

Approches discrètes pour l'analyse d'images

Soutenance d'Habilitation à Diriger des Recherches

Nicolas Passat

Université de Strasbourg
LSIIT – UMR CNRS 7005

Cadre de travail (2006–2011)

Université de Strasbourg

- Université unique (2009)
- Forte pluridisciplinarité

Laboratoire – LSIT

- UMR CNRS (rattachement INS2I, INSIS, INSU)
- 2013 : Fédération ICube

Équipe – MIV (Modèles, Image et Vision)

- Double communauté : CNU 27 et 61
- Axes transverses : IRMC, ...

Discipline

- Imagerie discrète... mais pas seulement
- Émargement aux GDR IM, ISIS, STIC-Santé

Préambule

Thèmes

Recherche

Travaux propres

Topologie

Encadrements

Thèses

Stages

Publications

Animation

scientifique

Collaborations

Projets

Charges

Conclusion

Bilan

Perspectives

Principaux thèmes de recherche

Approches discrètes de l'analyse d'images

- Morphologie mathématique
 - transformée en tout-ou-rien
 - filtrage connexe
 - morphologie variante
- Topologie discrète
 - points simples
 - transformations homotopiques
 - modèles discrets
- Géométrie discrète

Nature des travaux

- Théoriques : extension, unification, création de concepts
- Méthodologiques : nouveaux algorithmes de traitement et d'analyse d'images
- Applicatifs : réponse à des besoins thématiques

Préambule

Thèmes

Recherche

Travaux propres

Topologie

Encadrements

Thèses

Stages

Publications

Animation

scientifique

Collaborations

Projets

Charges

Conclusion

Bilan

Perspectives

Principaux thèmes de recherche

Démarche scientifique

- Recherche d'un équilibre entre
 - théorie, méthodologie et applications
 - recherche propre et encadrements
- Recherche d'ouvertures
 - thématiques : ponts vers d'autres approches (classification, optimisation, ...)
 - applicatives : imageries médicale, satellitaire, ...
 - disciplinaires : médecine, mathématiques, géographie, ...

Illustration

- Travaux propres
 - topologie discrète : ensembles simples
- Travaux encadrés
 - synthèse des principaux travaux de thèse

Préambule

Thèmes

Recherche

Travaux propres

Topologie

Encadrements

Thèses

Stages

Publications

Animation

scientifique

Collaborations

Projets

Charges

Conclusion

Bilan

Perspectives

Préambule

Thèmes

Recherche

Travaux propres

Topologie

Encadrements

Thèses

Stages

Publications

Animation
scientifique

Collaborations

Projets

Charges

Conclusion

Bilan

Perspectives

Recherche

- Préambule
- Thèmes
- Recherche
- Travaux propres**
 - Topologie
- Encadrements
- Thèses
- Stages
- Publications
- Animation scientifique
 - Collaborations
 - Projets
 - Charges
- Conclusion
- Bilan
- Perspectives

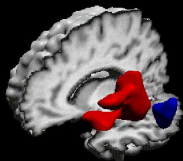
Travaux propres

Topologie discrète

La topologie : quelle utilité pour l'image ?

Quelques (bonnes) raisons de traiter de topologie

- Marqueurs pour la segmentation, le recalage, ...
- Résultats corrects en analyse d'objets (ex : diagnostic médical)
- Résultats corrects pour des post-traitements de haut niveau (ex : simulation de flux sanguins)
- Entrées correctes en synthèse d'images (ex : modélisation 3D d'objets d'art)



© LINC, 2009

Remerciements : J.-P. Armspach



© INRIA, 2005

Remerciements : S. Salmon



© LSIIT-IGG, 2006

Remerciements : F. Larue



Comment considérer la topologie ?

Plusieurs manières d'aborder l'usage de la topologie

- Analyse : *quelles sont les propriétés d'un objet ?*
- Manipulation : *comment contrôler ces propriétés ?*
- **Préservation : *comment garantir que la topologie reste inchangée ?***

Invariants topologiques

- Caractéristique d'Euler
- Nombres de Betti
- Groupes d'homologie/de cohomologie
- **Type d'homotopie (équivalence homotopique)**
- Homéomorphisme
- Groupes fondamentaux

