches des critères visuels habituels.

La distance de chacun des pixels mal segmentés au contour de référence semble être une bonne mesure de dissimilarité. Cette mesure construit une carte de distance entre la segmentation et le contour de référence (une carte 3D pour les objets 3D). Cette carte visualise localement les erreurs. L'histogramme des distances détermine le nombre (et donc la proportion) de pixels du contour segmenté qui sont situés à une distance donnée par rapport à la référence. Les caractéristiques statistiques sur l'histogramme des distances permettent de dégager des indices de quantification de la qualité de segmentation. Cinq indices ont été utilisés : la valeur moyenne de l'histogramme, son écart-type, son asymétrie (skewness), l'aplatissement et la distance maximale. Ces indices ont été appliqués dans les comparaisons des méthodes de segmentation du cerveau et des structures cérébrales. L'influence des paramètres utilisés dans les méthodes de segmentation a aussi été étudiée permettant de les optimiser.

→ Variabilité et analyse statistique des formes et des relations spatiales

Nous nous sommes penchés sur les outils statistiques de la reconnaissance des formes en particulier sur les outils non linéaires du domaine de l'analyse statistique des formes.

La représentation statistique M d'un ensemble X_1, X_n d'échantillons du même objet peut être vue comme les variations restant après la suppression des transformations rigides dont les échantillons X_1, X_n ont été affectés. Si F est la matrice des vecteurs propres de la matrice de variance covariance des données centrées, tous les échantillons peuvent s'écrire $X_i = M + F B_i$. En réalisant une analyse en composantes principales sur F , le nombre de composantes de B_i diminue et on obtient ainsi une forme quasi équivalente à X_i , beaucoup plus compacte. Les approches non linéaires suivent le même raisonnement, mais réalisent l'ACP en ayant auparavant transformé les données d'entrée par une fonction G , en général non linéaire. On obtient ainsi un modèle compact capable de capturer les aspects non linéaires inclus dans l'ensemble d'apprentissage. Ce type de méthode a un grand succès dans les outils de classification (machine à support de vecteurs). Le principal problème à résoudre pour d'autres applications est celui du passage de l'espace transformé vers les données d'entrée, car la fonction G n'est pas inversible. Dans ce cas, on cherche la valeur x qui minimise l'écart entre $G(x)$ et le point à inverser.

Cette formulation permet de résoudre élégamment le problème des données manquantes ou partiellement visibles en RdF (HDR de M. Desvignes).

Ces travaux sont illustrés par la thèse de B. Romaniuk et une application en céphalométrie. Il s'agit de repérer des points anatomiques sur des radiographies haute résolution latérale de la tête. Le contour du crâne est ici utilisé comme repère commun entre les différentes radiographies. La fonction F est

décrite par la processus suivant : le contour du crâne est échantillonné par 16 points. Chaque point céphalométrique est projeté sur l'ensemble des vecteurs formés par les 16 points pris 2 à 2. Ces données forment l'espace transformé et l'ensemble d'apprentissage permet d'obtenir une valeur moyenne. Une ACP est éventuellement réalisée. L'utilisation de ce modèle (l'inversion) est alors réalisée de la manière suivante : sur une nouvelle image, le contour crânien est détecté et échantillonné. Connaissant les 16 points, les vecteurs associés et le modèle moyen, nous pouvons rétro-projeter ce modèle moyen sur notre image en utilisant les moindres carrés pondérés. Nous obtenons alors une estimation statistique des points céphalométriques. Les résultats obtenus sur plus de 200 radios montrent une précision de l'ordre de 3 mm en moyenne en utilisant cette méthode.

5-3.2.3. Perspectives

Mots clés : estimation et détection statistique, bruit, temps/échelle et temps/fréquence, modélisation de l'incertitude pour le traitement d'images et la reconnaissances de formes, approches statistiques et floues.

Les travaux de recherche pour les 4 ans à venir s'articulent autour des quatre axes essentiels.

- Segmentation statistique, floue et par la fusion d'informations ;
- Modélisation statistique des formes pour la reconnaissance des formes ;
- Détection et estimation statistique dans le domaine temps-échelle ;
- Applications biomédicales et industrielles.

1. Segmentation statistique, floue et par la fusion d'informations

Traditionnellement la théorie probabiliste est utilisée pour traiter les données imparfaites. Cependant, elle est inadéquate dans certains cas. Les autres théories, telles que la théorie des ensembles flous, ont donc été développées pour mieux résoudre certains problèmes. Ces deux aspects, statistique et flou, vont être étudiés pour développer les méthodologies de la segmentation des images.

Dans le cas où on dispose de plusieurs sources d'informations, une fusion de celles-ci est nécessaire pour une segmentation plus précise. Notre objectif consiste en la modélisation des différentes sources d'informations et en la création des opérateurs de fusion en utilisant la théorie probabiliste, la théorie des ensembles flous et la théorie des croyances.

2. Modélisation statistique des formes pour la reconnaissance des formes

Les connaissances a priori sur la forme d'une classe d'objets similaires permettent d'avoir des contraintes spécifiques pour surmonter les problèmes de bruit, de contours manquants, et de confusion sur l'image lors de la reconnaissance de ces objets. La principale difficulté est de modéliser ces connaissances pour construire des contraintes efficaces. Nos travaux de recherche visent à développer des modèles de formes statistiques et géométriques pour la segmentation et la reconnaissance des objets. Les connaissances statistiques sur la forme peuvent être des apprentissages provenant des experts ou des apprentissages automatiques. Ces derniers nécessitent des études dans le domaine d'apprentissage. Le modèle géométrique devrait être une représentation simple des objets permettant de les déformer efficacement pour les retrouver sur l'image traitante.

3. Détection et estimation statistique dans le domaine temps-échelle

Exploration et étude des sources et des modèles du bruit

Les transformations multi-échelle offrent un cadre particulièrement adapté et élégant pour une investigation profonde et quantitative d'une large classe de processus stochastique, qu'ils soient additifs ou multiplicatifs. La caractérisation de tels processus reste une étape fondamentale pour comprendre et proposer des méthodes d'estimation originales, robustes et efficaces dans le contexte stochastique. Ceci ne se limite pas au cas d'un bruit additif mais permet d'adresser le cas du multiplicatif, où le niveau du bruit est étroitement lié au signal, et ce grâce à l'adaptativité des transformations multi-échelle. A titre d'exemple, nous visons à généraliser l'estimateur du modèle linéaire pour des sources de bruit plus complexes (ex. : processus en $1/f$ contaminé par une autre composante stochastique de variance inconnue). L'intérêt est de pouvoir expliquer la variance observée par des sources physiquement différentes (exemple de l'IRMf : physiologie, instrumentation, etc.).

La stationnarité

Le modèle développé pendant le séjour post-doctoral de J. Fadili permet de prendre en compte une classe de processus non stationnaires dit auto-similaires. L'estimation peut être appliquée sur l'incrément associé par différences finies du 1^{er} ordre. L'évolution vers une classe plus complexe de processus dits localement stationnaires peut être obtenue en utilisant cette fois des estimateurs à fenêtre glissante ou encore des bases appropriées segmentant l'axe temporel, telles qu'une base de paquets de cosinus locaux. Ce travail s'inspirera des travaux d'équipes internationales renommées.

Approches non-paramétriques

Généralement, les approches proposées se basent sur un estimateur du type maximum de vraisemblance. L'inférence repose sur les limites basses de Cramér-Rao en invoquant l'approximation normale asymptotique. Cette approche n'est évidemment plus valide lorsque le nombre de mesures tend à être faible (ex. l'IRMf où uniquement 64 échantillons temporels peuvent être disponibles). Des approches non-paramétriques (rééchantillonnage par Bootstrap) peuvent s'avérer très utiles (ex. : inférence statistique, vraisemblance paramétrique ou non paramétrique approchée, validation croisée, etc.).

Transformations multi-échelles spatio-temporelles

Cet axe reste pour l'instant très peu exploré. Les difficultés sont multiples et doivent être examinées avec précaution. Il s'agira de prendre en compte les propriétés statistiques du bruit dans le temps et dans l'espace, mais sans doute aussi d'une possible interaction entre les deux dans un modèle final. Les bases de transformation seront à synthétiser afin de prendre en compte les différentes caractéristiques du bruit et de les adapter à celles de la composante déterministe.

4. Applications biomédicales et industrielles

Imagerie cérébrale en IRM en liaison avec le service d'IRM du CHU de Caen et le Centre Cycéron

Notre objectif principal est de construire un atlas des structures anatomiques du cerveau chez des sujets sains à partir d'IRM 3D et de l'exploiter à des fins de recherche pour l'interprétation et la compréhension des mesures d'activation observées dans le cadre d'expériences fonctionnelles. Nos travaux portent donc sur la segmentation du cerveau à partir de l'IRM anatomique, et sur la détection d'activations cérébrales à partir de l'IRM fonctionnelle. Notre ambition sera ensuite d'analyser des images provenant de patients présentant des pathologies (tumeurs) qu'il faut éliminer par intervention chirurgicale en préservant les zones fonctionnelles essentielles (motrice, mémoire, etc).

Etude du bruit et optimisation de l'autofocus d'une caméra numérique

La société Philips Semi-conducteurs développe et produit des circuits analogiques et

numériques entrant dans la chaîne de l'image pour des appareils de photographie numérique et des caméras reliées à un ordinateur. Les sources de bruit dans les CCD (Charge Coupled Device) et les APS (Active Pixel Sensors) sont nombreuses et le premier objectif est de modéliser et caractériser le bruit sur les capteurs CCD et CMOS en fonction de l'éclairement, de la température, de l'exposition, etc. Le deuxième objectif concerne les algorithmes d'autofocus adaptés aux sources de bruit en présence. Les techniques étudiées sont basées sur la recherche dans l'espace des paramètres du capteur (distance lentille-capteur et distance focale) de l'optimum d'une mesure réalisée sur l'image. Le rôle du laboratoire est en particulier de préciser l'influence du bruit sur la précision du focus, sur la robustesse de la mesure et sur la sensibilité (comportement en basses lumières).

5-3.3. Ingénierie des connaissances pour le Traitement d'Images

Titre précédent : Atelier d'intégration de connaissances

Participants :

Permanents actuels : Régis Clouard, Christine Porquet, Marinette Revenu.

