



Le traitement d'images : bilan et perspectives

Henri Maître

2012C004

février 2012

Département Traitement du Signal et des Images
Groupe TII : Traitement et Interprétation des Images

Le traitement d'images : bilan et perspectives.

Henri Maître,
Institut Télécom, Télécom ParisTech
46 rue Barrault, 75013 Paris

Participation à l'ouvrage :
Vidéo Surveillance Intelligente Jean-Yves DUFOUR Hermès Science
Publications, 2012

Le traitement d'images : bilan et perspectives.

Henri Maître, Télécom ParisTech

Puissance de l'image, dit-on ? il s'agit bel et bien, plutôt, de l'extrême richesse du plus évolué de nos sens : la vue – ou, pour mieux dire, de la plus remarquable de nos fonctions de contact avec l'environnement : la vision, œil et cerveau. De fait, en termes de quantité d'information véhiculée et de complexité de son traitement, il n'y a guère, pour l'être humain, que la fonction de reproduction qui puisse soutenir la comparaison avec le fonction de vision.

D. Estournet¹

1 Il y a un demi-siècle

Lors d'un exercice de prospective, on tire toujours profit à se retourner vers les années de naissance du domaine concerné, à examiner le contexte de son apparition, puis de ses évolutions, à identifier les raisons de ses blocages ou au contraire les avenues de ses progrès. On tire surtout le plus grand profit d'une revisite des promesses dont il faisait l'objet, de leur confrontation au réalisé, de la mesure des écarts.

Le traitement des images a aujourd'hui à peu près un demi-siècle. C'est en effet dans les années 60 qu'ont émergé simultanément, mais souvent indépendamment, des techniques élémentaires qui se sont regroupées progressivement pour former le traitement des images tel que nous le connaissons aujourd'hui et qui fait pour partie l'objet de cet ouvrage.

Parmi ces techniques, nous évoquerons pour commencer l'extension à deux ou trois dimensions des méthodes du traitement de signal. Dans cet exercice, se sont illustrés entre autres de grands noms : RM. Mersereau, LR Rabiner, JH McClellan, TS

¹ D. Estournet, Informations d'Images, analyse, transmission, traitement, cours de l'ENSTA, 1970

Huang, JL Shanks, BR Hunt, HC. Andrews, A. Bijaoui... aussi reconnus pour leur contribution à 1D qu'à 2D. Leurs travaux avaient pour objectif de faire bénéficier les images de tous les outils de modélisation, mais aussi de prédiction, de filtrage, de restauration qui s'imposaient alors en acoustique, en radar, en parole. S'appuyant sur la découverte des transformations rapides et leur extension à 2D, ces travaux, ont naturellement débouché sur l'analyse spectrale des images, technique toujours très vivante. Cette route est cependant jalonnée de travaux savants mais abandonnés et jusqu'ici peu exploités concernant par exemple la stabilité des filtres multidimensionnels ou les processus récurrents bidimensionnels car le principe de causalité qui contraint les signaux temporels a longtemps embarrassé les traiteurs d'images qui pensaient devoir le retrouver, par exemple dans le signal de télévision. Ce champ du traitement du signal a été néanmoins particulièrement fertile. Il est à l'origine directe des approches extrêmement fructueuses de reconstruction tomographique incontournable aujourd'hui en diagnostic médical ou en expérimentation physique et à la théorie des ondelettes utile à l'analyse ou à la compression d'images ; il s'est retrouvé plus récemment au cœur des approches parcimonieuses qui rassemblent beaucoup d'espoir pour assurer le prochain « grand bond en avant » du traitement d'images.

Un second domaine s'est également développé dès les années 60, s'appuyant sur la représentation discrète et, souvent, binaire des images. A l'aide d'outils totalement différents, il s'est intéressé à d'autres propriétés des images : la connexité, la morphologie, la topologie des formes et des maillages de l'espace qui sont une composante majeure de l'image. Ignorant la fidélité de représentation continue du signal, il s'est attaché à identifier des propriétés abstraites : la position relative, l'intérieur et l'extérieur, le contact, l'inclusion, ouvrant la porte à une sémantique des formes d'une part, et à une description verbale de l'espace qui conduira naturellement à l'analyse de scène. Des noms ici aussi sont célèbres : A. Rosenfeld, Pavlidis, M. Eden, MJE Golay, A. Guzman, H. Freeman, G. Matheron, J. Serra.

