

Modules d'initiation au traitement numérique des images

pour des élèves ingénieurs « informaticiens » :

un retour d'expérience dans deux contextes différents

Carole FRINDEL^{1,3}, David ROUSSEAU^{2,3}

carole.frindel@creatis.insa-lyon.fr; david.rousseau@univ-lyon1.fr

¹ Département PCC, INSA de Lyon ;

² : Département GEII, IUT, Université Lyon 1 ;

³ : Laboratoire CREATIS ; CNRS UMR5220 ; Inserm U1044 ; INSA-Lyon ; Université Lyon 1

RESUME : Dans cet article, nous présentons un retour d'expérience sur deux modules d'initiation au traitement numérique des images de 2 ou 3 crédits ECTS que nous avons créés pour des élèves ingénieurs informaticiens de l'INSA de Lyon et de l'ISTIA d'Angers. Nous présentons la structuration de ces deux modules ainsi que les spécificités pédagogiques liées au fait que ces deux publics ont en commun de ne pas avoir les bases en « théorie des signaux et systèmes » habituellement trouvées en prérequis pour aborder le traitement des images. Nous montrons des exemples de travaux réalisés par les étudiants et faisons état de leurs réactions. L'ensemble est complété par des liens bibliographiques vers les sites des logiciels libres et références pédagogiques utilisées.

Mots clés : traitement numérique des images, retour d'expérience.

1 INTRODUCTION

Nous vivons dans un monde d'images où le traitement numérique des images est devenu une compétence de base pour un large panel de formations d'ingénieurs. Pour autant, le traitement numérique des images est une discipline relativement avancée qui nécessite des bases à la fois en physique, pour comprendre la formation des images, mais aussi en mathématiques appliquées, pour comprendre les concepts même du traitement des images, ainsi qu'en informatique, pour pouvoir implanter efficacement des algorithmes sur des images dont le volume est de plus en plus grand. Les enseignements en traitement numérique des images se positionnent par conséquent souvent à un niveau L3 ou au-delà. Les prérequis habituels, dans les cursus universitaires, pour aborder le traitement numérique des images sont ceux du traitement des signaux monodimensionnels incluant la théorie des signaux déterministes, des signaux aléatoires ou encore la théorie des systèmes linéaires. Ce type de progression pédagogique qui articule le traitement numérique des images comme une extension multidimensionnelle des outils et concepts du traitement du signal est classique dans la littérature (voir par exemple [1,2]). Elle est particulièrement adaptée pour des étudiants ayant une culture de type "génie électrique". Dans ces parcours, la théorie des systèmes est développée en amont du cours de traitement numérique des images notamment en électronique. Cette approche orientée "génie électrique" du traitement numérique des images s'accompagne aussi typiquement de bases en physique de l'image comme la physique des capteurs ou encore de visionique avec le choix de l'éclairage [3,4]. Ce cheminement pédagogique, s'il est adapté pour un cursus à coloration majeure en génie électrique,

s'accommode mal avec des cursus plus orientés vers l'informatique pour lesquels les bases physiques sont moins avancées et ne permettent pas une articulation aussi poussée avec l'électronique. Pour autant, répondant à des besoins sociétaux, les cursus à composante majeure en informatique se développent. Pour ces cursus, les modules de traitements d'images nécessitent donc une réflexion pédagogique particulière. C'est, dans ce contexte, que se situe notre contribution. L'informatique est désormais une discipline, introduite en tant que telle comme une spécialité en terminale au lycée, en classe préparatoire aux grandes écoles ou en premier cycle universitaire. Si l'on trouve des pédagogies spécifiques de mathématiques ou d'informatique pour les physiciens, alors on doit aussi pouvoir imaginer des pédagogies spécialement adaptées pour des informaticiens.

Dans le cadre de cet article, nous présentons deux modules d'initiation au traitement numérique des images de respectivement 28 et 16 heures que nous avons créés à destination d'étudiants ingénieurs issus de cursus à dominante informatique : les étudiants de 5^{ème} année du département bioinformatique et modélisation (BIM) de l'INSA de Lyon [4] et ceux de 5^{ème} année du parcours interface homme-machines et réalité virtuelle (IHMRV) [5] de l'ISTIA d'Angers. Dans la suite, nous détaillons le profil des étudiants de chacun de ces modules dont nous présentons ensuite la structuration et le contenu en donnant au lecteur des liens vers des ressources pédagogiques utiles pour monter ce type d'enseignement. Par contraste avec certaines présentations autour du traitement numérique des images dans le cadre du congrès CETSIS [6, 7, 8, 9], nous avons privilégié des outils logiciels libres et fait le lien avec des communautés actives et mondiales de développeurs. Compte tenu du faible volume horaire et le pu-

blic visé, nous avons développé une pédagogie par projet pour l'évaluation. Nous donnons des exemples de réalisations et relations des réactions des étudiants.

