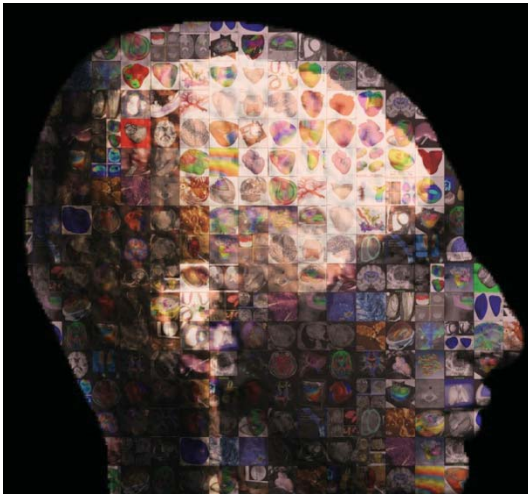


Chaire Informatique et sciences numériques



6. Imagerie microscopique *in vivo* :

Mosaïques numériques et indexation

Nicholas Ayache

3 juin 2014

Collège de France



Le patient numérique personnalisé
Images, médecine et informatique



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

- 29 avril 2014 **Sciences des images médicales : les grandes classes de problèmes + recalage**
Chirurgie du futur guidée par l'image numérique, Jacques Marescaux, *IHU Strasbourg, IRCAD*
Cardiologie du futur à l'ère du patient numérique, Michel Haïssaguerre, *CHU Bordeaux, Université Victor-Segalen, IHU LIRYC*
- 6 mai 2014 **Se repérer dans les images : recalage et segmentation**
Mesurer le cerveau numérique, Jean-François Mangin, *Neurospin Saclay*
Reconstruction d'organes dans les formes, Hervé Delingette, *Inria, Sophia Antipolis*
- 13 mai 2014 **Variabilité anatomique et fonctionnelle : atlas statistiques**
Phénotype, fonction et génotype, Bertrand Thirion, *Inria Saclay Île-de-France, CEA, DSV, I2BM, Neurospin*
Statistiques de formes et variétés anatomiques, Xavier Pennec, *Inria Sophia Antipolis*
- 20 mai 2014 **La dimension temporelle : quantifier une évolution**
La neuro-imagerie à l'ère du patient numérique, Stéphane Lehericy, *IHU Pitié Salpêtrière*
Biomarqueurs d'imagerie dans les pathologies cérébrales, Christian Barillot, *CNRS, Inserm, Inria Rennes*
- 27 mai 2014 **Imagerie des tumeurs : modèles biophysiques pour mesurer et prédire**
Neurochirurgie guidée par l'image, Emmanuel Mandonnet, *Hôpital Lariboisière*
Radiothérapie guidée par l'image, Jocelyne Troccaz, *TIMC Grenoble, CNRS*
- 03 juin 2014 **Imagerie microscopique in vivo : mosaïques numériques et indexation**
Les enjeux médicaux de l'endomicroscopie, Jean-Paul Galmiche, *CHU Nantes*
Des étoiles aux cellules, de la recherche à l'entreprise, Sacha Loiseau, *Mauna Kea Technologies*
- 10 juin 2014 **Le cœur numérique personnalisé : diagnostic, pronostic et thérapie**
Images et signaux cardiaques : état de l'art et futur, Pierre Jaïs, *CHU Bordeaux, Université Victor-Segalen, IHU LIRYC*
Vers un système vasculaire numérique, Jean-Frédéric Gerbeau, *Inria UPMC*
- 17 juin 2014 **Réalité virtuelle, simulation, et perspectives**
Réalité augmentée en endoscopie et chirurgie, Luc Soler, *IRCAD/IHU, Strasbourg*
Simulation en médecine : présent et futur, Stéphane Cotin, *Inria*

Imagerie médicale computationnelle

**Recherche
académique
pluridisciplinaire**

patient

**Partenaires
cliniques**

**Partenaires
industriels**

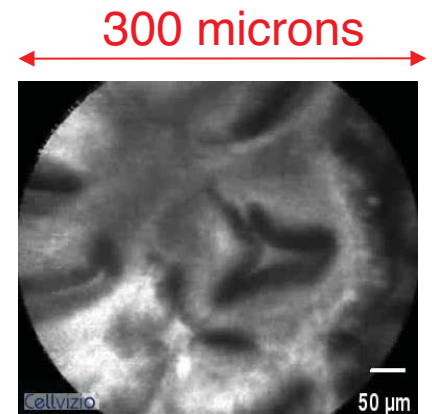
Imagerie microscopique computationnelle

- Traitement automatisé des images microscopiques historiquement présent depuis plus de trente ans.
 - Regain d'intérêt récent avec l'apparition de nouvelles modalités d'imagerie microscopique *in vivo* et *in situ*.
 - Bien illustré par l'endomicroscopie confocale par sonde flexible (*pCLE: Probe-based Confocal Laser Endomicroscopy*)
-
- J Rittscher, R Machiraju, S T. C. Wong, *Microscopic Image Analysis for Life Science Applications*, 2008
 - J Duncan, N. Ayache, *Medical Image Analysis: Progress over 2 decades and the challenges ahead*, 2000