Le troisième champ d'activités qui a été déterminant pour constituer le traitement d'image tel que nous le connaissons est celui de la reconnaissance des formes. Il a accompagné l'émergence de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique. Les méthodes de classification aussi bien statistiques que structurelles prennent naissance dans ces années, à la suite des travaux de F. Rosenblatt, S. Watanabe, T. Pavlidis, E. Diday, RO. Duda, M. Levine, PE Hart, M. Pavel, KS Fu, JC Simon, ... Elles trouvent un champ de développement et de progression exceptionnel avec le traitement des images car celui-ci lui offre une base d'expérimentation infinie où chaque programmeur est aussi l'expert qui vérifie la qualité et la solidité des résultats.

2 Des images ? Pourquoi ?

Dans les années 60 et dans le contexte particulier du monde occidental, au sein d'une société fortement marquée par la guerre froide, largement ouverte à la consommation de masse et socialement empreinte de *well-fare*, pour quelles applications ces techniques diverses ont-elles été développées ? Trois champs d'applications dominant largement la scène scientifique : l'imagerie biologique et médicale, le traitement des documents, et la télévision (on dirait aujourd'hui le multimédia). D'autres domaines émergent également mais de façon moins structurée, autour des capteurs de la physique par exemple ou près des applications spatiales naissantes.

En imagerie médicale, c'est autour des services de radiologie et dans le but de soutenir une très forte demande de prévention sanitaire de masse, que se concentrent tout d'abord les efforts. Autour de la radiographie se sont construits les algorithmes de filtrage, de détection, de reconnaissance, le suivi des contours, l'évaluation des densités, etc. Se sont aussi précisés les besoins en mémoire, en affichage, en réseaux, en archivage ainsi que les notions d'interaction et d'annotation. Ont émergés aussi les notions de calibrage, de recalage, de détection de changement. Les radiologues en garderont durablement le pilotage des plateaux techniques et de leurs coûteux systèmes d'imagerie. Mais à l'autre bout de l'hôpital, loin des gros instruments d'inspection *in vivo*, une activité de recherche est également apparue de façon très vivace dans les services spécialisés : en cytologie, en hématologie, en histologie, en vue d'acquérir et de traiter rapidement et sûrement les prélèvements biologiques. On y a vu émerger les notions de forme, le comptage de cellules, la classification, la quantification. La notion de texture y a pris naissance. La morphologie mathématique s'y est trouvé un terrain de prédilection.

Dans le domaine de la télévision, tous les travaux se sont bien sûr orientés vers la compression des images en vue de réduire la bande passante des canaux de transmission, mais fort heureusement, ces travaux ont été accompagnés de recherches très en amont de cet objectif précis, qui ont permis d'établir un grand nombre des résultats dont nous tirons profit aujourd'hui sur la qualité des images, ses propriétés statistiques, qu'elle soit fixe ou animée, ainsi que sur les propriétés psycho-physiologiques de l'observateur humain, voire des attentes sociales du spectateur. Ces résultats ont très largement irrigué les autres domaines d'application, leur ont donné une base exceptionnelle de principes fondateurs qui se sont retrouvés au cœur des algorithmes de traitement aussi bien que des matériels développés.

Le domaine du traitement des documents a peut-être perdu aujourd'hui sa place de moteur du traitement d'images ; il était cependant l'objet des efforts les plus notables au début des années 60 pour aider au tri postal, archiver les plans et les ouvrages, accompagner l'explosion des télécommunications soutenant l'émergence

d'une bureautique « sans papier ». Il a grandement contribué au développement des matériels d'analyse bon marché : scanners, imprimantes et tables graphiques et a par là précipité l'élimination des films et papiers argentiques. C'est beaucoup pour ses besoins qu'ont été développées que des théories et techniques de traitement de bas niveau, de représentation discrète, de détection, reconnaissance, filtrage, suivi. Il a stimulé l'émergence de méthodes originales de reconnaissance des formes, a poussé le développement des descriptions syntaxiques et structurelles, des grammaires, des langages de description de formes, etc.

En conclusion de ce retour rapide sur le passé, reprenons quelques phrases tirées des textes anciens qui éclairent ce contexte particulier et relisons-les à la lumière de notre société d'aujourd'hui. On est frappé de leur valeur toujours pertinente même si certains mots nous semblent très désuets.