Semaine 1	Image numérique, acquisition, échantillonnage, résolution (2H)	Initiation aux logiciels libres d'analyse d'image avec ImageJ (2H)
Semaine 2	Filtrage (convolution, filtres spatiaux, filtres fréquentiels) (2H)	Détection de contours, segmentation (2H)
Semaine 3		Étude de cas en bas/moyen niveau avec ImageJ (2H)
Semaine 4		Utilisations avancées des logiciels libres d'analyse d'image avec ImageJ (4H)
Semaine 5	Opérations sur images binaires, morphomathématiques (2H)	Détection et reconnaissance d'objets 2D (2H)
Semaine 6		Étude de cas en haut niveau avec ImageJ (2H)
Semaine 7		Soutenance projet (4H)

Tableau 1 : Planning du module ANIMAG, semaine par semaine.

2. LE MODULE BIM

2.1 Profil des étudiants

La filière Bioinformatique et Modélisation de l'INSA de Lyon est une filière de deuxième cycle et comprend environ 25 élèves par promotion. Elle vise à former en 3 ans des ingénieurs à l'interface entre la biologie, les mathématiques et l'informatique afin de répondre à la demande croissante émanant de l'accroissement considérable de la masse de données biologiques issues des techniques dites à haut débit.

Biologistes, ces ingénieurs doivent être capables d'analyser, de traiter des données biologiques et d'en extraire les informations pertinentes. Algorithmiciens, ils sont à même d'élaborer des outils informatiques pour classer ces informations, afin d'émettre des hypothèses, et, à partir de ces dernières, de créer des modèles mimant les systèmes biologiques afin de mieux comprendre les processus du vivant.

Lors de la 5^{ème} année, le module ANalyse d'IMAGES (ANIMAG) leur est proposé. L'idée de ce module est d'illustrer le champ d'application de l'analyse d'images dans le domaine des sciences de la vie ainsi que les besoins émergents en « BioImage informatique » qui applique la vision par ordinateur et d'autres approches de traitement d'image pour répondre à des questions de la recherche biologique.

2.2 Structuration du module

Le module a été lancé en 2013/2014 et comprend 28 heures qui s'organisent à parts égales entre cours magistraux et travaux pratiques. Les cours magistraux présentent les bases de traitement d'images selon la trame classique image numérique – pré-traitement – traitement bas-niveau – traitement haut-niveau (voir Tableau 1). Un cours magistral est systématiquement suivi d'un travail pratique afin de faire découvrir aux étudiants les besoins réels des notions théoriques introduites durant le cours magistral.

Cette trame plutôt classique comprend un certain nombre d'originalités listées ci-après afin de l'adapter au profil des étudiants visés et au vu du faible nombre d'heures.

Point de vue théorique : La notion de continuité propre à la culture « génie électrique » n'est pas exigée. Le point de vue théorique adopté est celui des mathématiques discrètes. L'idée est de mettre un accent sur comment exprimer des problèmes de traitement d'images en algorithmique et en programmation.

Outils : Les étudiants ont été mis au contact de logiciels centrés sur l'analyse d'images biologiques et combinant des bibliothèques logicielles puissantes avec un langage de script pour permettre le prototypage rapide de nouveaux pipelines de traitement d'images. L'aspect logiciel libre a été privilégié. L'idée est de sensibiliser les élèves à cette nouvelle manière de penser le logiciel comme un vecteur de connaissance mais également afin de les mettre en contact avec des communautés actives qui permettent une évolution rapide des outils mais réclament de ce fait de se tenir au courant. Dans ce contexte, nous avons notamment utilisé ImageJ[10] et Icy[11], Fiji[12] qui est une extension d'ImageJ centrée sur le traitement d'images ou encore le moins connu, car d'introduction plus récente, Knime[13] qui aborde le traitement d'images de manière modulaire et graphique.