Préambule

Thèmes

Recherche

Travaux propres

Topologie

Encadrements

Thèses

Stages

Publications

Animation

scientifique

Collaborations

Projets

Charges

Conclusion

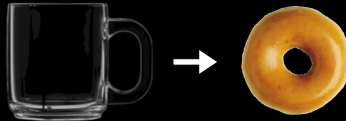
Bilan

Perspectives

Homotopie

Type d'homotopie : définition (très) informelle

Deux objets partagent le même type d'homotopie si l'on peut passer continuellement de l'un à l'autre (éventuellement avec des modifications locales de dimensions)



Les vertus de l'homotopie

- Suffisamment forte pour modéliser correctement la préservation de topologie entre deux objets
- Suffisamment faible pour être correctement utilisable dans \mathbb{Z}^n
- Définie via des notions de déformation algorithmiquement gérables

Transformations homotopiques

Question

Comment transformer une image (digitale/discrète et binaire) sans altérer son type d'homotopie ?

Quelques applications liées à cette question

- Transformations monotones : squelettisation, réduction, croissance de région, . . .
- Segmentation
- Modèles déformables
- Recalage

Réponse

Notion de point simple

Points simples : définition, utilisation

Caractérisation d'un point simple (dans \mathbb{Z}^3)

$$x \in X \text{ (26-)simple} \Leftrightarrow |C_{26}^x[X \cap N_{26}^x(x)]| = 1 \wedge |C_6^x[\overline{X} \cap N_{18}^x(x)]| = 1$$

Cas typique d'utilisation : squelettisation homotopique

Entrée : $X \subseteq \mathbb{Z}^n$, $Y \subseteq X$

Sortie : R topologiquement équivalent à X ($Y \subseteq R \subseteq X$)

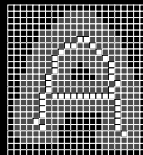
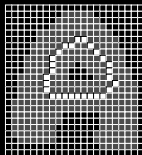
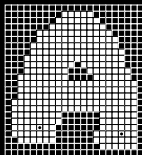
$R \leftarrow X$

while $\exists x \in R \setminus Y$, *simple*(x , R) **do**

 Choisir $x \in R \setminus Y$, *simple*(x , R)

$R \leftarrow R \setminus \{x\}$

end while



Problématique : réduction homotopique et minimalité

Question

Le squelette R est-il toujours minimal (pour \subseteq) ?

Réponses

- Dans \mathbb{Z}^2 : oui (Rosenfeld, 1970 ; Ronse, 1986)
- Dans \mathbb{Z}^3 (et au delà) : non (Bing, 1964)

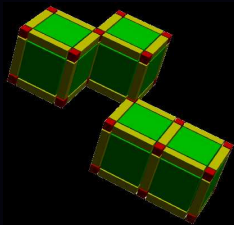
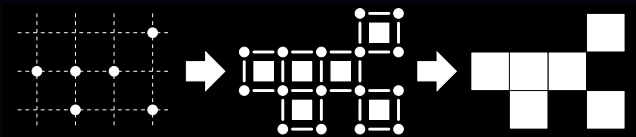
Plusieurs problématiques

- Que se passe-t-il entre \mathbb{Z}^2 et \mathbb{Z}^3 ?
- Quels sont les verrous à partir de \mathbb{Z}^3 ?
- Comment les lever ?

Q.1 : Que se passe-t-il entre \mathbb{Z}^2 et \mathbb{Z}^3 ?

Changement de modèle

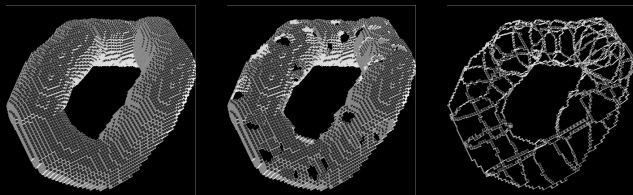
- Dans \mathbb{Z}^n , il n'y a rien entre \mathbb{Z}^2 et $\mathbb{Z}^3 \dots$
- Passage à un modèle complexe : \mathbb{F}^n (Kovalevski, 1989)



Q.1 : Que se passe-t-il entre \mathbb{Z}^2 et \mathbb{Z}^3 ?

Réponse : d'un point de vue théorique...

Dans toute pseudo-variété de dimension 2 (plongée dans un espace de dimension $n \geq 3$), R est minimal



...et d'un point de vue algorithmique

Comme dans \mathbb{Z}^2 , R est calculable de manière gloutonne (et en temps linéaire)

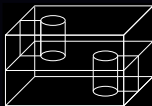
Q.2 : Quels sont les verrous à partir de \mathbb{Z}^3 ?