Permanents futurs : Régis Clouard, Marinette Revenu (0,5).

Thèse soutenue : Valérie Ficet-Cauchard.

Mots clés : ingénierie des connaissances, système à base de connaissances, raisonnement par cas, méthode de développement.

Résumé : l'atelier d'intégration de connaissances en Traitement et Interprétation d'Images fournit un cadre méthodologique pour l'étude et le développement d'applications en traitement et interprétation d'images. La motivation est non seulement d'aider les experts du TI à produire des logiciels pour des applications réelles, mais aussi de constituer un patrimoine de connaissance experte. Nous visons ainsi la maîtrise du savoir-faire et la capitalisation des connaissances au travers de l'étude des productions : l'atelier facilite le développement des logiciels, et le développement des logiciels sert à enrichir le patrimoine des connaissances. L'objectif à long terme de l'utilisation de l'atelier serait alors la conception d'un système à base de connaissances capable de produire automatiquement des logiciels de traitement d'images à partir des spécifications d'un utilisateur n'ayant aucune compétence en traitement d'images.

5-3.3.1. Objectifs

Les travaux entrepris dans cet atelier ont porté sur trois aspects correspondant à trois angles d'attaque du problème du développement d'applications :

- L'étude des architectures de systèmes à base de connaissances pour la génération automatique d'applications ;
- La mise au point d'un environnement de construction interactive comportant un module de raisonnement à partir de cas pour l'assistance aux développeurs ;
- La définition d'une méthodologie combinant modèles et méthodes pour la gestion du cycle de vie des applications.

L'originalité de notre approche tient à la recherche d'une plausibilité cognitive de la connaissance qui soit le reflet d'une expertise humaine. Nous avons ainsi pu dégager un type d'approche du développement d'applications qui repose sur le pilotage intelligent d'une bibliothèque d'opérateurs. La construction d'une application y est vue comme un problème d'enchaînement et de paramétrage d'opérateurs de la bibliothèque.

Deux logiciels ont été produits dans le cadre de cet atelier :

- La bibliothèque d'opérateurs Pandore a été élaborée dans le souci de faciliter son exploitation par pilotage. Elle regroupe des opérateurs sous la forme de commandes exécutables.
- L'environnement de programmation visuelle par flot de données Ariane permet de réaliser des logiciels de traitement d'images sans réelle programmation. L'application est construite en enchaînant graphiquement des opérateurs de la bibliothèque Pandore.

5-3.3.2. Résultats

Les travaux concernant la réalisation de systèmes de traitement d'images automatiques et non dédiés sont une préoccupation relativement récente, d'une part parce qu'ils abordent des tâches complexes et d'autre part parce qu'il existe maintenant un savoir-faire relativement riche, bien qu'il soit encore difficile d'accès.

➔ Le contexte : le système à base de connaissances BORG

Notre approche de la construction d'un programme de traitement repose sur la planification des actions en fonction des données de l'application. Le plan sert de guide à tout le processus de résolution : la sélection des opérateurs, l'évaluation des résultats intermédiaires et la correction des imperfections. Nous proposons une construction dynamique suivant une approche hiérarchique, incrémentale et opportuniste, c'est-à-dire que les plans sont intégralement construits au cours de la résolution sans qu'ils n'aient jamais existé auparavant.

Notre système est basé sur l'architecture de Tableau Noir (Blackboard). Cette architecture a pour objectifs de privilégier l'explicitation de la connaissance d'expertise. Il s'appuie sur deux principes basiques :

- 1 - La représentation des méthodes de traitement d'images sous la forme de Sources de Connaissances modulaires et indépendantes ;
- 2 - La représentation explicite du plan de traitement par un graphe de buts hiérarchisés, sur une base de données accessible et globale à toutes les Sources de Connaissances.

La limite de ce système conçu dans la thèse de Régis Clouard en 1994 vient tout naturellement de l'acquisition des connaissances, à partir du moment où la connaissance de traitement d'images n'est pas immédiatement accessible. Néanmoins, nous avons montré que cette architecture présentait de réelles aptitudes pour la construction d'applications réelles.

➔ Le système de raisonnement à partir de cas : TMO

Pour acquérir les sources de connaissances, une démarche pragmatique a été explorée dans le système TMO (thèse de Valérie Ficet-Cauchard - janvier 1999). Son objectif était la réalisation d'un système qui bénéficie des avantages dus à l'interactivité des environnements de programmation graphique pour la sélection et l'enchaînement des opérateurs, mais qui donne également à l'utilisateur la possibilité de *modéliser et d'expliquer le raisonnement* qui l'a amené à cet enchaînement, dans le but de le réutiliser. Les applications y sont modélisées sous forme de plans hiérarchiques TMO (Tâche - Méthode - Outil) qui présentent le double intérêt d'être facilement compréhensibles par l'utilisateur et directement opérationnalisables.

L'originalité de l'approche tient au module de *Raisonnement à Partir de Cas* qui permet la *réutilisation* de plans ou de parties de plans définis lors d'applications antérieures, offrant ainsi un moyen de capitaliser la connaissance de traitement d'images.

Cette activité s'est terminée en juin 2000, Valérie Ficet-Cauchard ayant quitté l'équipe Image du GREYC pour intégrer l'équipe DoDoLa. Malgré le caractère pragmatique de l'approche, la base des cas est restée de taille trop limitée pour en retirer les bénéfices espérés, car la saisie des critères reste

perçue comme très contraignante pour l'utilisateur et les experts sollicités n'apprécient pas immédiatement les retombées d'un tel système.

➔ Méthode de développement et d'applications : Athéna

Ce travail est né du constat suivant : l'acquisition des connaissances pour les systèmes à base de connaissances se révèle être une tâche particulièrement difficile. Le but de la méthode est double : proposer un cadre pour identifier et capturer le savoir-faire de traitement d'images en vue de l'intégrer dans le système à base de connaissances, et offrir un guide a priori pour organiser et structurer l'activité de développement d'applications.

La méthode proposée (nommée Athéna) fournit un cadre pour collecter et organiser la connaissance mise en jeu ainsi qu'un guide pour rationaliser la gestion du cycle de vie. L'enjeu est de fournir aux spécialistes du traitement d'images des schémas de développement toujours plus complets et rigoureux qui facilitent leur production.

Athéna est organisée autour de quatre modèles et trois cycles. Les modèles sont utilisés pour étudier l'application selon différents points de vue. Des représentations graphiques sont associées à chaque modèle dans le but de faciliter leur compréhension et leur manipulation. Les cycles structurent le processus d'élaboration et de validation de ces modèles en étapes et introduisent ainsi le concept de contrôle du développement.

Les quatre modèles sont :

- Le "modèle du système" se focalise sur le logiciel vu comme une boîte noire et s'intéresse donc aux tâches à accomplir.
- Le "modèle du domaine" se focalise sur les images à traiter et cherche à donner un sens aux images.
- Le "modèle de tâches" se focalise sur l'élaboration des solutions conceptuelles en terme de techniques de traitement d'images à enchaîner.
- Le "modèle de programme" se focalise alors sur le code exécutable qui implante les solutions conceptuelles.

Les trois cycles sont :

- Le "cycle de vie" distingue quatre étapes dans le développement de logiciel, organisées dans un modèle itérative et incrémentale : 1- définition : étude du problème, 2-réalisation : construction de plusieurs solutions logiciels, 3-validation : choix d'une solution acceptable éprouvée sur une grande quantité d'images, 4-maintenance : correction et évolution du logiciel au cours de son utilisation.
- Le "cycle d'abstraction" décompose l'élaboration de la solution conceptuelle en trois niveaux d'abstraction : 1-intentionnel : la description d'une stratégie d'analyse du problème à résoudre en tâches primitives, 2- fonctionnel : le choix des méthodes pour accomplir les tâches; 3- opérationnel : le choix des algorithmes adaptés à la réalisation des méthodes.
- Le "cycle de maturation " définit 3 degrés de la maturité de la solution: 1- soumis, 2- certifié et 3- publié.

Cette méthode est maintenant utilisée pour construire les nouvelles applications, et les connaissances modélisées vont pouvoir être injectées dans le système à base de connaissances BORG pour enrichir la base de connaissance.

Publications : 5T4, 5A7, 5A14, 5L1, 5L3, 5B11, 5B12, 5E1, 5E2, 5E6.

5-3.3.3. Les logiciels

➔ Une bibliothèque d'opérateurs de traitement d'images : Pandore

Pandore est une bibliothèque standardisée d'opérateurs de traitement d'images. La version actuelle regroupe des opérateurs traitant d'images 1D, 2D et 3D, en niveaux de gris, en couleurs et

multispectrales.

Cette bibliothèque se conçoit comme une collection de programmes exécutables travaillant directement sur des fichiers image. La construction d'une application de traitement d'images se fait par l'activation succession d'opérateurs, les images de sortie des uns servant d'images d'entrée aux autres. Les images sont au format Pandore, mais il existe des opérateurs de conversion des formats standards (e.g., bmp, gif).

L'objectif recherché au travers de la bibliothèque est triple :

1. Offrir des outils génériques pour traiter les images qui présentent une syntaxe d'appel uniforme et qui garantissent une utilisation cohérente.
2. Proposer un environnement de développement d'applications qui facilite et uniformise les réalisations.
3. Proposer un environnement de programmation des opérateurs qui assure une rapidité, une uniformisation et une sécurité dans la programmation.

➔ Un environnement de Programmation Visuelle par Flots de Données : Ariane

Ariane est un environnement de Programmation Visuelle par Flots de Données sur la bibliothèque d'opérateurs de traitement d'images Pandore. Il permet de programmer des applications de traitement d'images par simple sélection et enchaînement d'opérateurs de la bibliothèque.

Ariane s'adresse en priorité aux traiteurs d'images, dans la mesure où il est nécessaire d'avoir une expertise de traitement d'image pour construire des chaînes d'opérateurs cohérentes. Par contre, il n'est nullement nécessaire d'être informaticien, puisqu'il n'y a plus de programmation à proprement parler.