Pédagogie par projet : Le module se conclut par un mini-projet qui dure environ 5 semaines et auquel deux séances de travaux pratiques sont consacrés sous la forme de soutien. Les groupes de projet comprennent 3-4 étudiants et travaillent tous sur des problématiques différentes. L'ensemble des projets peut être consulté sur la page du module[14]. Parmi les projets de cette première année, différents types d'imageries ont été étudiées (microscopie optique, électronique et par fluorescence, IRM et imagerie synchrotron), différentes échelles d'observations ont été proposées (liées au grossissement des différentes imageries), des traitements 2D ou 3D ont été développés et enfin l'application pouvait se situer soit du côté de l'humain (étude de l'AVC chez l'homme) ou du vivant de manière plus générale (étude de cellules spécialisées chez le puceron). A cet effet, nous avons contacté des laboratoires de recherche de l'INSA de Lyon et utilisé Omero[15], un logiciel libre qui permet la recherche d'images microscopiques par le contenu.

Evaluation : L'évaluation se fait sous la forme d'un contrôle continu. Deux travaux pratiques sont notés et comptent chacun pour un coefficient de un dans la note finale. Le mini-projet fait l'objet d'une soutenance orale devant les experts biologistes ayant soumis les projets et compte pour un coefficient de deux dans la note finale. L'évaluation de la soutenance comprend trois parties : une évaluation pour le comité

d'experts qui veillent à la bonne formulation du problème biologique en un problème de traitement d'images, une évaluation mutuelle des étudiants afin de leur faire prendre conscience que même si l'application biologique n'est pas entièrement maîtrisée, les outils de traitement d'images vues durant leur module leur permet de juger les autres projets et enfin une évaluation personnelle qui vise à aiguïser le sens critique de l'étudiant quant à son travail.

2.3 Evaluation du module

Un questionnaire a été créé sur le site SurverShaker[16] afin de permettre aux étudiants d'évaluer le module (voir Figure 1), la suffisance de leurs pré-requis quant aux concepts théoriques abordés dans le module (voir Figure 2) et le volume horaire consacré (voir Figure 3). L'idée était de vérifier leur satisfaction sur cette première proposition du module et de prendre en compte d'éventuelles remarques ou critiques afin de l'améliorer pour sa seconde édition. 18 étudiants sur 25 ont participé au sondage avec un taux de questionnaires intégralement documentés de 90%. Le questionnaire comprenait également deux champs libres : le premier sur les aspects appréciés dans le cadre du module et le deuxième pour transmettre des remarques ou critiques à propos du module. Concernant les points positifs, deux aspects ressortent des réponses des élèves : la bonne cohérence entre les cours magistraux et les travaux pratiques qui facilite la compréhension ainsi que la réalisation de projets concrets et variés à l'échelle de la promotion. Concernant les points négatifs, un aspect ressort notablement : le niveau d'investissement réclamé par le module notamment dû au fait que peu d'heures y sont consacrées au vu de la quantité de nouveaux concepts à intégrer.

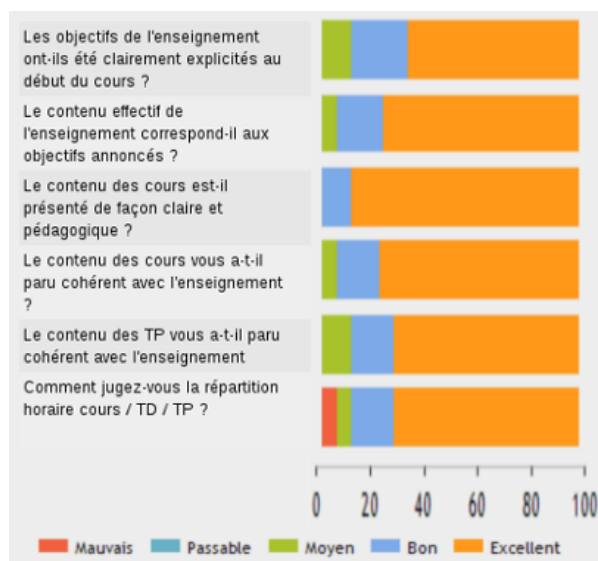


Figure 1 : Evaluation du module ANIMAG par les étudiants de la promotion 2013-2014.