Endomicroscopie



Pr A. Meining, Munich



Muqueuse
gastro-
oesophagienne

Mauna Kea Technologies, Paris
Sacha Loiseau

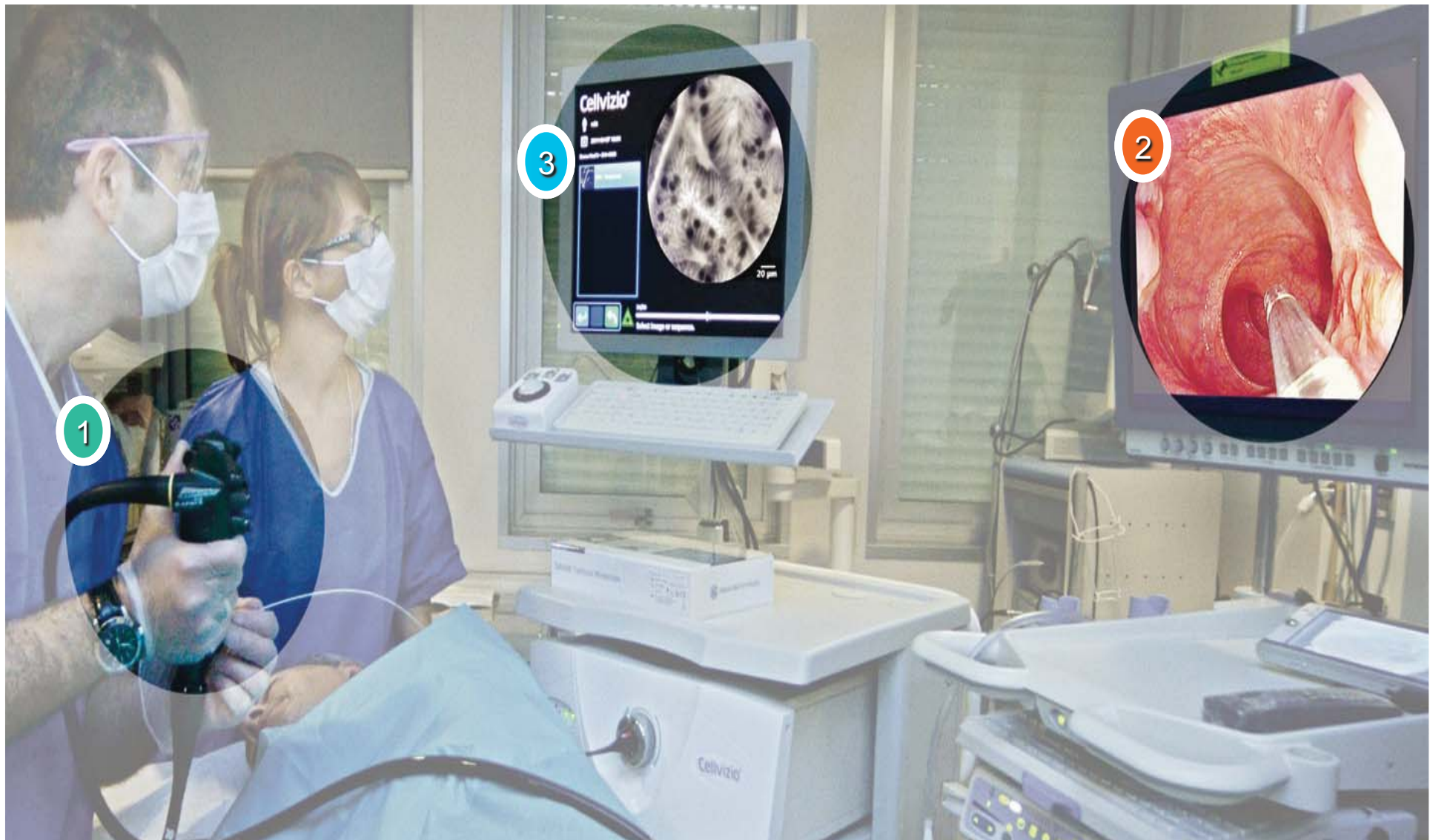
Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

Endomicroscopie



Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique

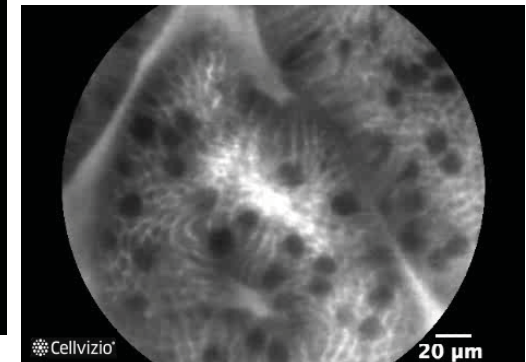
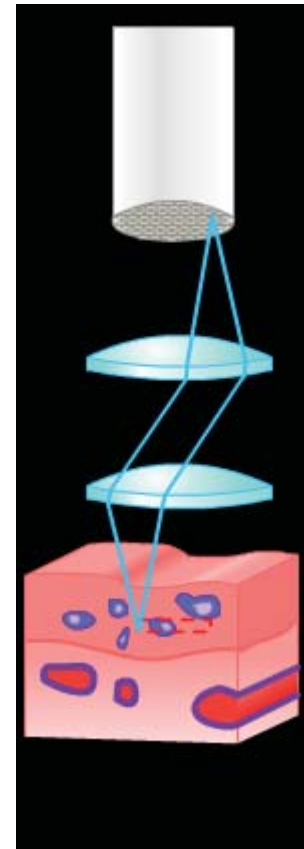
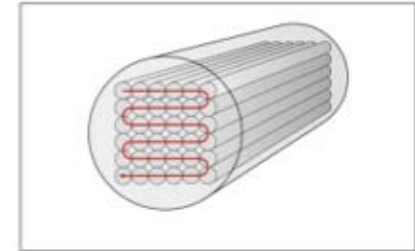


COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

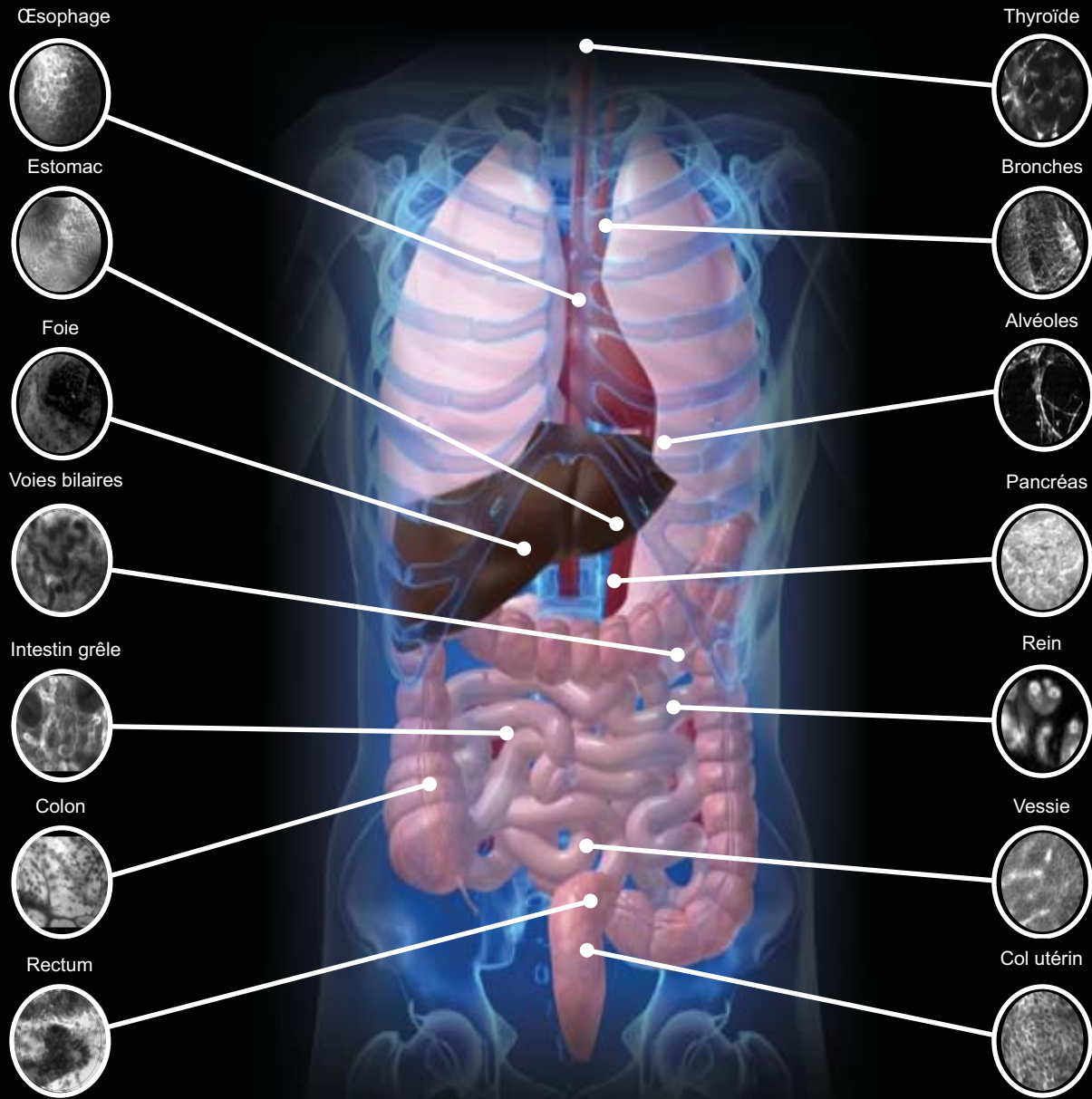
Physique d'acquisition

- Minisonde flexible (300 μm – 2.5mm)
- ~ 30 000 fibres optiques
- Injection laser & détection par balayage
- Coupe optique profondeur 0 - 100 μm
- Résolution microscopique ($\sim 1 \mu\text{m}$)
- 9 - 18 images par seconde