Ariane est une interface graphique qui se présente comme un éditeur de graphes. L'utilisateur sélectionne des opérateurs parmi la liste proposée, puis les enchaîne pour former des graphes de flots de données. Les sorties des uns sont alors utilisées comme entrées des autres. Le traitement complet d'une image consiste en l'exécution séquentielle des opérateurs dans l'ordre prescrit par le graphe. Il est possible d'insérer des structures de contrôle (for, while, until, if, switch) dans le graphe de façon à contrôler l'exécution du graphe.

Cet environnement de programmation par flot de données permet de s'abstraire d'un langage de représentation, d'éliminer totalement la programmation, de construire rapidement des prototypes mesurables, de modifier simplement l'application, d'échanger la totalité ou des parties de graphes et ainsi de favoriser la réutilisabilité.

5-3.3.4. Perspectives

Mots clés : ingénierie des connaissances, méthode de développement, re-ingénierie.

Les perspectives de recherche du thème Ingénierie des connaissances pour le TI s'inscrivent dans la continuité du travail engagé et s'orientent plus spécifiquement vers l'analyse des corpus d'applications pour construire un patrimoine des connaissances expertes en traitement d'images. Ces connaissances devront ensuite enrichir la base de connaissances du système Borg et ainsi tendre vers un système permettant à un utilisateur novice en traitement d'images de réaliser seul ses propres applications.

Dans la réalisation de ces objectifs, deux idées forces sont à la base de notre approche :

1. Limiter la charge du cognitif dont le rôle est d'analyser le corpus des applications pour enrichir la base de connaissances du système Borg. L'environnement de développement que nous destinons aux experts du traitement d'images doit permettre de mettre en évidence le plus possible les connaissances impliquées dans le développement. Les modèles de connaissances proposés dans la méthode de développement Athéna doivent donc offrir une réelle plausibilité cognitive en même temps qu'être assez proches de ceux utilisés par le système à base de

connaissances.

2. Limiter l'implication des experts du traitement d'images dans l'objectif d'acquisition des connaissances. Pour une participation pleine et entière des experts, l'environnement de développement doit leur apparaître indiscutablement comme une aide dans leurs développements, indépendamment de l'objectif de capitalisation des connaissances.

Pour cela, nous envisageons différentes activités :

- Compléter l'environnement de développement Athéna destiné aux experts avec de nouveaux outils logiciels et méthodologiques pour atteindre un environnement plein et cohérent.
- Construire une ontologie et un "livre des connaissances" pour le traitement d'images destinés à formaliser un vocabulaire et une partie de l'expertise de traitement d'images. L'ensemble de ces connaissances devront être partageables par les experts et être une base pour l'apprentissage du traitement d'images.
- Réétudier dans notre environnement des applications de notre équipe non produites dans l'environnement pour éprouver sa complétude. Il s'agit de montrer que notre environnement peut modéliser des applications réelles non produites avec lui.

5-3.4. Interprétation d'images

Participants :

Permanents : *Christine Porquet, Marinette Revenu (0,5).*

Mots clés : système multi-agents, modélisation symbolique d'objets, coopération de méthodes, fusion d'informations.

5-3.4.1. Objectifs

Dans l'Atelier d'intégration de connaissances présenté en 5-3.3.1, l'accent a été mis jusqu'ici sur la modélisation des méthodes de traitement d'images. L'émergence du nouveau thème « Interprétation d'images » résulte de la volonté d'aller plus loin dans la modélisation des connaissances, en particulier en ce qui concerne les modélisations symboliques d'objets.

Parallèlement à cela, nous voulons dans ce thème, étudier des architectures de systèmes multi-agents qui nous semblent bien adaptées pour l'expérimentation de stratégies de segmentation et d'interprétation. En outre, sur les aspects théoriques des systèmes multi agents, ceci nous permettra de bénéficier de l'expertise de l'équipe MAD du GREYC qui, en retour, pourra tirer des enseignements sur les contraintes liées aux applications mettant en œuvre plusieurs milliers d'agents.

5-3.4.2. Une plate-forme multi-agents

L'objectif est de concevoir une plate-forme multi-agents facilitant l'expérimentation des stratégies de segmentation sur des images 2D et 3D. D'une part, plusieurs catégories d'agents doivent pouvoir cohabiter et coopérer, depuis des agents réactifs relativement simples chargés d'obtenir une segmentation préliminaire jusqu'à des agents cognitifs spécialisés par exemple dans la détection de tumeurs sur des IRM cérébrales. D'autre part, il doit être possible de mener des expérimentations sur les diverses manières de contrôler le déroulement de la segmentation (multi-résolution, approche pyramidale, etc.). Pour ce faire, il faut non seulement définir ces divers modes de contrôle de manière déclarative, mais offrir suffisamment de souplesse à l'utilisateur pour qu'il puisse choisir et paramétrer la manière dont il souhaite voir la segmentation se dérouler.

5-3.4.3. Perspectives

La plate-forme multi-agents en cours de réalisation va permettre de juger de la facilité avec laquelle on peut définir de nouveaux agents capables de traiter des tâches de plus en plus complexes et de la manière dont on peut les faire coopérer.

La modélisation symbolique d'objets dans un cadre SMA consiste à définir chaque objet à reconnaître sous forme d'un agent qui détient les connaissances symboliques sur l'objet ainsi que la ou les stratégies applicables pour l'identifier. On peut donc y faire cohabiter harmonieusement des agents de segmentation assez simples et des agents d'interprétation plus sophistiqués et la frontière entre segmentation et interprétation dans les approches classiques n'a plus de sens ici.

Notre domaine d'application privilégié est celui des IRM cérébrales 2D et 3D car l'équipe Image possède déjà de bonnes compétences sur la segmentation de ce type d'images (cf. 5-3.2.3. : segmentation et représentation floue). Nous pourrions ainsi confronter nos résultats avec les leurs en ce qui concerne la détection de diverses structures anatomiques (ventricules, noyaux caudés, putamen), voire envisager une modélisation mixte numérique/symbolique ou une collaboration entre agents « flous » et agents « symboliques ».

5-3.5. Projets et applications

Les projets thématiques et applicatifs sont l'occasion de faire coopérer les thèmes de l'équipe, entre eux et avec des partenaires extérieurs. Les premiers sont de nature méthodologique alors que les seconds sont portés par une application.

5-3.5.1. Projets thématiques

- Extraction et représentation d'objets 3D en incorporant l'information statistique ; application à extraction des structures cérébrales et à l'endoscopie virtuelle : *A. Elmoataz, J. Fadili, S. Ruan.*
- Indexation d'images : extraction du mouvement et des textes : *A. Elmoataz et équipe I3.*
- Atlas des structures anatomiques en IRM et représentation par squelettisation : *S. Ruan et S. Fourey.*
- Plate-forme multi-agents pour la segmentation de structures anatomiques : *C. Porquet, S. Ruan, M. Revenu.*

5-3.5.2. Projets applicatifs

- Analyse et synthèse de matériaux pour accéder à tous les paramètres morphologiques des matériaux : *A. Elmoataz et LERMAT.*
- Segmentation et reconnaissance d'objets cellulaires : *A. Elmoataz, LUSAC, Centre F. Baclesse, Hôpital Pasteur de Cherbourg.*
- Conception d'une base données images et d'une plate-forme d'expérimentation d'enchaînement d'opérateurs statistiques et image pour aider à la découverte de corrélations entre les données images et les données patients par formulation de requête : *M. Revenu et N. Delcroix (Cycéron).*
- Moteur de rendu non photoréaliste de scènes 3D : *H. Rahbar, S. Fourey, M. Revenu.*

5-4. Actions régionales, nationales et internationales

- ♦ **Projet régional CRITIC : GREYC - TCI**

Sujet : Aide au repérage des points céphalométriques sur des radiographies de jeunes enfants.

Mots clés : céphalométrie, repérage, R.D.F. statistique, détection de contour, apprentissage, réalité augmentée.

La céphalométrie a pour objectif la détection précoce des dysharmonies du rangement dentaire chez le jeune enfant. Elle se base sur la comparaison des mesures d'angles et de longueurs entre les points céphalométriques à des valeurs normatives. Ces points sont repérés sur des radiographies latérales numériques à haute résolution (1576*1976 pixels). La difficulté principale de toutes les analyses actuelles provient de la détection manuelle sur une radiographie de ces points de références céphalométriques par un praticien. L'objectif précis de ce projet est de proposer une aide à la détection de ces points pour réduire les erreurs du praticien.

Aujourd'hui, l'ensemble des applications développées permet à la société T.C.I. de disposer d'un logiciel d'aide à la localisation des points sur deux aspects : la localisation approximative statistique et une aide à la visualisation. L'erreur de l'approximation statistique est de l'ordre de 3 mm.

L'ensemble de l'aide apportée repose sur la mise au point des méthodes suivantes :

- La détermination d'un repère individualisé (c'est-à-dire d'une forme propre au crâne).
- L'apprentissage de la position des points céphalométriques.
- Une phase de repérage.
- Un traitement spécifique par fenêtre d'intérêt.
- L'approximation d'un ensemble de points par une ellipse.

Dans ce projet sont intervenus 2 étudiants de DEA, un doctorant, un ingénieur contractuel pendant un an et demi.

◆ **Projet régional CRITIC : GREYC – LERMAT - ADCIS**

Sujet : Granulométrie et modélisation des céramiques.

L'objectif de ce projet est de développer des méthodes de détermination granulométrique sur des céramiques par attaques chimiques, thermiques et plasmas, puis par des méthodes de segmentation d'images. On peut alors obtenir une mesure des paramètres morphologiques et faire une analyse du frittage.

Dans un deuxième temps, l'objectif est d'atteindre la morphologie 3D pour accéder à tous les paramètres morphologiques du métal.

Dans ce projet le GREYC apporte sa compétence Image, le LERMAT sa compétence en chimie et morphologie mathématique et ADCIS son expérience d'applications industrielles et sa plate-forme de développement.

◆ **Projet régional CRITIC : GREYC - Philips Caen**

Sujet : Identification des bruits et optimisation de l'autofocus d'une caméra numérique.

Mots clés : caméra numérique, CCD, CMOS, bruit, auto-focus.