“The demand for picture transmission (picturephone images, space pictures, weather maps, newspapers, etc.) has been ever increasing recently, which makes it desirable if not necessary for us to consider the possibility of picture bandwidth compression.”²

Ou encore :

« The rapid proliferation of computers during the past two decades has barely kept pace with the explosive increase in the amount of information that needs to be processed.³ »

Compression, traitement, ..., les problèmes qui se posaient à la société il y a un demi-siècle se posent à l'évidence encore aujourd'hui à peu près dans les mêmes mots. On ne peut manquer de s'interroger alors : mais qu'a donc fait le traitement d'image de tout ce temps ?

² TS Huang, O. Tretiak, *Picture bandwidth compression*, Gordon & Breach, New York, 1972

³ A. Rosenfeld, *Digital Picture Analysis*, Topics in Applied Physics, vol 11, Springer-Verlag, Berlin 1976

3 Forces et faiblesses du traitement des images

Répondons à cette question provocante par une double boutade.

1. Le traitement d'images n'a résolu aucun des problèmes théoriques qu'il s'était fixés, mais il a résolu beaucoup de ses problèmes pratiques.
2. Le traitement des images, en résolvant une poignée de problèmes, s'en est créé une brassée.

Quels sont ces problèmes théoriques que le traitement d'image n'a pas su surmonter ?

C'est tout d'abord le problème de la segmentation qui demeure un problème ouvert après un demi-siècle d'efforts et des milliers d'articles et de communications. On ne sait toujours pas comment traiter proprement ce sujet sans une référence explicite à un observateur humain qui sert à la fois d'ouvrier, de référence et d'arbitre. Certes les méthodes se sont très largement améliorées, plus reproductibles, plus fiables, mieux contrôlables, (voir par exemple [1, 2, 3]) mais toujours aussi aveugles à l'objet qu'elles traitent et insensibles à l'intention de leur utilisateur.

C'est ensuite la détection des contours, abstraction elle aussi mal définie, mais communément partagée, nécessaire à de nombreuses étapes, mais trop souvent imprévisible et aux résultats décevants (malgré des travaux d'un grand intérêt comme [4]). Les contours partagent avec la segmentation le grand-privilege d'avoir mobilisé des armées de traiteurs d'images et d'avoir vu naître des cohortes de détecteurs « optimaux » qui attendent dans les boîtes à outils un improbable utilisateur.

C'est enfin la détection et la reconnaissance des textures, les textures dont l'importance pratique est confirmée dans tous les champs d'application mais qui ne bénéficient toujours pas d'une définition partagée et encore moins d'une méthodologie robuste, fiable et transférable (on lira avec intérêt les travaux récents [5, 6]).

Quels sont donc les problèmes que le traitement d'image a résolus ?

C'est tout d'abord le problème de la compression qui par des étapes successives a permis d'établir des standards dont l'utilisateur ignore le nom même (et à fortiori les principes) mais qui lui permettent de glisser dans une poche, sur une clef USB, assez de films pour un voyage Paris-Palavas au mois d'août ou qui, à l'autre bout de la chaîne, compriment une photo d'art d'un rapport 10 sans que la qualité en soit

affectée, même pour un photographe exigeant. C'est pourtant à travers ces générations qui ont œuvré sur les transformées de Hadamard, puis sur les DCT, puis sur les ondelettes, qui ont optimisé les coefficients, les troncatures, les balayages, qui ont développé la prédiction de mouvement, le codage inter-trame, le masquage visuel, la quantification chromatique, qu'ont émergé les représentations successives, de plus en plus puissantes et pourtant de plus en plus souples pour s'adapter à l'image, servies par des algorithmes efficaces et malignes, capables de répondre au temps réel d'horloges de plus en plus rapides [7,8].

C'est ensuite dans le champ de la reconnaissance des formes, la capacité exceptionnelle des systèmes de détection et de reconnaissance des visages, indépendamment de leur taille, de leur type, dans des scènes complexes, dans des foules, sur des supports variés [9]. Cette fonctionnalité est maintenant non seulement disponible en routine dans les bases de données d'images diffusées en produits libres, mais aussi sur tous les appareils photos compacts, sur les téléphones portables et sur les caméras vidéo où elle pilote la mise au point et peut-être demain le cadrage et la poursuite ...

C'est ensuite la capacité de restaurer des documents dégradés [10], par des filtrages linéaires ou non linéaires en apprenant de façon aveugle ou supervisée les défauts, en traitant les inhomogénéités [11, 12], et pourquoi pas, en complétant les parties manquantes par des techniques d'*inpainting* [13]. La disponibilité de systèmes de mise au point automatique, combinant astucieusement principes optiques et traitement d'images [14, 15]. rapides et précis concurrence ici les techniques qui – au contraire – ignorent la mise au point et reconstruisent une scène profonde à partir d'une diversité de vues toutes défocalisées.