Toron de fibres balayé par le laser



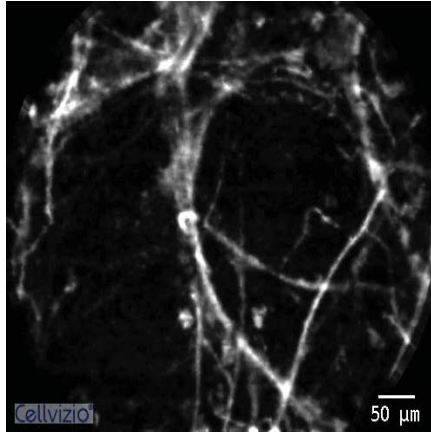
Biopsies optiques



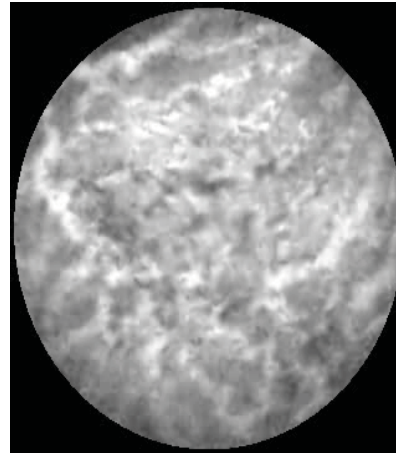
F. Lacombe

La vie des cellules

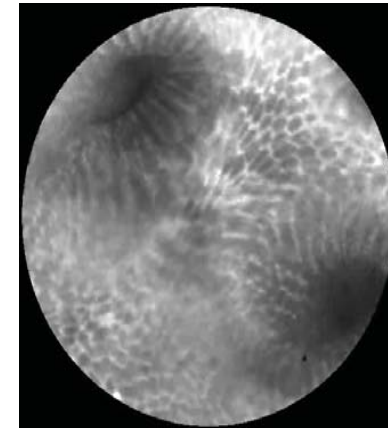
alvéoles



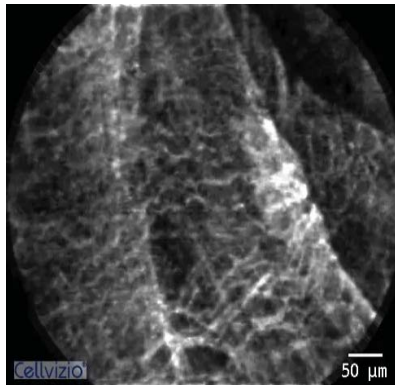
pancréas



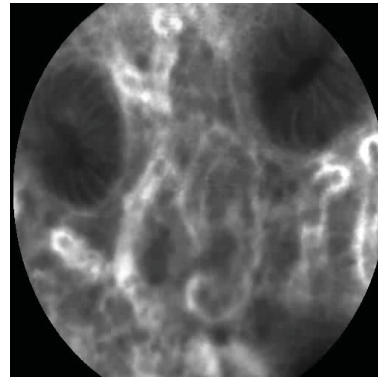
estomac



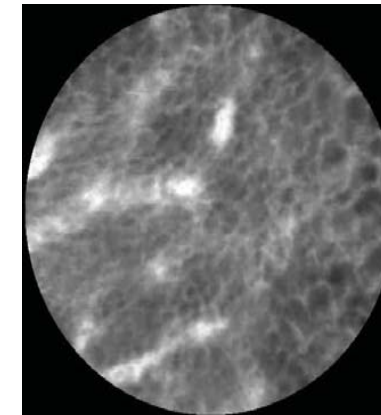
bronches



Intestin grêle

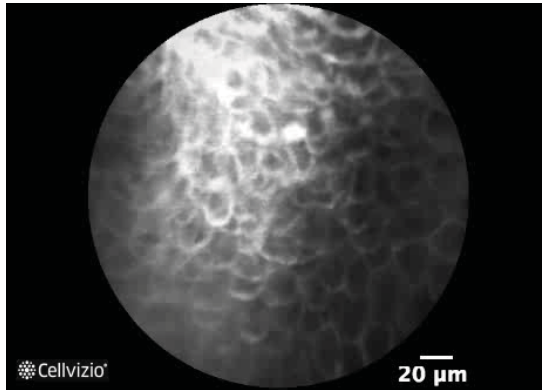


vessie

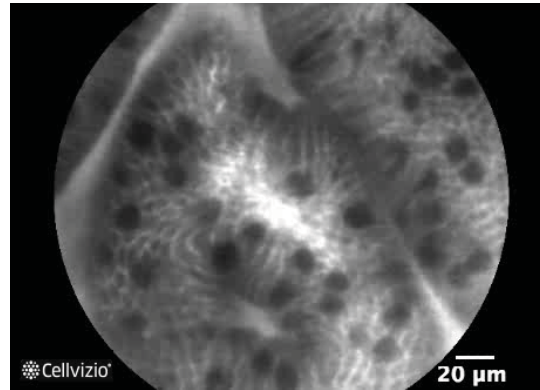


Progression du cancer

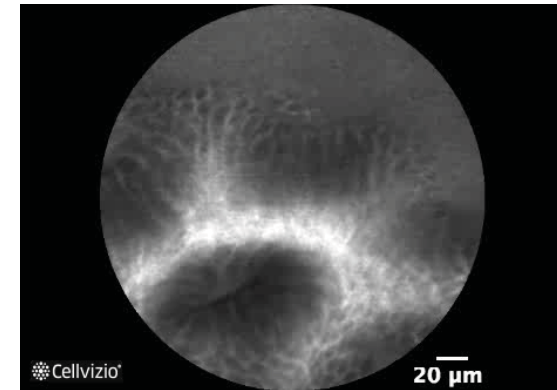
Endobrachyœsophage ou Œsophage de Barrett