Ce partenariat associe le GREYC-Image, que je co-représente avec M. Desvignes et le Pr. D. Bloyet, à la division "Image Processing" de Philips Caen sous la responsabilité de Frédéric Bompard (Ingénieur). Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un appel à projet émis par le pôle CRITIC (Comité Régional Image et Technologies de l'Information et de la Communication). Il est financé sur 18 mois à hauteur de 100 000 Euros.

Les capteurs d'image utilisés dans les appareils photo numériques ont des caractéristiques de bruit qui vont modifier le comportement des circuits de traitement numérique qui exploitent la sortie de ces capteurs. La problématique est de trouver et de tester des algorithmes destinés à réaliser un

système de mise au point automatique qui soient adaptés au type de bruit prépondérant dans le capteur, en fonction des conditions de fonctionnement du système complet de l'appareil photo.

Les objectifs premiers de ce partenariat sont tout d'abord de modéliser les sources prépondérantes de bruit du capteur d'image et leur évolution en fonction des conditions de fonctionnement. Enfin, nous nous attaquerons au problème de l'auto-focus en proposant des algorithmes adaptés aux sources de bruits en présence. Actuellement, des solutions sont en cours d'investigation dans le cadre de projets d'études sous ma responsabilité, traitant du problème de l'identification de bruit d'une part et des algorithmes multi-échelle pour l'auto-focus d'autre part.

◆ **Projet Aide au diagnostic par analyse d'images en microscopie cellulaire (ADAIMIC)**

Le projet ADAIMIC s'inscrit dans un contexte d'aide au diagnostic médical en microscopie cellulaire. Il regroupe deux laboratoires : le GREYC et le LUSAC de Cherbourg, et deux centres hospitaliers : l'hôpital Pasteur de Cherbourg et le centre François Baclesse de lutte contre le cancer à Caen. L'objectif du projet est de développer un système informatisé général et non dédié, fondé sur l'analyse d'images en histologie et cytologie pathologiques. La mise en place d'un système peut apporter au médecin pathologiste un plus dans le domaine de l'assurance qualité en vue du dépistage, de l'amélioration du diagnostic et de l'aide au suivi thérapeutique.

Ce projet sur 3 ans (2001-2003) a reçu un financement Région-Feder d'un montant de 450 KF.

◆ **Projet CNRS STIC - SDV**

Sujet : Modulation attentionnelle des aires visuelles et auditives primaires : étude chez le sujet sain en IRMf et EEG.

Mots clés : estimation et détection, ondelettes, IRMf, EEG, modulation attentionnelle.

Ce projet s'inscrit dans le cadre du Programme Interdisciplinaire Cognition et Traitement de l'Information, créé par le CNRS pour appuyer des collaborations à caractère pluridisciplinaire entre les départements STIC et SDV. Ainsi un partenariat SDV/STIC a été mis en place entre le GIN-UMR 6095 et le GREYC Image-UMR 6072 où J. Fadili partage la responsabilité scientifique avec L. Petit (CR2 CNRS section 29). Grâce à ce couplage de compétences, ce projet va permettre l'étude de modèles multi-échelle afin de proposer de nouveaux outils d'analyse d'intégration des signaux mesurés dans les expériences couplant les techniques d'IRMf et d'EEG. L'objectif général de ce projet est d'étudier les réseaux neuraux spatio-temporels de la modulation attentionnelle des aires visuelles et auditives primaires chez le sujet sain en IRMF et EEG. Le projet proposé permettra une caractérisation multi-paramétrique des réseaux engagés dans une tâche attentionnelle soit visuelle soit auditive, en mesurant simultanément la réponse hémodynamique (en IRMf) et les signaux électromagnétiques (en EEG). Ce projet a reçu l'approbation du comité scientifique en novembre 2001 pour un financement total de 88 600 Euros réparti sur 3 ans.

◆ **Projet franco-chinois (L.I.A.M.A.)**

Depuis 1998, nous avons mis en place une relation coopérative entre notre laboratoire (GREYC), le CHU de Caen et l'équipe Image de l'Université de Tsinghua à Pékin dans le domaine de l'extraction des informations à partir des images IRM pour aider le diagnostic du médecin et la recherche en neurosciences. Nous avons répondu aux appels d'offres du LIAMA en 1999. Notre candidature a été acceptée par le LIAMA (Laboratoire en Informatique, Automatique et Mathématiques Appliquées) pour une période un an (2000-2001). Nous continuons toujours notre collaboration dans ce domaine.

◆ **Projet Human Brain Project National Institute of Health (NIH USA)**

Sujet : L'IRM pharmacologique et les fonctions cérébrales supérieures chez l'homme.

Mots clés : IRMf, neurosciences, ondelettes, rééchantillonnage aléatoire.

Ce projet sur 5 années est une réponse à un appel d'offres émis par le National Institute of Health USA. Il se situe dans la continuité des collaborations de J. Fadili avec l'équipe du Pr. E. Bullmore de l'Université de Cambridge initiée lors de son stage post-doctoral. Ces travaux nous associent à une réelle collaboration sur le plan international regroupant plusieurs chercheurs de diverses équipes du Royaume-Uni (Cambridge, Londres, Oxford). La finalité de ce projet vise à renforcer les liens incontournables entre les neurosciences et les communautés du traitement du signal et des statistiques. L'objectif est double :

- Tout d'abord, développer des méthodes d'analyse multi-échelle du signal fonctionnel en IRM en utilisant les ondelettes et le bootstrap comme outils mathématiques clés.
- Appliquer ces méthodes pour la caractérisation des effets psychoactifs des médicaments sur les modifications adaptatives de l'activité cérébrale relatives à la charge et la répétition, et de tester les hypothèses concernant la relation existant entre les changements provoqués par l'âge et la maladie et les fonctions cérébrales.

Ce projet est en cours d'évaluation pour un financement total demandé de 1 250 000 \$ répartis sur 5 ans.

♦ **Projet Extraction de l'information de documents et Vérification automatique de Signatures manuscrites**

Ce projet regroupe Le laboratoire LIMI- Unité de Recherche en Traitement d'Image et de l'information de l'Université Ibn Zohr-Agadir, Maroc, le Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Imagerie et Calcul Scientifique de l'Université du Québec à Trois-Rivières - Canada et le GREYC. Ce projet déposé en 2001, vient d'être retenu par le CNRST (MAROC).

5-5. Contrats industriels

5K1- "Repérage automatisé de points céphalométriques sur des radiographies crâniennes", société TCI (Télécrâne Innovation, Caen). Responsables : M. Revenu, M. Desvignes. Dates : 1998, 2000. Budget : 400 000 F HT pour le financement de stagiaires et d'un ingénieur d'études pendant un an (conventions d'étude). Financement CRITIC de 290 000 F HT en 2000.

5K2- "Comptage de personnes par imagerie numérique", Science & Tec (Lisieux). Responsables : M. Revenu, M. Desvignes. Date : 1999. Budget : 77 000 F HT. Convention d'étude.

5K3- "Recherche de textes et de visages sur des vidéos", société Manréo (Paris). Responsables : M. Revenu, A. Elmoataz. Date : 2001. Budget : 10 000 F HT (2001). Convention d'étude.

5K4- "Granulométrie et modélisation de céramiques", société ADCIS (Caen), LERMAT. Responsables : J.L. Chermant, A. Elmoataz. Date : 2000. Budget : 580 000 F HT financé par CRITIC dont 50 000 F HT pour le GREYC. Convention d'étude.

5K5- "Identification des bruits et optimisation de l'autofocus d'une caméra numérique", Philips France (Caen). Responsables : M. Desvignes, J. Fadili. Date : 2001. Budget : 69 600 Euros HT. Opération CRITIC financée par FNADT et FEDER. Convention d'étude.

5K6- "Développement d'un moteur de rendu non-photoréaliste de scènes 3D", TOON-AXIS. Responsables : M. Revenu, H. Rahbar, S. Fourey. Date : 2002. Budget : 7400 Euros HT (financé par Normandie Incubateur). Convention d'hébergement et de partenariat technologique.

5–6. Diffusion des résultats

Organisation de conférences et d'écoles thématiques

- Daniel Bloyet : co-organisateur de la conférence internationale 7th ESACP, 1-5 avril 2001 à Caen.
- Michel Desvignes : co-organisateur des 2^{ème} Journées d'Imagerie Cérébrale, 10-11 décembre 1999 à Caen.
- Rémy Malgouyres : organisateur du 7^{ème} colloque international IWCIA (International Workshop on Combinatorial Image Analysis), 10-11 juillet 2000 à Caen. Sébastien Fourey et Jasmine Burguet ont participé à l'organisation de ce colloque.
- Sébastien Fourey : co-organisateur du 8^{ème} colloque International IWCIA, 23-24 août 2001 à Philadelphie.
- Marinette Revenu et Jalal Fadili : co-organiseurs du Colloque « Imagerie médicale et santé » dans le cadre de l'IFR 47 « Imagerie physiologique et métabolique », le 25 Avril 2002 à Caen.

Participation à des comités de programmes de conférences

- A. Elmoataz : Membre de comités de programme : International Conference on Image and Signal processing (ICISP 01, ICISP 03), 16 th International Conference on Vision Interface (VI03).
- M. Revenu : Membre de comités de programme et relectrice d'articles pour des congrès et des revues : Grets (1999), RàPC'99, IC (depuis 1999), ICEIS (depuis 2000), ICIG (2000), IEEE Trans. on Medical Imaging, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Traitement du Signal.

Participation à des séminaires et des groupes de travail

- Participation à des groupes de travail au plan national : GDR-PRC ISIS (opération 6.2), GRACQ.
- M. Revenu : membre d'un Comité de Coordination des actions communes STIC-INSERM depuis novembre 2001. Ce comité a abouti à la mise en place des initiatives « STIC-Santé-INSERM » suivantes : création d'un GdR « STIC Santé » et d'un RTP «Ingénierie de l'Information et de la Connaissance en Santé » et lancement de projets mixtes STIC/INSERM.
- S. Fourey et R. Malgouyres : participation au groupe de travail de géométrie discrète et exposés :
 - « Un nombre d'intersection pour des chemins de surfels et préservation de la topologie dans les surfaces », Université Paris VII, 1er février 1999.
 - « Un nombre d'entrelacement pour des courbes discrètes et son application à la simplification d'une caractérisation globale des points simples en 3D », ENS Ulm, Paris, 13 décembre 1999.
- S. Fourey et R. Malgouyres : participation au séminaire du CSAM, Philadelphie : "Topology preservation in Z3: a simpler characterization of 3-D simple points", 5 décembre 2000.