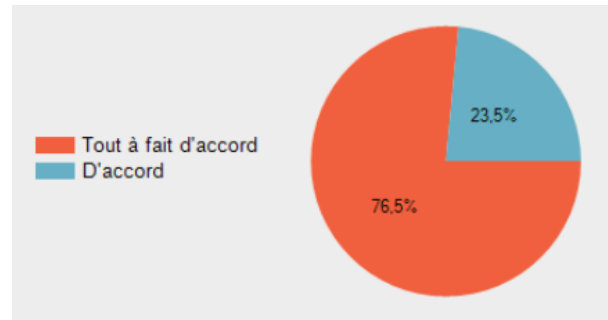


Figure 2 : Réponses des étudiants à la question « Pensez-vous que vous aviez les pré-requis avec un niveau suffisant pour suivre la totalité de l'enseignement ? »

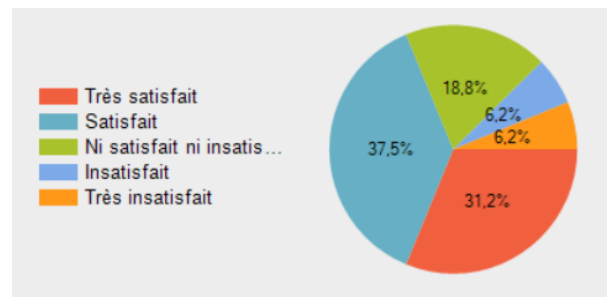


Figure 3 : Réponses des étudiants à la question « Jugez-vous le nombre d'heures dédié à cet enseignement suffisant ? »

3 LE MODULE IHMRV

3.1 Profil des étudiants

La promotion de cette option de 5^{ème} année de l'école d'ingénieurs ISTIA de l'Université d'Angers est constituée de 16 étudiants. En sortie de ce parcours, les étudiants ont de fortes compétences en développement logiciel dans de nombreux langages et technologies avec la capacité d'intégrer l'informatique dans des solutions électroniques notamment en lien avec les domaines d'application de la réalité virtuelle. Durant l'année, chaque étudiant a accès à une salle équipée d'un ordinateur individuel qui lui est dédié. Chaque poste est agrémenté d'un ensemble de capteurs-imageurs grands publics issus du domaine de jeux vidéo actuels tels Kinect, webcam-Xmove, Wiimote et Leap motion. Dans ce contexte, le traitement numérique des images est une étape clé dans la construction d'interfaces homme-machines basées sur des capteurs d'images.

3.2 Structuration et contenu du module

Le module a été créé en 2010 et fonctionne donc depuis 3 ans. Il est doté de 16 heures, que nous avons organisées en séances de 2H (sauf les séances 5 et 6) et que nous décrivons ci-dessous en insistant sur certains aspects que nous jugeons originaux.

Séance 1 : présentation sous forme de cours magistral de l'état de l'art des interfaces homme-machines inspirée de [17]. Le nombre de capteurs développés pour ce domaine étant en pleine évolution, il est nécessaire de restreindre le champ étudié. On annonce aux étudiants le choix de se focaliser sur les capteurs utilisés pour les interfaces homme-machine à base d'imagerie. Ces capteurs sont inclus dans les téléphones portables ou les webcam des tablettes et ordinateurs et commencent donc à être largement répandus. En conséquence le potentiel d'innovation autour de ces caméras à bas coût et des traitements d'images associés est très large. Nous illustrons ce propos avec des exemples de capteurs d'image innovants comme la mesure du pouls récemment démontrée avec une simple webcam au Medialab du MIT par analyse des micro-variations de couleurs au niveau de la peau [18]. Cet exemple très spectaculaire donné en début de module est important car il démontre la dimension appliquée de ce qui sera fait dans la suite du module. On passe en revue les méthodes pour mesurer par imagerie telle ou telle action humaine. Les étudiants doivent ensuite effectuer un travail bibliographique sur des actions non traitées en cours comme des détecteur de mouvement des lèvres, de suivi du regard, de mesure d'autres données physiologiques comme la température, le stress via la reconnaissance d'expressions, ...

Séance 2 : On propose ensuite une introduction de facture classique sous forme de cours-TD à la visionique (bases d'éclairage, composants optiques comme les filtres, les lentilles, les capteurs d'image) inspirée des supports de cours et des simulations en ligne présentés à CETSIS dans [19].