Problème

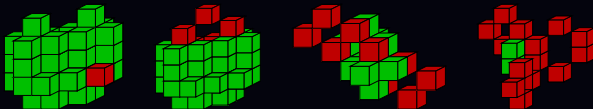
- À partir de la dimension 3, il existe des minima locaux
- Conséquences : convergence et/ou terminaison non garanties

Monstres topologiques

- Monstres “méchants” (ex. : maison de Bing) : problème ouvert



- Monstres un peu moins méchants...



Q.2 : Quels sont les verrous à partir de \mathbb{Z}^3 ?

Monstres topologiques et points simples

Un monstre topologique apparaît lorsque :

- plus aucun point simple ne peut être retiré
- l'objet courant n'est pourtant pas minimal

Néanmoins, il existe des *ensembles simples* (formés de points non-simples), dont le retrait est "de même nature" que celui d'un point simple

Ensemble simple (définition informelle et partielle)

Un ensemble simple S d'un objet $X \subset \mathbb{Z}^n$ est un ensemble dont le retrait de X s'interprète comme un rétract par déformation forte (monotone) dans l'analogue continu de X

Q.3 : Comment lever les verrous à partir de la dimension 3 ?

Objectif

Tenter de caractériser les *ensembles simples minimaux* (le retrait de tout ensemble simple s'interprétant comme le retrait itératif d'ensembles simples minimaux)

Modèles : \mathbb{Z}^n et \mathbb{F}^n

La notion de point/d'ensemble simple peut être étendue de \mathbb{Z}^n à \mathbb{F}^n (En fait, la notion se spécialise de \mathbb{F}^n dans \mathbb{Z}^n)

Exemple : point/cellule simple 3-D (Kong, 1997)

- Point simple : $|C_{26}^x[X \cap N_{26}^x(x)]| = 1 \wedge |C_6^x[\bar{X} \cap N_{18}^x(x)]| = 1$
- Cellule simple : $|C[Att(x, X)]| = 1 \wedge \chi(Att(x, X)) = 1$

Q.3 : Comment lever les verrous à partir de la dimension 3 ?

Ensembles simples minimaux 2-D dans \mathbb{F}^n : en théorie...

Soit $G \sqsubset F \preceq \mathbb{F}^n$, tel que $\dim(G) = 2$ et $|G^+| \geq 2$. G est un ensemble simple minimal pour F ssi :

- $|\mathcal{C}[Att(G, F)]| = 1$
- $\exists ! f \in G^+, \hat{f}^* \neq Att(\hat{f}, F)$
- $\exists ! f \in G^+, \hat{f}^* \cap Att(G, F) \neq \emptyset$
- $\exists f \in G, \dim(f) = 0 \wedge G \searrow \hat{f}$



... et en pratique

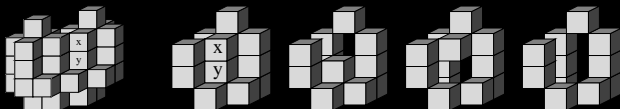
Ces ensembles sont détectables (et supprimables) de manière gloutonne (et en temps linéaire)

Q.3 : Comment lever les verrous à partir de la dimension 3 ?

Paires simples minimales 3-D dans \mathbb{F}^n : en théorie...

Soit $G = \{g_1, g_2\}^- \sqsubset F \sqsubset \mathbb{F}^n$, tel que $\dim(G) = 3$ et $|G^+| = 2$. G est une paire simple minimale pour F ssi:

- $\dim(\widehat{g}_1 \cap \widehat{g}_2) = 2$
- $\forall g \in G^+, |C[Att(\widehat{g}, F)]| = 1$
- $\forall g \in G^+, \chi(Att(\widehat{g}, F)) \leq 0$
- $|C[Att(G, F)]| = 1$
- $\chi(Att(G, F)) = 1$



...et en pratique

Ces ensembles sont détectables (et supprimables) en temps constant

Bilan

	dimension ESM				
	0	1	2	3	k
\mathbb{F}^1	●	●	○	○	○
\mathbb{F}^2	●	●	●	○	○
\mathbb{F}^3	●	●	●	●	○
\mathbb{F}^n	●	●	●	●	●

- sans objet
- non-existence
- : caractérisables (singuliers)
- : caractérisables (non singuliers)
- : caractérisation partielle
- : pas (encore) de caractérisation

Problèmes ouverts

Non exhaustivement :

- taille (potentiellement infinie) des ensembles simples minimaux
- impureté (à partir de \mathbb{F}^3)
- approches gloutonnes invalides à partir de \mathbb{F}^5
- etc