DEA et enseignement de 3^{ème} cycle

- Implication des enseignants-chercheurs de l'équipe dans les cours Image des DEA « Intelligence Artificielle et Algorithmique » et « Electronique Systèmes Capteurs et Images » et du DESS « Réseaux, Applications Documentaires et Image ».
- M. Revenu : responsable d'un partenariat depuis 2001 avec les écoles du GET pour le développement d'un didacticiel hypermédia sur les Technologies pour le Multimédia, sous la forme d'un CD-Rom (projet TIM, collection "En question"). L'objectif est de faciliter l'apprentissage des techniques du traitement, du codage, de la transmission et de la protection des images. Réalisation de 3 articles (scénarii, réalisation du support et création d'animations

interactives). Ce logiciel sera utilisé dans les formations Image en DESS et en DEA.

Animation de la communauté de recherche

Participation à des comités de lecture

- Daniel Bloyet : relecteur d'articles pour IEEE Trans. on Biomedical Engineering et Pattern Recognition Letters.
- Michel Desvignes : relecteur pour la revue Traitement du Signal.
- J. Fadili : rapporteur de revues : IEEE Trans. Medical Imaging, NeuroImage, Human Brain Mapping.
- Sébastien Fourey : co-éditeur (avec Gabor T. Herman, T. Yung Kong et Azriel Rosenfeld) d'un numéro spécial de la revue Discrete Applied Mathematics dont le processus de relecture est en cours.
- Marinette Revenu : relectrice d'articles pour des congrès Grets (1999), RàPC'99, IC (depuis 1999), ICEIS (depuis 2000), ICIG (2000), et des revues : IEEE Trans. on Medical Imaging, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Traitement du Signal.
- Su Ruan : relectrice d'articles pour la revue "Pattern Recognition Letters".

Participation et rapport pour des jurys de thèse

- D. Bloyet, M. Desvignes, A. Elmoataz, S. Ruan : participation à des jurys de thèse en tant que directeur ou co-directeur.
- M. Revenu : participation à des jurys de thèse : 8 en tant que rapporteur, 9 en tant que directeur, 4 en tant qu'examineur et à des jurys d'habilitation à diriger des recherches : 3 en tant que rapporteur, 4 en tant qu'examineur.

Responsabilités de recherche locales, régionales ou nationales

- D. Bloyet :
 - Responsable du Pôle Traitement et Analyse d'Images de Basse-Normandie jusqu'en 1999.
 - Membre du bureau de CRITIC depuis 2000.
 - Responsable de l'appel à projets ITIC 2002-2003.
- M. Revenu :
 - Membre du Conseil du Pôle Traitement et Analyse d'Images de Basse-Normandie jusqu'en 1999. Ce pôle a été restructuré dans le nouveau contrat de plan Etat-Région et s'intitule maintenant ITIC (Image et Technologies de l'Information et de la Communication).
 - Membre du Conseil d'Institut et du Comité Directeur de l'Institut Fédératif de Recherche "Imagerie Physiologique et Métabolique (IFR 47)" de Caen créé en janvier 1996 et renouvelé en 2000. L'objectif de cet institut est de coordonner les recherches des équipes du site de Caen en neuro-imagerie. L'action du GREYC se situe dans l'axe "imagerie multimodale" et apporte une composante méthodologique à des recherches plutôt orientées vers les applications médicales expérimentales et cliniques.
 - Expert GRAVIR (Groupe Régional d'Action pour la Valorisation Industrielle de la Recherche) depuis mars 1997 avec le domaine de compétence "Traitement et analyse d'images". Ce groupe d'experts est piloté par le Délégué Régional à la Recherche et à la Technologie de Basse-Normandie. Son rôle est de favoriser les relations entre entreprises et laboratoires de recherche. Des contacts fructueux ont pu être établis entre le GREYC et des entreprises grâce à cette structure. Le dernier en date pourrait aboutir rapidement à la création d'une PME sur l'aide à la conception de dessins animés.

5-7. Perspectives générales de l'équipe

Comme on peut le constater, l'équipe a subi des changements importants en 4 ans : recrutement de 2 jeunes MC, soutenance de 4 HDR, 2 départs de MC promu professeur, 1 détachement, intégration d'un collègue MC caennais. Le nombre de doctorants a également été très fluctuant. Après une période avec beaucoup de doctorants dans l'équipe ou en collaboration avec Cycéron, nous avons eu un creux et actuellement nous sommes en train de reprendre un régime plus conforme au nombre d'encadrants potentiels.

Cette fluctuation a rejailli sur l'organisation de la recherche en thèmes, et les principales perspectives générales de recherche méthodologique sont :

- Etudier l'apport des modèles statistiques dans les thèmes à dominante numérique : surfaces actives géométriques, segmentation, modélisation de formes, détection dans le domaine spatio-temporel ;
- Exploiter le caractère discret de l'image et proposer des algorithmes spécifiques : préservation de la topologie, description du groupe fondamental discret ;
- Poursuivre la modélisation des connaissances, soit dans le domaine du traitement d'images, en proposant une méthode de développement d'applications et en capitalisant le savoir-faire, soit dans le domaine de l'application pour interpréter des images.

Par ailleurs, nous continuons à nous impliquer dans des applications variées, aussi bien dans le domaine médical que dans le domaine industriel. Nous nous investissons dans de nouveaux projets tels que la fouille d'images et l'indexation, ainsi que la synthèse d'images et le rendu non-photo-réaliste de scènes 3D. Dans les deux cas, les méthodes que nous maîtrisons en traitement et analyse vont être exploitées et enrichies.

L'équipe souhaite également développer ses collaborations nationales et internationales. Notre participation à une Action Spécifique CNRS, à un partenariat SDV/STIC et à trois projets internationaux en est une première étape.

5-8. Publications

Thèses soutenues entre novembre 1998 et octobre 2002

5T1- François Angot, "Segmentation d'images 2D et 3D ; application à la quantification d'images histologiques et cytologiques obtenues par microscopie", directeurs : M. Revenu, A. Elmoataz. Jury : P. Bolon, S. Philipp, A. Elmoataz, M. Revenu, F. Sichel. 2 février 1999.

5T2- Emmanuel Dumas, "Elaboration d'outils de segmentation et de recalage d'images multimodales : application à l'étude des accidents vasculaires cérébraux à partir d'angiographie IRM chez le primate non humain", directeurs : E. Mackenzie, M. Revenu. Rapporteurs : D. de Brucq, R. Lecordier. Jury : C. Barillot, E. MacKenzie, M. Revenu. 20 janvier 2000.

5T3- Jalal Fadili, "Analyse spatio-temporelle des signaux d'activation cérébrale en IRM fonctionnelle", directeurs : D. Bloyet, S. Ruan. Rapporteurs : O. Macchi, I. Magnin. Jury : J. Bittoun, B. Mazoyer, D. Bloyet, S. Ruan. 9 décembre 1999.

5T4- Valérie Ficet-Cauchard, "Réalisation d'un système d'aide à la conception d'applications de Traitement d'Images : une approche basée sur le raisonnement à partir de cas", directeurs : M. Revenu, C. Porquet. Rapporteurs : C. Garbay, A. Mille. Jury : G. Kassel, C. Porquet, M. Revenu, K. Zreik. 14 janvier 1999.

5T5- Nicolas Flasque, "Détection et représentation de structures tubulaires 3D. Application à l'angiographie par résonance magnétique", directeurs : M. Revenu , M. Desvignes. Rapporteurs : R. Collorec, I. Magnin. Jury : J.M. Constans, M. Desvignes, M. Revenu. 5 janvier 2001.

5T6- Sébastien Fourey, "Nombre d'intersection et d'entrelacement de courbes discrètes et application à la caractérisation de la préservation de la topologie en imagerie", directeur : R. Malgouyres. Rapporteurs : J.M. Chassery, T.Y. Kong, M. Nivat . Jury : G. Bertrand, R. Malgouyres, J.P. Réveillès, M. Revenu, M. Tajine. 11 juillet 2000.

5T7- Cyril Jaggi , "Segmentation par méthode markovienne de l'encéphale humain en imagerie par résonance magnétique : théorie, mise en œuvre et évaluation", directeurs : D. Bloyet, S. Ruan Guo. Rapporteurs : I. Bloch, J. Ronsin. Jury : J.L. Coatrieux, D. Bloyet, B. Mazoyer, S. Ruan Guo. 21 décembre 1998.

5T8- Serge Langlois, "Analyse et correction des distorsions en imagerie par résonance magnétique", directeurs : M. Desvignes, J.M. Constans, M. Revenu. Rapporteurs : S. Akoka, J.M. Fanconi. Jury : J.M. Constans, J. de Certaines, M. Desvignes, M. Revenu. 20 novembre 1998.

5T9- Alexandre Lenoir, "Des outils pour les surfaces discrètes : estimation d'invariants géométriques, préservation de la Topologie, tracé de géodésiques, visualisation", directeurs : M. Revenu, R. Malgouyres. Rapporteurs : G. Bertrand, J.M. Chassery. Jury : J.L. Lambert, R. Malgouyres, M. Revenu. 28 septembre 1999.

5T10- Olivier Lezoray, "Segmentation d'images couleur par morphologie mathématique et classification de données par réseaux de neurones : application à la classification de cellules en cytologie des séreuses", directeurs : H. Cardot, A. Elmoataz, M. Revenu. Rapporteurs : P. Bonton, A. Faure. Jury : H. Cardot, H. Elie, A. Elmoataz, M. Revenu. 13 janvier 2000.

5T11- Christophe Renault, "Courbures et lignes de crête sur des images en niveaux de gris. Etude comparative et application aux sillons corticaux", directeurs : M. Desvignes, M. Revenu. Rapporteurs : A. Diou, A. Faure. Jury : M. Desvignes, M. Revenu, N. Rougon. 21 décembre 2001.