C'est enfin la gestion de grandes bases d'images, la recherche d'objets précis, la détection d'éléments identiques [16, 17], la détermination de recouvrements et éventuellement le mosaïcage automatique de scènes complexes.

3 Que reste-t-il pour le futur ?

Les progrès mêmes accomplis par les efforts des chercheurs créent de nouveaux besoins et de nouvelles aspirations. La disponibilité de ressources numériques en ligne suscite une demande universelle que limitent aujourd'hui les canaux de communication et les supports d'archivage. Des attentes s'expriment pour des compressions plus fortes encore que celles fournies par ondelettes. Des progrès techniques sur les méthodes classiques permettront bien sûr quelques gains encore,

mais, parmi les pas décisifs, les approches par représentations parcimonieuses laissent espérer des progrès plus nets [18, 19]. Il en coûtera, c'est probable, des calculs importants, autant à la source qu'à la réception, mais les moyens pour les faire semblent aujourd'hui disponibles chez l'utilisateur en particulier qui seraient souvent peu sollicités, mais aussi, pourquoi pas, sur le *cloud*. Le domaine de la compression d'images ou de vidéo a toujours progressé par paliers. Des techniques semblent bien établies qui s'imposent quelques années : MICD, DCT, ondelettes. Leurs concurrentes, même mieux armées, semblent incapables de rivaliser avec leurs performances lentement gagnées par une optimisation minutieuse – et collective – de tous les paramètres. Puis la supériorité des approches plus puissantes s'exprime à travers leurs performances, mais tout d'abord au prix d'une complexité matérielle ou logicielle qui requière encore des années d'appropriation pour se retrouver de façon économiquement compétitive dans le silicium ou dans les algorithmes. Nous n'en sommes pas encore aujourd'hui au point où les performances des techniques fondées sur les dictionnaires redondants, la sélection de modèles et l'apprentissage statistique surpassent les techniques par ondelettes 9/7 de Daubechey ou les ondelettes 5/3 de Le Gall, mais de nombreux exemples apparaissent aujourd'hui qui laissent penser que l'on pourrait y arriver prochainement.

Dans le domaine de la restauration et du filtrage, des familles de techniques peinent à émerger qui pourraient progresser rapidement [20, 21, 22]. Elles concernent la restauration par l'utilisation d'une diversité d'images potentiellement hétérogènes. Utilisées avec bonheur en imagerie satellitaire pour reconstituer à haute résolution des images multi-spectrales en disposant d'images multi-spectrales basse-résolution et d'images panchromatiques hautes résolution, elles ont été également utilisées pour reconstituer des images avec une résolution améliorée à partir d'une série d'images à résolution réduite, mais toujours dans des configurations assez canoniques, qui se généralisent difficilement. Exploiter la diversité de résolution des capteurs, les angles d'observation différents, les conditions d'éclairage variées, les sensibilités ou profondeurs de champs diverses sur des scènes tridimensionnelles pour reconstituer des références des scènes observées devrait émerger dans les années prochaines, s'appuyant sur des travaux classiques en recalage, stéréovision et traitement du signal.

Mais c'est surtout dans l'extraction de l'information, et plus spécifiquement dans l'extraction de l'information sémantique que des progrès sont attendus (fig. 1.1). Internet s'est fortement spécialisé ces dernières années dans l'utilisation des mots comme clef d'accès à l'information et l'a peu ou prou imposé à la société. Les moteurs de recherche en font un usage exclusif et contraignent à associer images et mots lors d'opérations d'indexation préalables à leur archivage. L'automatisation de ces opérations malgré ses remarquables progrès, est encore balbutiante [23, 24, 25].



Fig 1.1 : information sémantique et image. Ces photos proviennent toutes d'une même requête avec l'expression « Charles de Gaulle ». Quatre catégories différentes émergent à l'évidence : le personnage, le porte-avion, la place de Paris, l'aéroport. Ces concepts se séparent assez bien par traitement d'images. On peut aller un peu plus loin : par exemple l'homme politique et le général peuvent être distingués au sein de la catégorie personnage à partir de l'image.