Épithélium normal



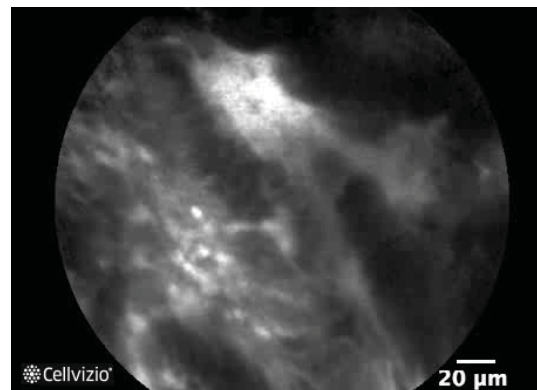
métaplasie



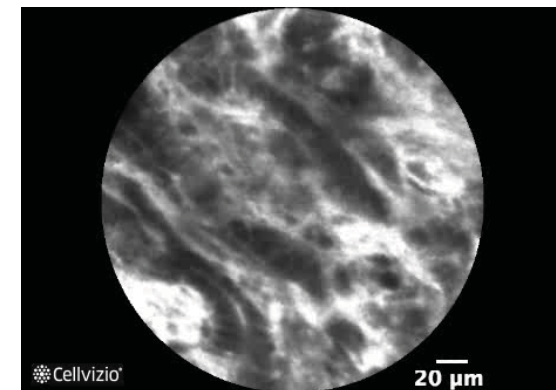
métaplasie



métaplasie



dysplasie



cancer

HISTOLOGIE vs. Endomicroscopie

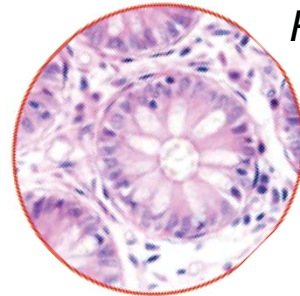
Ex Vivo

**Diagnostic
différé**

**par un
pathologiste**

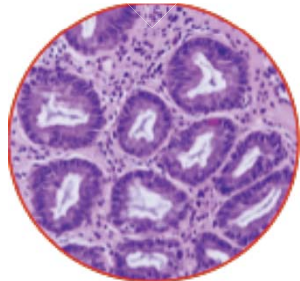
Invasif

**Biopsie réelle
aléatoire**



Polypes du colon

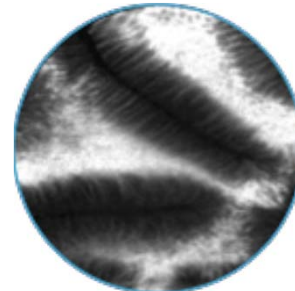
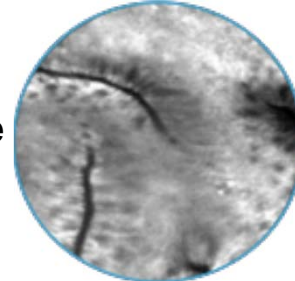
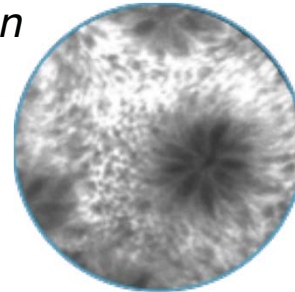
bénin



Hyperplasique



Adénomateux



In Vivo & In Situ

**Diagnostic
temps réel**

**par un
endoscopiste**

Mini invasif

**“Biopsie optique”
ciblée**

Le rôle de l'informatique

- essentiel dans
 - la construction même des images
 - leur exploitation clinique

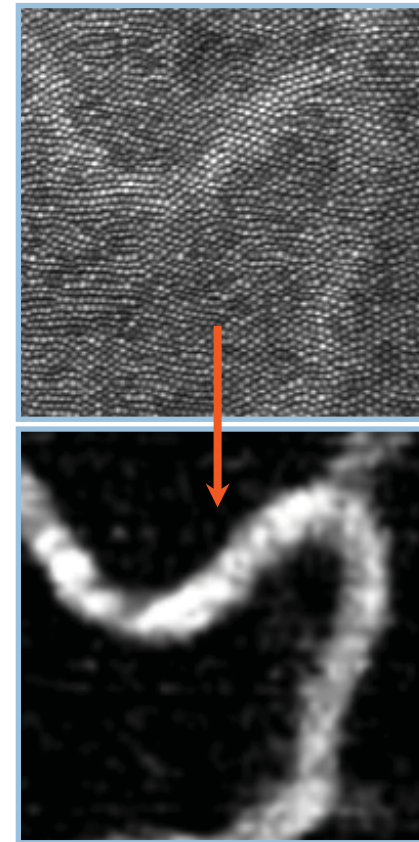
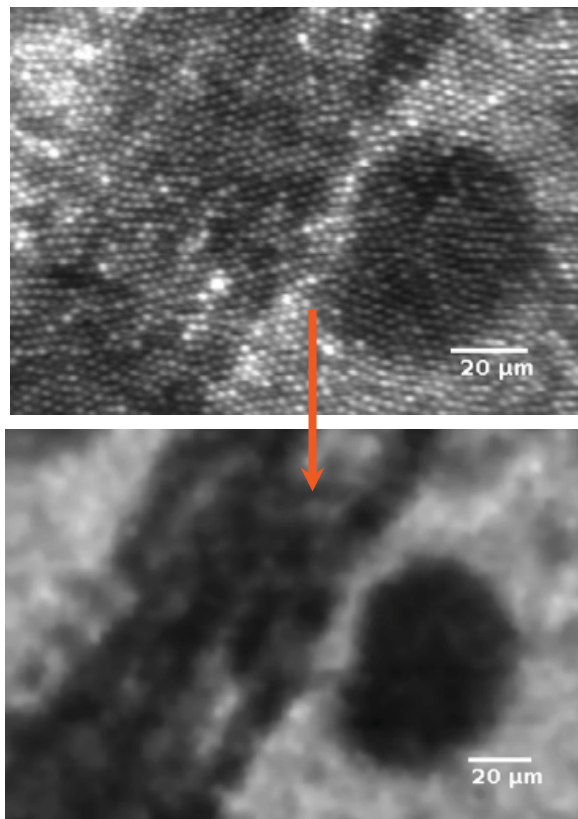
Endomicroscopie computationnelle

des images

- plus correctes
- plus riches
- plus grandes
- plus lisibles
- toujours plus...