5T12- Sophie Schüpp, "Prétraitement et segmentation d'images par mise en œuvre de techniques basées sur les équations aux dérivées partielles : application en imagerie microscopique biomédicale", directeurs : D. Bloyet, A. Elmoataz. Rapporteurs : P. Bolon, J.M Chassery. Jury : D. Bloyet, L. Cohen, M. Coster, A. Elmoataz, F. Meyer, M. Revenu. 18 décembre 2000.

Habilitations à diriger des recherches

5H1- Michel Desvignes, "Mesures et Modélisation de la variabilité en Analyse d'images et Reconnaissance des formes", directeur : M. Revenu. Rapporteurs : I. Bloch, P. Bonton, M. Revenu. Jury : C. Barillot, D. Bloyet, S. Philipp-Foliguet. 4 janvier 2002.

5H2- Abder Elmoataz, "Modèles, Algorithmes et Applications en Traitement et Analyse d'Images", directeur : M. Revenu. Rapporteurs : P. Bolon, J.M. Chassery, M. Najim. Jury : D. Bloyet, J.L. Chermant, L. Cohen, M. Revenu. 3 janvier 2002.

5H3- Rémy Malgouyres, "Préservation de la topologie et surfaces en géométrie discrète", directeur : M. Revenu. Rapporteurs : J.M. Chassery, P. Gritzmam, M. Nivat. Jury : E. Grandjean, J.P. Reveillès, M. Revenu, D. Richard. 8 janvier 1999.

5H4- Su Ruan, "Segmentation d'images et détection de signaux appliquées à l'IRM anatomique et à l'IRM fonctionnelle", directeur : D. Bloyet. Rapporteurs : D. Bloyet, J.L. Coatrieux, J.P. Cocquerez. Jury : Y. Lecourtier, B. Mazoyer, M. Revenu. 15 décembre 2000.

Revues internationales

- 5A1-** X. Arnoud, M. Coster, J.L. Chermant, L. Chermant, T. Chartier, **A. Elmoataz**, "Segmentation and grain size of ceramics", *Image Analysis Stereology (selected papers of the Proc. 8th ECS and Image Analysis)*, Bordeaux, France, vol. 1, n° 20, pp. 13-18, 2001.
- 5A2-** P. Belhomme, P. Herlin, **A. Elmoataz**, O. Rougereau, C. Boudrey, **D. Bloyet**, "Automatic segmentation for DNA ploidy measurements : methodological choices", *Acta Stereologica*, vol. 18, n° 3, pp. 415-425, 1999.
- 5A3-** G. Bertrand, **R. Malgouyres**, "Some topological properties of discrete surfaces", *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, n° 11, pp. 207-221, 1999.
- 5A4-** **D. Bloyet**, P. Herlin, E. Masson, B. Plancoulaine, F. Duigou, **F. Angot**, J.P. Signolle, D. Deman, A.M. Mandard, P. Belhomme, T. Datry, O. Rougereau, "DRACCAR : image analysis software for automatic DNA ploidy assessment of archival solid tumors", *Cytometry, Journal of the International Society for Analytical Cytology*, vol. 37, n° 4, pp. 267-276, décembre 1999.
- 5A5-** C. Boudry, P. Herlin, B. Plancoulaine, E. Masson, H. Cardot, **A. Elmoataz**, M. Coster, **D. Bloyet**, J.L. Chermant, "Automatic morphological sieving: comparison between different methods, application to DNA ploidy measurements", *Analytical Cellular Pathology*, vol. 18, pp. 203-210, 1999.
- 5A6-** E. Bullmore, C. Long, J. Suckling, **M.J. Fadili**, G. Calvert, F. Zelaya, T.A. Carpenter, M. Brammer, "Colored noise and computational inference in neurophysiological fMRI time series analysis : resampling methods in time and wavelet domains", *Human Brain Mapping*, vol. 12, n° 2, pp. 61-78, février 2001.
- 5A7-** **R. Clouard**, **A. Elmoataz**, **C. Porquet**, **M. Revenu**, "BORG: A knowledge-based system for automatic generation of image processing programs", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, n° 2, pp. 128-144, février 1999.
- 5A8-** J.T Devlin, R.P. Russel, M.H. Davis, C.J. Price, H.E. Moss, **M.J. Fadili**, L.K. Tyler, "Is there an anatomical basis for category-specificity ? Semantic memory studies in PET and fMRI", *NeuroPsychologia*, vol. 40, pp. 54-75, 2001.
- 5A9#-** **C. Dolabdjian**, **M.J. Fadili**, E.H. Leyva, "Classical low-pass filter and real-time wavelet-based denoising technique implemented on a DSP : A comparison study", *European Physical Journal-Applied Physics*, 11 p., 2002.
- 5A10-** **A. Elmoataz**, **S. Schüpp**, **D. Bloyet**, "Fast and simple discrete approach for active contours for biomedical applications", *Int. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 15, n° 17, pp. 1201-1212, 2001.
- 5A11-** **M.J. Fadili**, E. Bullmore, "Wavelet-generalised least squares: a new BLU estimator of linear regression models with $1/f$ errors", *NeuroImage*, vol. 15, n° 1, pp. 217-232, 2002.
- 5A12-** **M.J. Fadili**, **S. Ruan**, **D. Bloyet**, B. Mazoyer, "A multistep Unsupervised Fuzzy Clustering Analysis of fMRI time series", *Human Brain Mapping*, vol. 10, n° 4, pp. 160-178, 2000.
- 5A13-** **M.J. Fadili**, **S. Ruan**, **D. Bloyet**, B. Mazoyer, "On the number of clusters and the fuzziness index for unsupervised FCA application to BOLD fMRI time series", *Medical Image Analysis*, vol. 5, n° 1, pp. 55-67, 2001.
- 5A14#-** **V. Ficot-Cauchard**, **C. Porquet**, **M. Revenu**, "CBR for the management and reuse of image-processing expertise : a conversational system", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 12, n° 6, pp. 733-747, décembre 1999.
- 5A15-** **N. Flasque**, **M. Desvignes**, J.M. Constans, **M. Revenu**, "Acquisition, segmentation and tracking of the cerebral vascular tree on 3D magnetic resonance angiography images", *Medical Image Analysis*, vol. 5, n° 3, pp. 173-183, 2001.
- 5A16-** **S. Fourey**, **R. Malgouyres**, "Intersection number and topology preservation within digital

surfaces", *Theoretical Computer Science*, vol. 283, n° 1, pp. 109-150, juin 2001.

5A17- S. Fourey, R. Malgouyres, "A digital linking number for discrete curves", *Int. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 15, n° 7, pp. 1053-1074, 2001.

5A18- S. Fourey, R. Malgouyres, "A concise characterization of 3D simple points", *Discrete Applied Mathematics*, vol. 125, n° 1, pp. 59-80, 2003.

5A19- S. Gustard, M.J. Fadili, E.J. Williams, L.D. Hall, T.A. Carpenter, M. Brett, E.T. Bullmore, "Effect of slice orientation on reproducibility of fMRI motor activation at 3 Tesla", *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 19, n° 10, pp. 1323-1331, décembre 2001.

5A20- S. Langlois, M. Desvignes, J.M. Constans, M. Revenu, "MRI Geometric Distorsion : A simple approach to correcting the effects of non-linear gradient fields", *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, vol. 9, n° 6, pp. 821-831, juin 1999.

5A21- O. Lezoray, A. Elmoataz, H. Cardot, "A color object recognition scheme : application to cellular sorting", *Machine Vision and Applications*, à paraître, 2002.

5A22- O. Lezoray, A. Elmoataz, H. Cardot, G. Gougeon, M. Lecluse, H. Elie, M. Revenu, "Segmentation of Cytological Images Using Color and Mathematical Morphology", *Acta Stereologica*, vol. 18, n° 1, pp. 1-14, 1999.

5A23- O. Lezoray, A. Elmoataz, H. Cardot, G. Gougeon, M. Lecluse, H. Elie, M. Revenu, "Segmentation of color images from serous cytology for an automatic cellular classification", *Analytical and quantitative cytology and histology*, vol. 22, n° 4, pp. 311-323, 2000.

5A24- R. Malgouyres, "Homotopy in 2-dimensional digital images", *Theoretical Computer Science*, vol. 230, n° 1-2, pp. 221-233, 2000.

5A25- R. Malgouyres, G. Bertrand, "A new local property of strong n-surfaces", *Pattern Recognition Letters*, vol. 20, pp. 417-428, janvier 1999.

5A26- R. Malgouyres, G. Bertrand, "Complete local characterization of strong 26-surfaces : continuous analog for strong 26-surfaces", *Int. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 13, n° 4, pp. 465-484, 1999.

5A27- R. Malgouyres, A. Lenoir, "Topology Preservation Within Digital Surfaces", *Graphical Models and Image Processing*, vol. 62, pp. 71-84, 2000.

5A28- R. Malgouyres, "Computing the fundamental group in digital spaces", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 15, n° 7, pp. 1075-1088, 2001.

5A29- B. Moretti, M.J. Fadili, S. Ruan, D. Bloyet, B. Mazoyer, "Phantom-Based Performance Evaluation - Application to Brain Segmentation from Magnetic Resonance Images", *Medical Image Analysis*, vol. 4, n° 4, pp. 303-316, juin 2000.

5A30- N. Royackkers, M. Desvignes, H. Fawal, M. Revenu, "Detection and Statistical Analysis of Human Cortical Sulci", *NeuroImage*, n° 10, pp. 625-641, 1999.

5A31- S. Ruan, C. Jaggi, J. Xue, M.J. Fadili, D. Bloyet, "Brain Tissue Classification of Magnetic Resonance Images Using Partial Volume Modeling", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 19, n° 12, pp. 1179-1187, décembre 2000.

5A32- S. Ruan, B. Moretti, M.J. Fadili, D. Bloyet, "Fuzzy Markovian Segmentation in Application of Magnetic Resonance Images", *Computer Vision and Image Understanding, USA*, à paraître, 2002.

5A33- S. Schüpp, A. Elmoataz, M.J. Fadili, D. Bloyet, "PDE Based image segmentation for biomedical applications", *Moroccan Journal of Control Computer and Signal Processing, Agadir, Maroc*, vol. 3, n° 2, 12 p., 2002.

5A34- S. Schüpp, A. Elmoataz, P. Herlin, D. Bloyet, "Quantitative immunochemistry by mathematica morphology segmentation", *Analytical and Quantitative Cytology and Histology*, vol. 23, pp. 257-267, 2001.