Si la reconnaissance des formes a fait des progrès considérables que nous avons soulignés, elle contribue essentiellement à l'indexation dans des protocoles supervisés où l'utilisateur joue un rôle essentiel [26]. Cela résout beaucoup de problèmes spécifiques, en particulier dans des applications professionnelles spécialisées qui utilisent des catégories précises d'images. Il est clair néanmoins que cette attache à l'expert humain est une limite importante à la généralisation des techniques d'apprentissage. Le recours à « l'informatique communautaire ou sociétale » ne permet pas la mise en place de solutions durables et robustes. L'émergence automatique du sens résiste beaucoup plus à nos investigations [27, 28].

Le raisonnement et la déduction réclament des informations élaborées et fiables [29]. Les ontologies semblent apporter les références indispensables, mais leur usage en traitement d'images demeure limité en raison des limitations mêmes de la diversité des représentations, de l'incertitude de leur détection, des difficultés à inférer des propriétés de morphologie ou d'espace en fonction de la variabilité des aspects. L'inférence inductive ou abductive, est encore plus difficiles à mettre en place. L'analogie est un autre mode de déduction qui est trop peu utilisé [30]. Elle tire profit de corpus pré-existants où l'on trouve des cartes, des schémas, des dessins explicitement commentés ; mais par ces limites mêmes elle ne s'applique qu'à des domaines bien ciblés : cartographie, anatomie, biologie, etc. Malgré les énormes progrès du traitement des images au cours de ces décennies, il est remarquable que l'on retrouve ici les grands challenges que l'on affichait déjà à la naissance du traitement d'images [31].

Mais à côté de ces progrès « savants » qui tirent le traitement d'image vers des développements abstraits, vers les mathématiques appliquées et l'informatique théorique, vers les modélisations des modèles de perception et de raisonnement, d'autres progrès sont au contraire tirés par des applications clairement installées en ligne de mire. Dans le champ de l'audiovisuel, les progrès ne concernent pas que la compression des signaux, mais ils sont attendus aussi dans leur exploitation afin d'offrir au public, au-delà des transmissions de scène bidimensionnelles actuelles et au-delà même de la troisième dimension qui émerge lentement, une véritable immersion sensorielle qui permettra au contenu de quitter le champ étroit de l'écran par une retransmission multi-vues autorisant des reconstructions multiples, par la capacité à incorporer des éléments de réalité augmentée, choisies par l'utilisateur et, peut-être, produits localement par l'utilisateur lui-même, ou incorporant des effets issus de son environnement, de ses films ou des jeux préférés. L'interactivité, libérée des manettes et autres *joy-sticks*, complètera cette immersion par une réactivité voulue (ou inhibée) aux actions de l'observateur pour l'accompagner dans son divertissement ou peut-être dans sa formation car des techniques semblables seront certainement au cœur des techniques modernes d'apprentissage. Le traitement d'image rejoindra alors la synthèse d'image et l'interaction homme-machine dans un unique champ de réalité augmentée. Ces progrès, lorsqu'ils seront réalisés, auront nettement installé l'image dans une nouvelle ère. Après l'image fixe créée par la photographie, après l'image animée du cinéma, relayée par la télévision, l'image de la réalité augmentée immersive construira une étape nouvelle et aussi révolutionnaire.

Références

- [1] **M. P. Kumar, P. H. S. Torr, A. Zisserman** OBJCUT: Efficient Segmentation using Top-Down and Bottom-Up Cues *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Volume 32, page 530--545, 2010
- [2] **D. Larlus, J. Verbeek, F. Jurie**. Category level object segmentation by combining bag-of-words models with Dirichlet processes and random fields. *International Journal of Computer Vision*, Volume 88, Number 2 - juin 2010
- [3] **B. Grosjean, L. Moisan**. A-contrario detectability of spots in textured backgrounds. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol 33:3, pp. 313-337, 2009.
- [4] **P. Arbeláez, M. Maire, C. Fowlkes, J. Malik**. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011, 33-5, 898 – 916
- [5] **G.-S. Xia, J. Delon et Y. Gousseau**, Shape-based Invariant Texture Indexing, *International Journal of Computer Vision*, 2010, vol. 88, n° 3, pp. 382-403.
- [6] **B. Galerne, Y. Gousseau et J-M Morel**, Random phase textures : theory and synthesis, *IEEE Trans. on Image Processing*, 2011, vol. 20, n° 1, pp. 257-267
- [7] **M. Cossalter, G. Valenzise, M. Tagliasacchi and S. Tubaro**, "Joint compressive video coding and analysis", in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 12, no. 3, pp. 168-183, April 2010