Séance 3 : S'en suit une présentation sous forme de cours-TP du capteur conjoint RVB et caméra de profondeur de type Kinect. Ce capteur, très populaire auprès des jeunes car venant du jeu vidéo, s'avère être de surcroît un système d'imagerie complet pour mettre en application les bases de visionique de la séance 2. La Kinect inclut en effet un éclairage structuré dans l'infrarouge, des filtres pour être sensible ou non à l'éclairage structuré suivant que l'on considère l'un ou l'autre des deux imageurs infrarouge ou RVB de la Kinect. Il est même possible d'accoler des lentilles devant la Kinect pour passer en mode macro. Ceci permet de réinvestir les lois de l'optique géométrique qui mènent à la loi dite de Gullstrand sur l'association de deux lentilles. Une fois le principe de ce capteur introduit, on donne les outils logiciels développés dans la communauté OpenKinect [20] pour le pilotage de ce capteur.

Séance 4 : Nous enchaînons avec une introduction au traitement numérique des images inspiré du cours de l'IUT de Cachan (Michèle Gouiffes). La nature très contrastée des images issues de la Kinect permet de limiter cette introduction à des méthodes de segmentation de type simple seuillage pixel à pixel. C'est une astuce pédagogique mais aussi une réalité des images de profondeurs qui ne posent pas les problèmes

d'ombres ou de variations d'éclairage que l'on rencontre classiquement avec les images RVB. On insiste ensuite sur la morphologie mathématique pour le débruitage d'images binaires et les méthodes de base pour la reconnaissance de forme. On annonce le sujet du miniprojet des séances 5 et 6.

Séance 5 et 6 de durées de 4H chacune : placées à 15 jours d'intervalle, elles prennent la forme de mini-projet de travail en binôme. Un exemple de sujet de mini-projet réalisé sur les 3 années d'existence est illustré sur la Figure 4. Au terme des 8H, les étudiants ont réussi à rendre leur code, un rapport présentant la stratégie mise en œuvre et une vidéo de démonstration du bon fonctionnement de leur code. Des exemples spectaculaires de réalisations de ces vidéos sont donnés sur le site web [21]. Les sujets sur les 3 années ont en commun de nécessiter une mise en application directe des notions vues en cours avec pilotage de la Kinect, seuillage des images de profondeur, débruitage des images binaires et reconnaissance de formes élémentaires fonctionnant en temps réel pour répondre au problème donné.

Séance 7 : Examen sur table d'1H30. Un exemple de sujet et de copies anonymisées est donné sur la page web [21]. On peut notamment voir dans ce sujet, à la question 7 du premier exercice, une référence aux travaux récents sur de nouvelles techniques de débruitage d'images connues sous le nom de filtrage non local [22]. Ces techniques dépassent, au prix d'un surcoût de temps de calcul raisonnable, les techniques habituelles de débruitage par convolution. Il est donc possible de présenter des techniques de filtrage les plus performantes pour le débruitage en traitement d'images par l'approche directement algorithmique décrite dans [22], sans nécessairement mobiliser la théorie des systèmes linéaires.

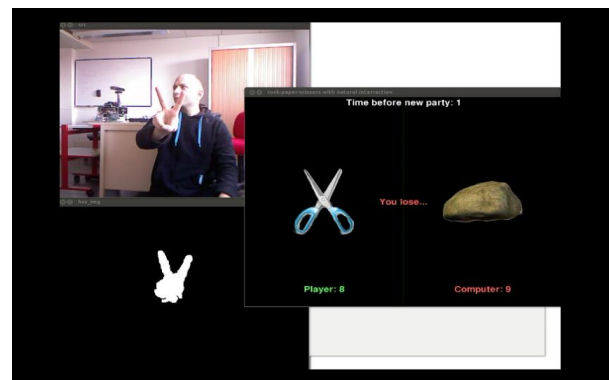


Figure 4 : Copie d'écran de la réalisation d'un jeu de pierre-feuille-ciseaux utilisant la Kinect. En bas à gauche, un simple seuillage en profondeur permet de segmenter la main. On utilise ensuite des descripteurs de formes de type compacité, descripteurs de Fourier pour différencier les symboles. A droite, le résultat de la reconnaissance de forme et la confrontation avec un symbole tiré au hasard par l'ordinateur.

3.3 Evaluation du module

L'évaluation par les étudiants du module est réalisée anonymement par l'école d'ingénieurs ISTIA d'Angers sous la forme d'une note globale entre 1 et 4 avec le code 1=insatisfaisant ; 2=correct; 3=bien; 4=excellent. Le module a obtenu les moyennes de 2.62 pour 2011-2012 ; 3.11 pour 2012-2013 et 2.81 pour 2013-2014. Le module était positionné tôt dans l'année en 2012/2013 alors qu'il arrivait à la limite du démarrage des périodes de stages en mars les deux autres années. Il est plus motivant pour les étudiants d'apprendre à se servir tôt dans l'année des capteurs qui sont mis à leur disposition gracieusement tout au long de l'année. Ceci explique peut être le meilleur « score » et aussi la meilleure qualité des comptes rendu des mini-projets cette année là. Un point intéressant est que l'on retrouve une critique qualitative évoquée dans le module BIM de l'INSA de Lyon, à savoir que le niveau d'investissement réclamé par le travail bibliographique ainsi que le mini-projet est jugé important au vu du faible nombre d'heures allouées au module.