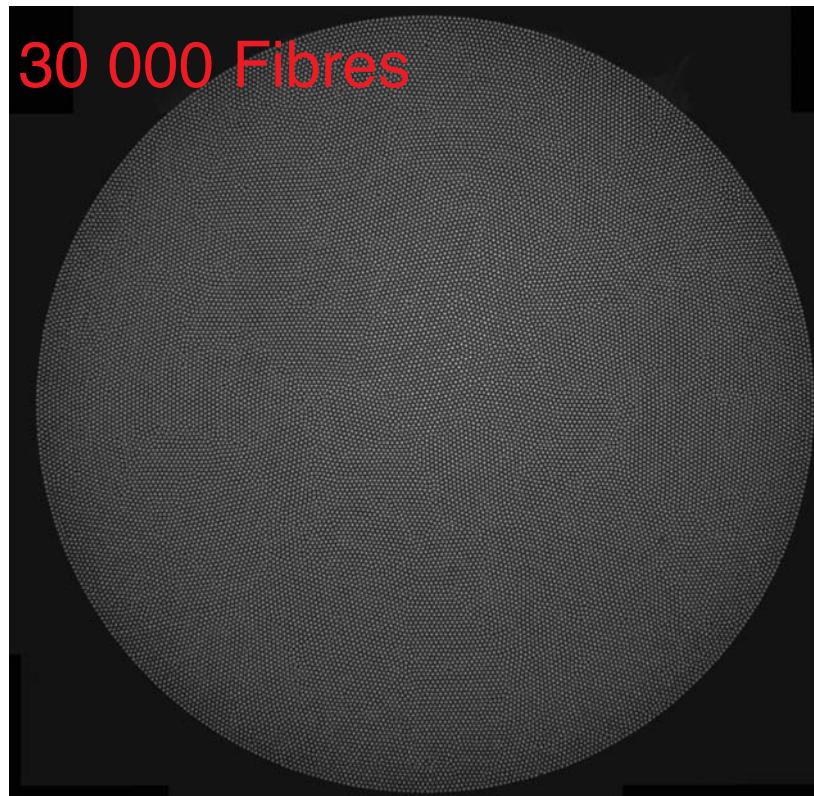
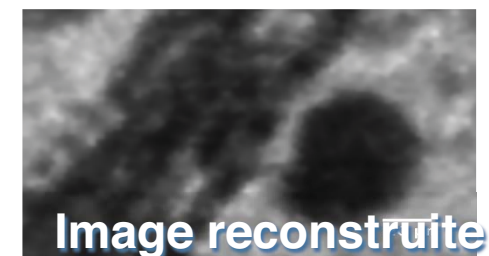
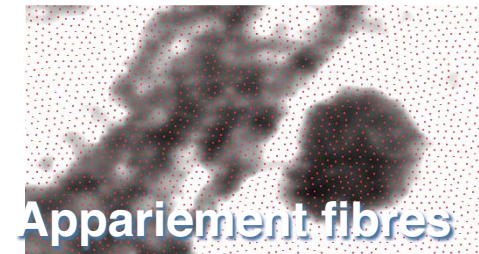
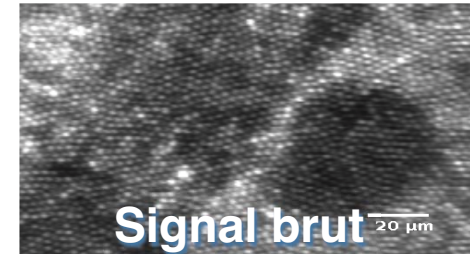
Des fibres aux pixels

- Données brutes cliniquement inexploitable
- Distorsions, inhomogénéités, mesures éparses



Des fibres aux pixels

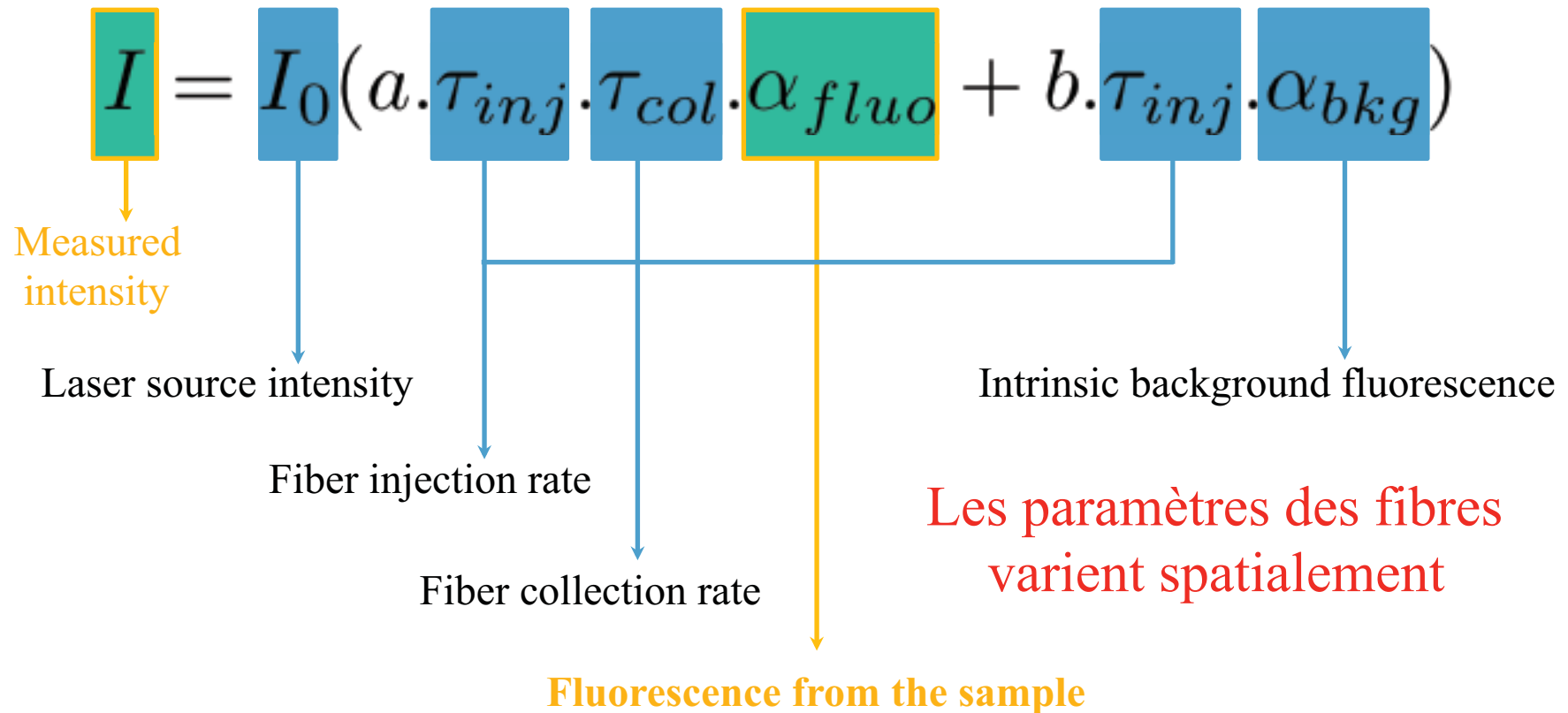
- Identification signal brut discret issu de chaque fibre
- Position précise de chaque fibre identifiée en usine
- Interpolation continue spatialement corrigée
- Ré-échantillonnage discret en pixels réguliers