Préambule
Thèmes
Recherche
Travaux propres
Topologie
Encadrements
Thèses
Stages
Publications
Animation
scientifique
Collaborations
Projets
Charges
Conclusion
Bilan
Perspectives

Encadrements

Co-encadrements de thèses

Co-encadrements de thèses

- **Loïc Mazo (2008–2011)**
 - LSIIT-MIV (C. Ronse), LIGM-A3SI (M. Couprie)
- **Benoît Caldaïrou (2008–2011)**
 - LSIIT-MIV (C. Heinrich, F. Rousseau)
- **Camille Kurtz (2009–2012)**
 - LSIIT-BFO (P. Gançarski)
- **Alice Dufour (2009–2012)**
 - LSIIT-MIV (C. Ronse), LINC (J. Baruthio)

Travaux collaboratifs sur des thèses

- **Bessem Bouraoui (2006–2009)**
 - LSIIT-MIV (C. Ronse), LINC (J. Baruthio)
- **Olena Tankyevych (2008–2010)**
 - LIGM-A3SI (H. Talbot)
- **Hoai Diem Phuc Ngo (2010–2013)**
 - LIGM-A3SI (H. Talbot, Y. Kenmochi)

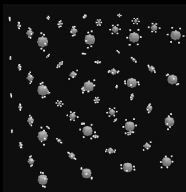
Thèse de Bessem Bouraoui (2006–2009)

Segmentation automatique de l'arbre coronarien à partir d'images angiographiques 3D+t de scanner

- Thèmes : imagerie médicale, morphologie mathématique
- Cadre : suite de mes travaux de thèse

Principaux résultats

- Méthode de segmentation à base de TTR floue pour le suivi des artères coronaires en scanner X 3D+t



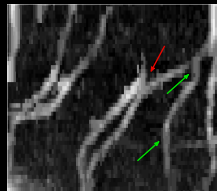
Thèse d'Olena Tankyevych (2008–2010)

Filtering of thin objects. Applications to vascular image analysis

- Thèmes : morphologie mathématique, imagerie médicale
- Cadre : collaboration LSIIT /LIGM-A3SI

Principaux résultats

- Optimisations algorithmiques en morphologie variante
- Méthode de filtrage angiographique par approche morpho-hessienne



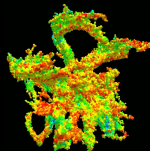
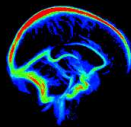
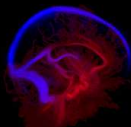
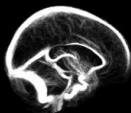
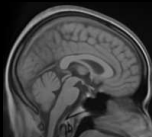
Thèse d'Alice Dufour (2009–2012)

Segmentation et modélisation des structures vasculaires cérébrales en imagerie médicale 3D

- Thème : imagerie médicale, morphologie mathématique
- Cadre : poursuite de mes travaux de thèse

Principaux résultats

- Méthode de segmentation interactive par filtrage connexe
- Génération d'atlas cérébraux morphologique et angiographiques



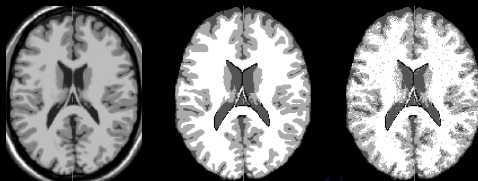
Thèse de Benoît Caldirou (2008–2011)

Contributions à la segmentation des structures cérébrales en IRM foétale

- Thème : imagerie médicale
- Cadre : projet de recherche sur l'embryogénèse cérébrale

Principaux résultats

- Formulation d'une variante non locale pour l'algorithme FCM
- Méthode de segmentation hybride (topologie/classification) pour la segmentation du cortex en IRM foétale



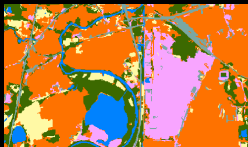
Thèse de Camille Kurtz (2009–2012)

Extraction de connaissances hiérarchisées à partir d'ensembles d'images multi-résolution : Application à la télédétection

- Thèmes : télédétection, classification, morpho. math.
- Cadre : collaboration inter-équipe MIV/BFO

Principaux résultats

- Algorithme de segmentation/classification multirésolution pour les images de télédétection
- Distance sémantique sur les histogrammes nominaux