4 CONCLUSION

Nous avons présenté la structuration et le contenu de deux modules relativement courts de traitement numériques des images ayant pour point commun d'être à destination d'étudiants au profil « informaticien ». Dans ces modules, nous avons fait le choix de privilégier des cadres de mathématiques discrètes pour aller vers des présentations algorithmiques proches de la culture de nos étudiants. Nous avons donné dans cet article des liens vers des exemples de réalisations de nos étudiants. Nous jugeons certaines de ces réalisations spectaculaires au regard du faible nombre d'heures allouées à nos modules. Ceci s'explique sans doute par le fait que nous avons pu nous appuyer sur les solides compétences en informatique (algorithmique, capacité d'adaptation à des environnements logiciels nouveaux) de nos étudiants. Ces compétences informatiques peuvent parfois faire défaut chez des étudiants avec une dominante en génie électrique. Les exemples d'applications du traitement numériques des images en biologie ou en interface homme-machines que nous avons montrés pourraient toutefois être adaptés et notamment servir à diversifier les exemples d'illustrations pour des cours de traitement numériques des images donnés dans ces cursus à dominante génie électrique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. Tisserand, J. Pautex, P. Schweitzer, "Analyse et traitement des signaux : Méthodes et applications au son et à l'image", *Dunod*, (2009).
- [2] M. Charbit, G. Blanchet, "Signaux et Images sous Matlab : Exercices et corrigés", *Hermès*, (2001).
- [3] P. Delachartre, O. Bernard, G. Gimenez, "Plateforme pour la vision industrielle", *Actes du 9ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'2011)*, Trois-Rivière (Québec), 2011.
- [4] <http://biosciences.insa-lyon.fr>
- [5] <http://www.istia.univ-angers.fr/fr/index.html>
- [6] E. Trouvé, P. Bolon, " Enseignements pratiques en traitement d'images : exploration et développement sous Labview", *Actes du 2ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'1999)*, Montpellier (France), 1999.
- [7] A. Quinquis, "Outil Didactique pour l'Apprentissage du Traitement du Signal et de l'Image" *Actes du 2ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'1999)*, Montpellier (France), 1999.
- [8] P. Horain, K. Mikolajczyk, W. Maziarz, " Multimédia et ateliers virtuels pour l'enseignement du traitement d'image" *Actes du 2ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'1999)*, Montpellier (France), 1999.
- [9] J. Dillenseger, C. Kulik, V. Le Rolle, Y. Dieulangard Reconnaissance et localisation spatiale d'objets. Travaux Pratiques de Vision par Ordinateur en Licence Professionnelle en Mécatronique. *Actes du 10ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'2010)*, Grenoble (France), 2010.
- [10] <http://imagej.nih.gov/ij/>
- [11] <http://icy.bioimageanalysis.org/>
- [12] <http://fiji.sc/Fiji>
- [13] <https://www.knime.org/>
- [14] <http://www.creatis.insa-lyon.fr/~frindel/Animag.html>
- [15] <http://www.openmicroscopy.org/site/products/omero>
- [16] <http://www.surveyshaker.com/shaker/>
- [17] P. Fuchs, G. Moreau and P. Guitton, "Virtual Reality : Concepts and Technologies", editor « CRC Press » 2011.
- [18] M. Poh, D. McDuff, and R. Picard Advancements in Noncontact, Multiparameter Physiological Measurements Using a Webcam. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58, pp. 7-11, 2011.
- [19] F. Cabestaing, G. Casiez, O. Losson et F. Aubert, "Projet Encadré « Image Vision Interaction » : Surface Multi-touch", *Actes du 9ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'2011)*, Trois-Rivière (Québec), 2011.
- [20] <http://openkinect.org>
- [21] <http://www.creatis.insa-lyon.fr/~rousseau/link/>
- [22] Buades A. and Morel J. "A non-local algorithm for image denoising", *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 60-65, 2005.