Le Goualher et al., MICCAI 2004

Etalonnage de l'intensité

- Intensité mesurée en chaque fibre



Etalonnage de l'intensité

- Le signal reçu par chaque fibre est corrigé

- Soustraire l'auto-fluorescence

- Sonde dans l'air I_b



- Normaliser fonction de transfert de la fibre

- Sonde dans milieu homogène I_s

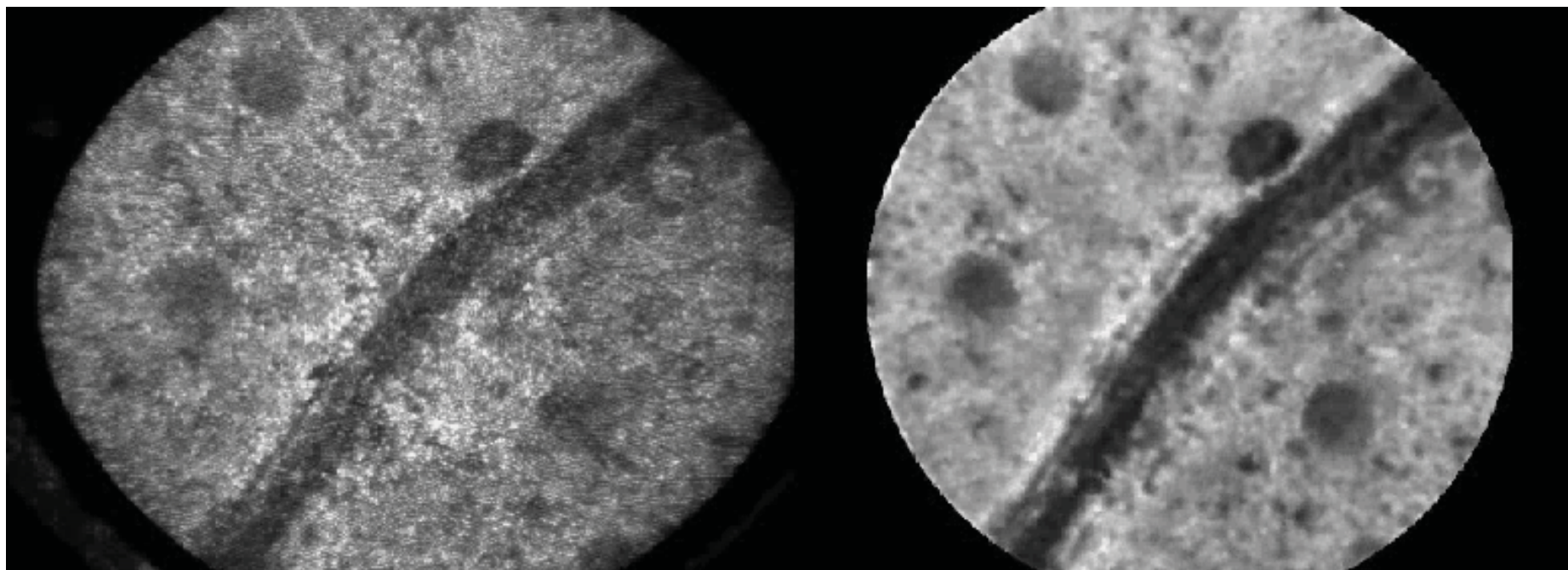
$$I_{calibrated} = \frac{g(I) - I_b}{I_s - I_b} = K \cdot \alpha_{fluo}$$



Etalonnage

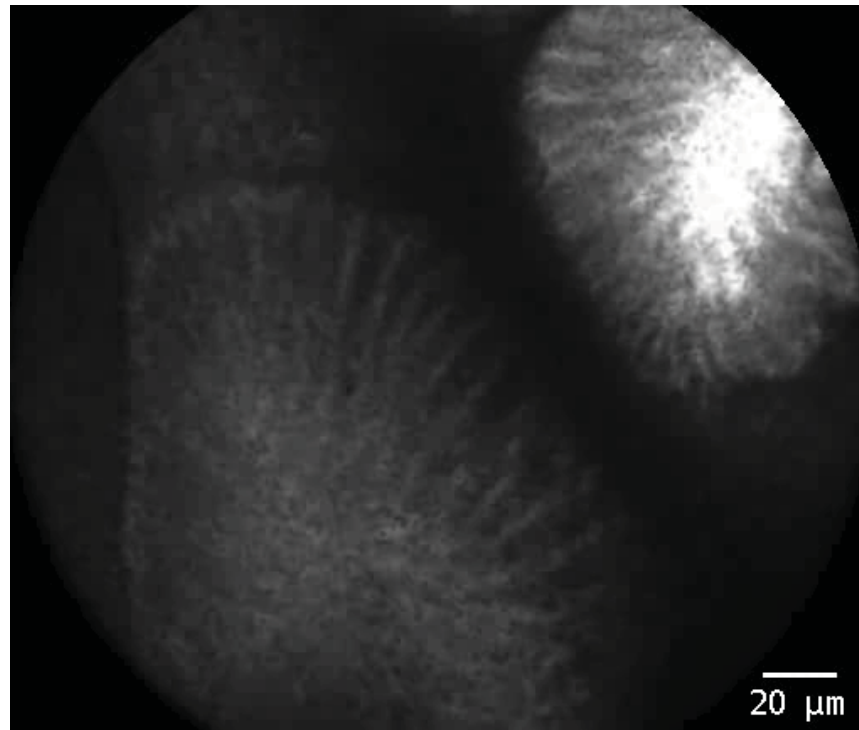
Avant

Après



Limitations étalonnage statique

- L'autofluorescence évolue avec le temps
- La fonction de transfert dépend du tissu