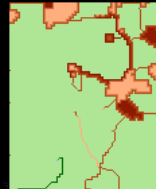
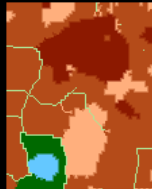
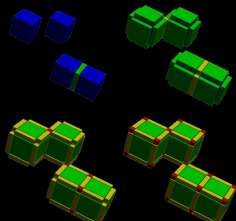
Thèse de Loïc Mazo (2008–2011)

Déformations homotopiques dans les images digitales n -aires

- Thème : topologie
- Cadre : poursuite des activités en topologie initiées en 2006

Principaux résultats

- Chaîne d'équivalence des modèles topologiques $\mathbb{R}^n - \mathbb{F}^n - \mathbb{Z}^n$
- Deux extensions de concepts topologiques (points simples, transformation homotopique) au cas des images de labels



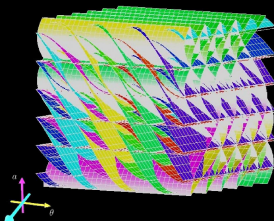
Thèse de Hoai Diem Phuc Ngo (2010–2013)

Transformations rigides discrètes

- Thème : géométrie discrète
- Cadre : initiation d'activités en géométrie discrète

Principaux résultats

- Définition (et algorithme de génération) d'une structure combinatoire (en $\mathcal{O}(N^9)$) pour la modélisation des transformations rigides discrètes



Encadrements de stages de Master 2

Stages de Master 2

- 2004 - Dini Chillet : imagerie médicale
- 2007 - Sanae Miri : topologie, imagerie médicale
- 2008 - Benoît Caldaïrou : morpho. math., imagerie médicale
- 2008 - Loïc Willmann : imagerie médicale
- 2008 - Loïc Mazo : topologie
- 2009 - Alice Dufour : traitement du signal, imagerie médicale
- 2009 - Anne-Sophie Puthon : imagerie médicale
- 2009 - Camille Kurtz : classification, télédétection
- 2010 - Céline Caldini : calcul numérique, imagerie médicale
- 2011 - Olivia Miraucourt : topologie, imagerie médicale

Laboratoires de co-encadrement

LORIA, LIGM-A3SI, LINC, IRMA, LMR

Publications (travaux de la période 2006–2011)

Publications liées aux travaux propres

- 7 articles en revues internationales
- 9 articles en conférences internationales
- 3 articles en workshops internationaux

Publications liées aux travaux d'encadrement

- 1 chapitre de livre
- 7 articles en revues internationales
- 13 articles en conférences internationales
- 4 articles en workshops internationaux

Revue et conférences représentatives

- Revues : Pattern Recognition (3), JMIV (3)
- Conférences : ISMM (6), DGCI (4), ISBI (4)

- Préambule
- Thèmes
- Recherche
 - Travaux propres
 - Topologie
- Encadrements
 - Thèses
 - Stages
- Publications
- Animation scientifique**
 - Collaborations
 - Projets
 - Charges
- Conclusion
 - Bilan
 - Perspectives

Animation scientifique

Principales collaborations

Intra-laboratoire

- Équipe BFO (fouille de données) : télédétection
- Équipe IGG (info. graphique) : simulation de flux

Inter-laboratoire, intra-université

- LIVE (géographie) : télédétection
- IRMA (maths. appli.) : simulation de flux
- LINC (médecine) : analyse d'images médicales

Inter-laboratoire, inter-université

- EIG (Suisse), puis LORIA : morphologie mathématique
- LIGM-A3SI : topologie, morpho. math., géométrie, ...

Projets (financés)

Préambule

Thèmes

Recherche

Travaux propres

Topologie

Encadrements

Thèses

Stages

Publications

Animation

scientifique

Collaborations

Projets

Charges

Conclusion

Bilan

Perspectives

Projets nationaux (ANR, PEPS)

- 2010–14 : ANR-10-BLAN-0205 “KIDICO”
géométrie, topologie, morphologie mathématique
- 2010–12 : ANR-10-COSI-012-03 “FOSTER”
analyse d’images de télédétection
- 2011–12 : PEPS INS2I “Towards a virtual cerebral angiography”
modélisation angiographique, simulation de flux

Projets européens (ERC)

- 2008–12 : 207667 : “FBrain”
analyse d’images médicales (embryogénèse cérébrale)

Charges administratives et pédagogiques

Charges administratives

- 2008–10 : Bureau du Département Info. de l'UFR Math.-Info.
- 2009–... : Conseil de Laboratoire du LSIIT
- 2010–... : Comité d'Experts 27e section de l'UdS
- 2010–... : Co-responsabilité du Master ILC de l'UdS
- 2011–... : Conseil du Département Info. Recherche du LSIIT