- [8] **Y. Chen, Y.-K. Wang, K. Ugur, M. Hannuksela, J. Lainema, and M. Gabbouj**, "The emerging MVC standard for 3D video services," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2009
- [9] **U. Park, Y. Tong, A.K Jain** Age-Invariant Face Recognition; *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, May 2010, 32 :5 : 947 - 954
- [10] **C.-A. Deledalle, V. Duval, J. Salmon**, "Non-local Methods with Shape-Adaptive Patches (NLM-SAP)", *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, (2011) pp. 1-18.
- [11] **J. Rabin, J. Delon et Y. Gousseau**, "Removing artefacts from color and contrast modification", *IEEE Trans. on Image Processing*, 2011, vol. 20, n° 11, pp. 3073-3085.
- [12] **J. Delon**, (2006), "Movie and Video Scale-Time Equalization ; application to flicker reduction", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, n° 1, pp. 241-248
- [13] **S. Ladjal, J.-F. Aujol, S. Masnou**, (2010), "Exemplar-based inpainting from a variational point of view", *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, vol. 42, n° 3, pp. 1246-1285
- [14] **F. Yasuma, T. Mitsunaga, D. Iso, S.K. Nayar**, Generalized Assorted Pixel Camera: Postcapture, control of resolution, Dynamic Range and Spectrum, *IEEE Trans on Image Processing*, 19,9, sept 2010, 2241:2250
- [15] **C. Zhou, S.K. Nayar**, Computational Cameras: Convergence of optics and Processing, *IEEE Trans on Image Processing*, 20, 12, Dec 2010, 3322
- [16] **Sivic, J., Russell, B., Efros, A., Zisserman, A., and Freeman, W**, Discovering objects and their location in images. In *IEEE International Conference on Computer Vision*, (2005). pages 370–377.
- [17] **J.M. Morel and G.Yu**, ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison, *SIAM Journal on Imaging Sciences*, vol. 2, issue 2, pp. 438-469, 2009
- [18] **R.G. Baraniuk**, "Compressive Sensing," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 24, no. 4, pp. 118–121, 2007.
- [19] **A. Hormati, O. Roy, Y.M. Lu, M. Vetterli**, Distributed Sampling of Signals Linked by Sparse Filtering: Theory and Applications, *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol.58, no.3, pp.1095-1109, March 2010
- [20] **K. Abed-Meraim, and Y. Hua**, Blind identification of multi-input multi-output system using minimum noise subspace, *IEEE Trans. on Signal Proc.*, vol. 45, no. 1, pp. 254-258, 1997
- [21] **M. Gastaud, S. Ladjal et H. Maître**, Superrésolution aveugle d'images par la méthode des sous-espaces, GRETSI, Troyes, France, sept 2007
- [22] **J. Yang, J. Wright, T.S. Huang, Y. Ma**, "Image Super-Resolution Via Sparse Representation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.19, no.11, pp.2861-2873, Nov. 2010
- [23] **M. Marszałek and C. Schmid**. Constructing category hierarchies for visual recognition. In *European Conf Computer Vision*, pages 479-491, 2008.
- [24] **Hoang, N. V., Gouet-Brunet, V., Rukoz, M., and Manouvrier, M**. Embedding spatial information into image content description for scene retrieval. *Pattern Recognition Journal*, (2010). 43(9) :3013–3024.
- [25] **A. Thomas, V. Ferrari, B. Leibe, T. Tuytelaars, B. Schiele, and L. Van Gool**. Towards multi-view object class detection. In *Conf on Computer Vision Pattern Recognition*, 2006
- [26] **Sahbi, H., Audibert, J.-Y., and Keriven, R.** (2011). Context-dependent kernels for object classification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33-4, 699 – 708
- [27] **Datta, R., Joshi, D., Li, J., and Wang, J. Z.** (2008). Image retrieval : Ideas, influences, and trends of the new age. *ACM Computing Surveys*, 40(2).

- [28] **Y. Aytar and A. Zisserman**. Tabula rasa: Model transfer for object category detection. In ICCV, 2011.
- [29] **Bloch, I.** (2005). Fuzzy spatial relationships for image processing and interpretation : a review. *Image Vision Computing*, 23 :89–110
- [30] **J. Atif, C. Hudelot et I. Bloch**, Abduction in Description Logics using Formal Concept Analysis and Mathematical Morphology: application to image interpretation , "8th *International Conference on Concept Lattices and Their Applications (CLA2011)*", Nancy, , (2011), pp. 405 408
- [31] **L. Uhr**, *Pattern Recognition, Learning and Thought*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ, USA), 1973