5A35- L.K. Tyler, R.P. Russell, **M.J. Fadili**, H.E. Moss, "The neural representation of nouns and verbs : PET studies", *Brain*, pp. 1619-1634, 2001.

5A36- **J. Xue**, **S. Ruan**, **B. Moretti**, **M. Revenu**, **D. Bloyet**, "Knowledge-based segmentation and labeling of brain structures from MRI images", *Pattern Recognition Letters*, vol. 22, n° 3-4, pp. 395-405, avril 2001.

Ouvrages et chapitres de livre

5L1- Y. Darlas, **R. Clouard**, "Endosonographic Appearance of the Normal Gastrointestinal Tract Wall", *Endosonography in Gastroenterology-Principles-Techniques-Findings*, H. Dancygier, C.J. Lightdale Eds, Thieme, Stuttgart, Germany, pp. 5-21, 1999.

5L2- **M.J. Fadili**, "Techniques de traitement en IRMf, NeuroImagerie Cognitive : physiologie, instrumentation, plans expérimentaux, mise en œuvre et traitements", M. Joliot, éd. Hermès, Paris, 2002.

5L3#- **V. Ficet-Cauchard**, **M. Revenu**, **C. Porquet**, **R. Clouard**, "Aide à la conception d'applications de Traitement d'Images : une approche fondée sur le raisonnement à partir de cas", *Ingénierie des connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis*, J. Charlet, M. Zacklad, G. Kassel, D. Bourigault, éd. Eyrolles, pp. 93-108, 2000.

Conférences internationales avec comité de lecture et actes

5B1- **F. Angot**, **A. Elmoataz**, **M. Revenu**, P. Vasseur, F. Sichel, "3-Dimensional image processing : application to the characterization of cell transformation in the syrian hamster embryo test", 7th ESACP. *Analytical Cellular Pathology*, Caen, vol. 22, n° 1-2, pp. 92, 2001.

5B2- **J. Burguet**, **R. Malgouyres**, "Strong Thinning and Polyhedrization of the Surface of a Voxel Object", *Proceedings of DGCI'99. Lecture Notes in Computer Science*, Marne-la-Vallée, vol. 1953, pp. 222-234, mars 1999.

5B3- **T. Coudrey**, **A. Elmoataz**, P. Herlin, **D. Bloyet**, "Regularized fuzzy C-mean: application in medical image segmentation", 7th ESACP. *Analytical Cellular Pathology*, Caen, vol. 22, n° 1-2, p. 75, 2001.

5B4- **M. Desvignes**, **B. Romaniuk**, **R. Clouard**, **R. Demoment**, **M. Revenu**, M.J. Deshayes, "First steps toward Location of Landmarks on X-Ray Images", *Proceedings of fifteenth International Conference on Pattern Recognition*, Barcelone, Espagne, vol. 2, pp. 275-278, septembre 2000.

5B5- **M. Desvignes**, **B. Romaniuk**, **R. Demoment**, **M. Revenu**, M.J. Deshayes, "Computer Assisted Landmarking of Cephalometric Radiographs", *Proceedings of fourth IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, Austin, Texas, pp. 296-300, avril 2000.

5B6- **W. Dou**, **Q. Liao**, **S. Ruan**, **D. Bloyet**, J.M. Constans, Y. Chen, "Automatic brain tumor extraction using fuzzy information fusion", *ICIG 2002*, Hefei, China, 6 p., août 2002.

5B7- **A. Elmoataz**, **S. Schüpp**, F. Sichel, **D. Bloyet**, "Automatic segmentation of 3D images from confocal microscopy", 7th ESACP. *Analytical Cellular Pathology*, Caen, vol. 22, n° 1-2, p. 92, 2001.

5B8- **M.J. Fadili**, E.T. Bullmore, M. Brett, "Wavelet methods for characterising mono- and poly-fractal noise structures in shortish time series : An application to functional MRI", *IEEE International Conference on Image Processing*, Thessaloniki, Greece, pp. 225-228, octobre 2001.

5B9- **M.J. Fadili**, **S. Ruan**, **D. Bloyet**, B. Mazoyer, "Prototype characterization and Unsupervised Fuzzy Clustering of fMRI time series", *Fifth International Conference on Functional Mapping of the Human Brain*, NeuroImage, Düsseldorf, Allemagne, vol. 9, n° 6, p. S30, juin 1999.

- 5B10- M.J. Fadili, S. Ruan, D. Bloyet, B. Mazoyer**, "On the number of clusters and the fuzziness index for Unsupervised FCA of BOLD fMRI time series", 6th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, NeuroImage, vol. 11, n° 5, p. 628, 2000.
- 5B11#- V. Ficet-Cauchard, C. Porquet, M. Revenu**, "CBR for the reuse of Image Processing knowledge: a recursive retrieval/adaptation strategy", ICCBR'99, Munich, Allemagne, pp. 438-452, juillet 1999.
- 5B12#- V. Ficet-Cauchard, M. Revenu, C. Porquet**, "Knowledge Management in Image Processing by Means of Case-Based Reasoning", Workshop on Knowledge Management and Organizational Memories, IJCAI' 99, Stockholm, Suède, pp. 36-54, août 1999.
- 5B13- N. Flasque, M. Desvignes, J.M. Constans, M. Revenu**, "Acquisition and segmentation of blood vessels on magnetic resonance angiography", IPA'99, Manchester, U.K, 4 p., juillet 1999.
- 5B14- N. Flasque, M. Desvignes, J.M. Constans, M. Revenu**, "Tubular objects network detection from 3D images", SSIAI 2000, Austin, Texas, pp. 96-100, avril 2000.
- 5B15- N. Flasque, M. Desvignes, J.M. Constans, M. Revenu**, "Accurate detection of 3D tubular tree structures", ICIP 2000, Vancouver, Canada, pp. 436-439, septembre 2000.
- 5B16- S. Fourey, T.Y. Kong, G.T. Herman**, "Generic axiomatized digital surface-structures", Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Elsevier Science Publishers, Proceedings in IWICIA'01, Philadelphia, PA, vol. 46, pp. 1-20, août 2001.
- 5B17- S. Fourey, R. Malgouyres**, "Intersection number and topology preservation within digital surfaces", 6th Int. Workshop on Parallel Image Processing and Analysis, Madras, India, pp. 138-158, janvier 1999.
- 5B18- S. Fourey, R. Malgouyres**, "Intersection number of paths lying on a digital surface and a new Jordan theorem", DGCI'99, Lecture Notes in Computer Science, Marne-la-Vallée, France, vol. 1568, pp. 105-117, mars 1999.
- 5B19- S. Fourey, R. Malgouyres**, "A digital linking number for discrete curves", Proceedings of the 7th International Workshop on Combinatorial Image Analysis (IWICIA'00), pp. 59-77, juillet 2000.
- 5B20- S. Fourey, R. Malgouyres**, "A Concise Characterization of 3D simple points", Proceedings of the 9th International Conference Discrete geometry for Computer Imagery (DGCI'00), Uppsala, Suède, vol. 1953, pp. 27-36, décembre 2000.
- 5B21- P. Herlin, S. Schüpp, P. Belhomme, K. Tran, B. Plancoulaine, F. Duigou, C. Lebeau, Y. Denoux, A. Elmoataz, D. Bloyet**, "Quantification of tumor angiogenesis : part II - answer offered by low resolution image treatment", 6th ESACP, Analytical Cellular Pathology, Heiselberg, Allemagne, n° 1, pp. 18, avril 1999.
- 5B22- S. Langlois, M. Desvignes, J.M. Constans, M. Revenu**, "Susceptibility and chemical shift in MRI", Fifth International Conference on Functional Brain Mapping, NeuroImage, Düsseldorf, Allemagne, vol. 9, n° 6, p. S161, juin 1999.
- 5B23#- O. Lezoray, H. Cardot, D. Fournier, M. Revenu**, "MONNA: A multiple ordinate neural network architecture", EIS 2000, Pringley, Scotland, vol. 1, pp. 47-53, juin 2000.
- 5B24- O. Lezoray, A. Elmoataz, H. Cardot**, "Automatic cellular recognition in serous cytology", 7th ESACP. Analytical and Cellular Pathology, Caen, vol. 22, n° 1-2, p. 70, avril 2001.
- 5B25- O. Lezoray, A. Elmoataz, H. Cardot, M. Revenu**, "ARTIC : An automatic Cellular Sorting System using Image analysis", Vision Interface' 99, Trois-Rivières, Canada, pp. 312-319, mai 1999.
- 5B26- O. Lezoray, A. Elmoataz, H. Cardot, M. Revenu**, "A color morphological segmentation", CGIP, Saint-Etienne, France, pp. 170-175, octobre 2000.
- 5B27- R. Malgouyres**, "Presentation of the fundamental group in digital surfaces", DGCI'99, Lecture Notes in Computer Science, Marne-la-Vallée, France, vol. 1568, pp. 136-150, mars 1999.