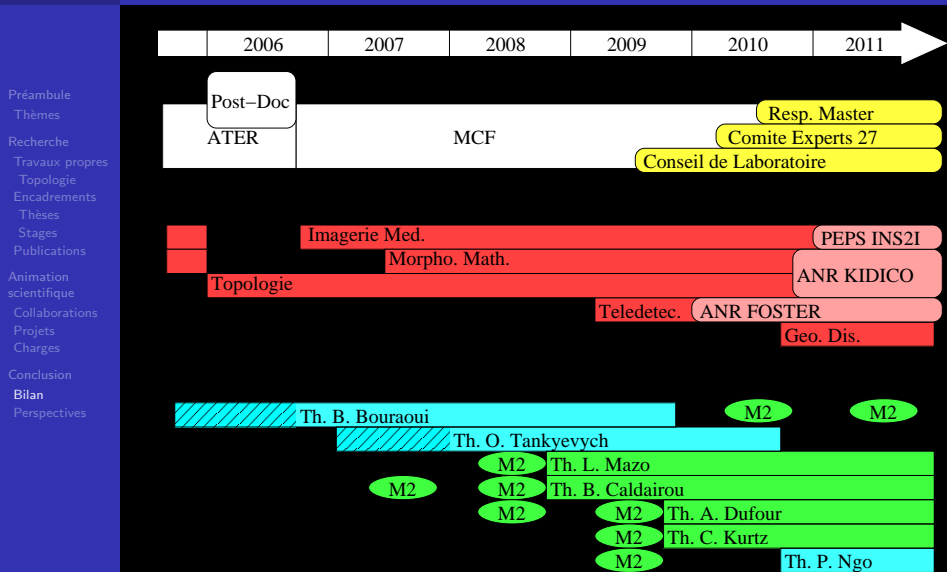
Activités pédagogiques

- 1500h d'enseignement (informatique, mathématiques)
- 10 composantes (UFR, IUT, INSA, CNAM)
- 23 stages (hors M2) et projets longs en informatique

- Préambule
- Thèmes
- Recherche
 - Travaux propres
 - Topologie
- Encadrements
 - Thèses
 - Stages
- Publications
- Animation scientifique
 - Collaborations
 - Projets
 - Charges
- Conclusion**
 - Bilan
 - Perspectives

Conclusion

Bilan : chronologie (2006–2011)



Quelques perspectives de recherche (non exhaustif)

Projets à (très) court terme

- Dépôt d'un projet sur l'imagerie angiographique (suite du PEPS INS2I) :
 - acquisitions saines/pathologiques (IRM/CT)
 - segmentation
 - modélisation anatomique
 - simulation de flux sanguins
 - applications en radiologie/chirurgie interventionnelle

Projets à court/moyen terme

- Implication dans l'IHU (médical)
- Développement de nouveaux champs applicatifs :
 - imagerie biologique
 - imagerie thermique

Quelques perspectives de recherche (non exhaustif)

Préambule

Thèmes

Recherche

Travaux propres

Topologie

Encadrements

Thèses

Stages

Publications

Animation

scientifique

Collaborations

Projets

Charges

Conclusion

Bilan

Perspectives

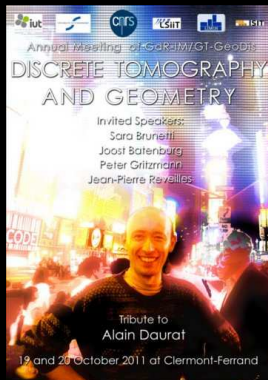
À plus long terme

- Imagerie multivaluée
- Liens géométrie-topologie-morphologie mathématique
- Liens continus/discrets
- Ouverture vers d'autres domaines de l'analyse d'images
- ... et en fonction du contexte futur

Soutenance dédiée à Alain Daurat, membre du LSIT, décédé le 25 juin 2010

- Préambule
- Thèmes
- Recherche
- Travaux propres
- Topologie
- Encadrements
- Thèses
- Stages
- Publications
- Animation scientifique
- Collaborations
- Projets
- Charges
- Conclusion
- Bilan
- Perspectives

Journée d'hommage "Tomographie Discrète", demain à l'occasion du GT Géométrie Discrète du GDR IM (Clermont-Ferrand)



Merci de votre attention

Et merci à tou(te)s ceux(celles) avec qui j'ai eu le plaisir de travailler.