- 5B28- B. Moretti, S. Ruan, D. Bloyet**, "Quantitative Assessment of Segmentation Using Distance Information and a Ground Truth", Physics in Signal and Image Processing (PSIP 2001), Marseille, France, pp. 278-283, janvier 2001.
- 5B29- B. Moretti, S. Ruan, D. Bloyet, B. Mazoyer**, "Phantom-Based Segmentation Evaluation: Application to MRI Encephalon Edition Validation", Fifth International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, NeuroImage, Düsseldorf, Allemagne, vol. 9, n° 6, p. S123, juin 1999.
- 5B30- C. Renault, M. Desvignes, M. Revenu**, "Suivi de courbes 3D. Application à la détection des sillons corticaux", Vision Interface 2000, Montréal, Canada, pp. 76-81, mai 2000.
- 5B31- C. Renault, M. Desvignes, M. Revenu**, "3D Curves Tracking and its application to Cortical Sulci Detection", IEEE International Conference on Image Processing, Vancouver, Canada, pp. 491-494, septembre 2000.
- 5B32- C. Renault, M. Desvignes, M. Revenu**, "Cortical sulci detection and tracking", Proceedings of X European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2000), Tampere, Finlande, p. 97, septembre 2000.
- 5B33- C. Renault, M. Desvignes, N. Royackkers, M. Revenu**, "Sulci and Curvature: Detection of the Roof", Fifth International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, NeuroImage, Düsseldorf, Allemagne, vol. 9, n° 6, p. S169, juin 1999.
- 5B34- B. Romaniuk, M. Desvignes, J. Robiaille, M. Revenu, M.J. Deshayes**, "Réalité Augmentée pour les Radiographies en Céphalométrie", ICISP, International Conference on Image & Signal Processing, Agadir, Maroc, vol. 1, pp. 221-229, mai 2001.
- 5B35- B. Romaniuk, M. Desvignes, J. Robiaille, M. Revenu, M.J. Deshayes**, "Augmented Reality and Semi-Automated Landmarking of Cephalometric Radiographs", 9th Computer Analysis of Images and Patterns, Warsaw, Poland, pp. 410-418, septembre 2001.
- 5B36- B. Romaniuk, M. Desvignes, M. Revenu, M.J. Deshayes**, "Linear and non-linear model for statistical localization of landmarks", 16th International Conference on Pattern Recognition, Québec, pp. 393-396, août 2002.
- 5B37- S. Ruan, D. Bloyet**, "MRF Models and multifractal analysis for MRI segmentation", Sixth International Conference Signal Processing, Beijing, China, vol. 2, pp. 1259-1262, août 2000.
- 5B38- S. Ruan, D. Bloyet, M. Revenu, Q. Liao, W. Dou**, "Cerebral Magnetic Resonance Image Segmentation Using Fuzzy Markov Random Fields", ISIB 2002, Washington DC, USA, 4 p., juillet 2002.
- 5B39- S. Ruan, M.J. Fadili, J. Xue, D. Bloyet**, "Brain tissue classification based on a mixel model and Markov random fields", First International Conference on Image and Graphics, Tianjing, China, vol. 5, pp. 369-372, août 2000.
- 5B40- S. Ruan, M.J. Fadili, J. Xue, D. Bloyet**, "Unsupervised segmentation of 3D MR brain images", Proceeding of fifteenth International Conference on Pattern Recognition, Barcelone, Espagne, vol. 3, pp. 409-412, septembre 2000.
- 5B41- S. Ruan, B. Moretti, M.J. Fadili, D. Bloyet**, "Segmentation of Magnetic Resonance Images using Fuzzy Markov Random Fields", IEEE ICIP, Thessaloniki, Greece, pp. 1051-1054, octobre 2001.
- 5B42- S. Schüpp, A. Elmoataz, R. Clouard, P. Herlin, D. Bloyet**, "Extraction automatique d'objets cellulaires en imagerie médicale microscopique : une approche intégrant les contours actifs avec des informations contours et Régions", Vision Interface 2000, Montréal, Canada, pp. 69-75, mai 2000.
- 5B43- S. Schüpp, A. Elmoataz, M.J. Fadili, D. Bloyet**, "PDE Based image segmentation for biomedical applications", International Conference on Image and Signal Processing, Agadir, Morocco, vol. 3, n° 2, pp. 204, mai 2001.
- 5B44- S. Schüpp, A. Elmoataz, M.J. Fadili, D. Bloyet**, "Fast statistical level sets image segmentation", Scale-Space'01 : Third International Conference on Scale-Space and Morphology, Vancouver, Canada, pp. 380-388, juillet 2001.

- 5B45- S. Schüpp, A. Elmoataz, M.J. Fadili, P. Herlin, D. Bloyet**, "Image segmentation via multiple active contour models and fuzzy clustering with biomedical Applications", ICPR 2000, International Conference on Pattern Recognition, Barcelone, Espagne, vol. 1, pp. 622-625, septembre 2000.
- 5B46- S. Schüpp, A. Elmoataz, P. Herlin, D. Bloyet**, "Fast and simple discrete approach for active contours for biomedical applications", IWCIA 2000, Seventh International Workshop on Combinatorial Image Analysis, Caen, France, pp. 173-180, juillet 2000.
- 5B47- S. Schüpp, A. Elmoataz, P. Herlin, D. Bloyet**, "Color image segmentation via multiple active contour models and fuzzy clustering", CGIP, Saint-Etienne, France, pp. 522-526, octobre 2000.
- 5B48- S. Schüpp, A. Elmoataz, P. Herlin, M.J. Fadili, D. Bloyet**, "Fuzzy classification of color image : application to quantitative immunohistochemistry", ISAC 2000, International Society for Analytical Cytometry, Montpellier, mai 2000.
- 5B49- S. Schüpp, A. Elmoataz, P. Herlin, M.J. Fadili, D. Bloyet**, "Strategy of automated segmentation based on PDE and on fuzzy classification for automatic computing of immunostaining", 7th ESACP. Analytical Cellular Pathology, Caen, vol. 22, n° 1-2, pp. 72, 2001.
- 5B50- S. Schüpp, A. Elmoataz, P. Herlin, R. Levasseur, C. Marcelli, D. Bloyet**, "Measures of bone architecture by image analysis on histological section", 7th ESACP. Analytical Cellular Pathology, Caen, vol. 22, n° 1-2, pp. 73-74, 2001.
- 5B51- S. Schüpp, P. Herlin, G. Huet, F. Duigou, C. Lebeau, J. Chasle, A. Elmoataz, D. Bloyet**, "Quality control of an automatic image analysis procedure for quantification of immunolabelled cancer cell nuclear : evaluation of several strategies dedicated to the detection of cancer cell clumps in mammary carcinoma", 6th ESACP, Analytical Cellular Pathology, Heiselberg, Allemagne, n° 1, pp. 18, avril 1999.
- 5B52- J. Xue, S. Ruan, B. Moretti, M. Revenu, D. Bloyet**, "Brain structures segmentation in MRI Images based on the knowledge integration", First International Conference on Image and Graphics, Tianjing, Chine, vol. 5 supp., pp. 300-303, août 2000.
- 5B53- J. Xue, S. Ruan, B. Moretti, M. Revenu, D. Bloyet, W. Philips**, "Fuzzy Modeling of Knowledge for MRI Brain Structure Segmentation", International Conference on Image Processing, ICIP 2000, Vancouver, Canada, pp. 617-620, septembre 2000.

Revue nationale

- 5D1- M. Desvignes, S. Langlois, J.M. Constans, M. Revenu**, "Déroulement de phase : application à la correction de distorsions géométriques en IRM", Traitement du signal, vol. 17, n° 4, pp. 313-324, 2001.
- 5D2- O. Lezoray, A. Elmoataz, H. Cardot, M. Revenu**, "Segmentation d'images couleur : application en microscopie cellulaire", Traitement du signal, vol. 17, n° 1, pp. 33-45, 2000.
- 5D3#- Y. Chahir, S. Schüpp, L. Chen**, "Indexation d'images utilisant une segmentation par ensemble de niveaux", Extraction des connaissances et apprentissage, vol. 1, n° 4/2001, pp. 9-11, 2002.

Conférences nationales avec comité de lecture et actes

- 5E1- R. Clouard, A. Elmoataz, M. Revenu**, "Une méthodologie de développement d'applications de traitement d'image", 17^{ème} Colloque GRETSI'99, Vannes, pp. 323-326, septembre 1999.
- 5E2- R. Clouard, A. Elmoataz, M. Revenu**, "Une méthodologie de développement d'applications de traitements d'images", RFIA 2002, Angers, vol. 3, pp. 1033-1042, janvier 2002.
- 5E3- M. Desvignes, B. Romaniuk, J. Robiaille, M. Revenu, M.J. Deshayes**, "Détection et modélisation du contour crânien sur des céphalogrammes", 18^{ème} Colloque GRETSI'01, Toulouse, vol. 1, pp. 287-290, septembre 2001.

- 5E4#- C. Dolabdjian, M.J. Fadili, E.H. Leyva**, "Comparaison d'un filtrage numérique à l'aide de la transformée d'ondelettes discrète, mis en œuvre en temps réel sur un DSP, à un filtrage classique de type P-B", *Congres Interdisciplinaire en Instrumentation*, Paris, vol. 2, pp. 397-404, janvier 2001.
- 5E5- M.J. Fadili, E. Bullmore**, "Un modèle de régression linéaire généralisé dans le domaine des ondelettes pour des erreurs de mesure en $1/f$ ", *18ème Colloque GRETSI'01*, Toulouse, vol. 1, pp. 405-408, septembre 2001.
- 5E6#- V. Ficet-Cauchard, M. Revenu, C. Porquet**, "Conception d'applications de traitement d'Images par Raisonnement à partir de Cas : définition, utilisation et gestion de cas", *RàPC'99, Plate Forme AFIA*, Palaiseau, pp. 7-16, juin 1999.
- 5E7- N. Flasque, M. Desvignes, M. Revenu**, "Modélisation de structures tubulaires pour la visualisation 3D : application à des imageries d'angiographie par résonance magnétique", *RFIA 2002*, Angers, vol. 3, pp. 733-742, janvier 2002.
- 5E8- C. Renault, M. Desvignes, N. Royackkers, M. Revenu**, "Détection et suivi des sillons corticaux", *17ème Colloque GRETSI'99*, Vannes, pp. 1057-1060, septembre 1999.
- 5E9- B. Romaniuk, M. Desvignes, J. Robiaille, M. Revenu, M.J. Deshayes**, "Recherche d'un référentiel stable pour la reconnaissance des formes statistique", *ORASIS*, Cahors, pp. 445-454, juin 2001.
- 5E10- B. Romaniuk, M. Desvignes, J. Robiaille, M. Revenu, M.J. Deshayes**, "Une approche non linéaire pour la reconnaissance des formes statistique : application à la céphalométrie", *RFIA 2002*, Angers, pp. 829-838, janvier 2002.
- 5E11- S. Ruan, J. Xue, B. Moretti, M. Revenu, D. Bloyet**, "Fuzzy Knowledge-based Recognition of Internal Structures of the head", *18ème Colloque GRETSI'01*, Toulouse, France, pp. 465-468, septembre 2001.
- 5E12- S. Schüpp, A. Elmoataz, M.J. Fadili, D. Bloyet**, "Discrete approach for active contours for biomedical applications", *Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA'01)*, Bergen, Norway, 10 p., juin 2001.