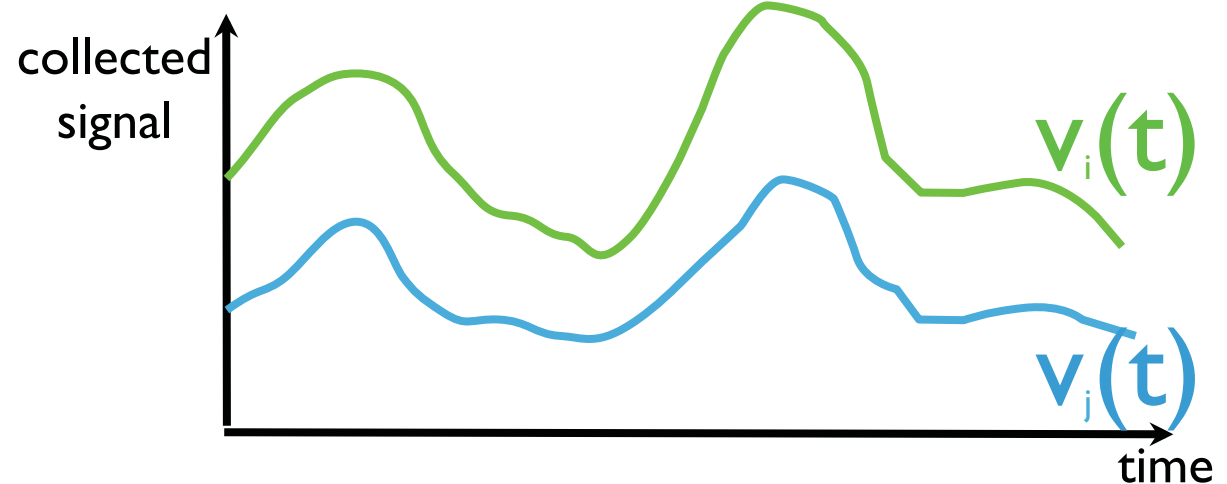
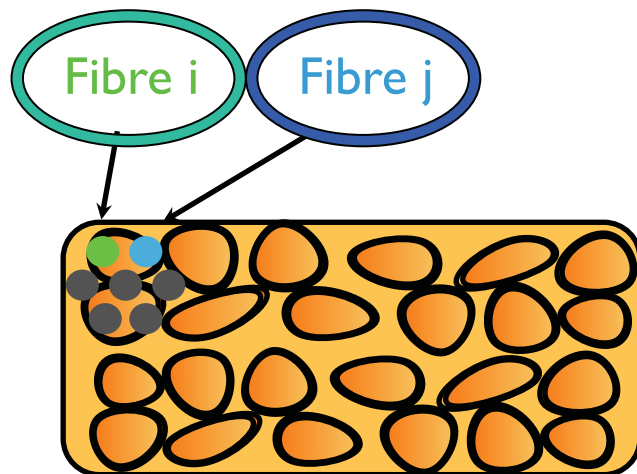
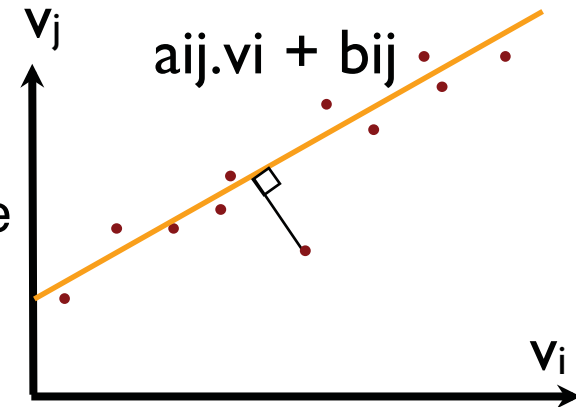


Voile
sur
l'image

- **Solution:** ajuster l'étalonnage au fil de l'eau

Etalonnage dynamique

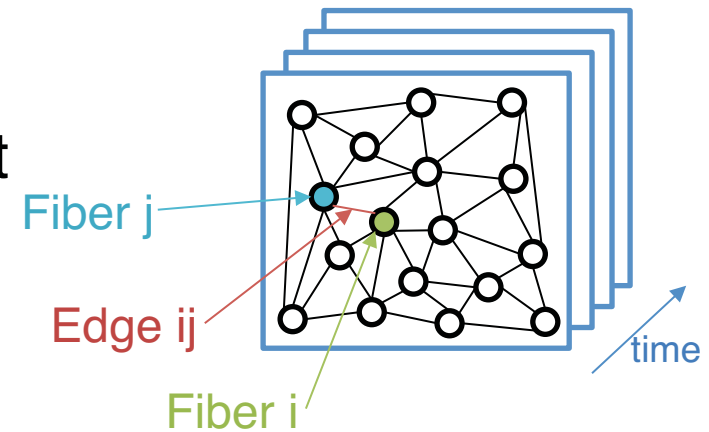
- 2 fibres voisines observent quasiment le même tissu, presque tout le temps
 - Estimer de façon robuste une relation affine entre les signaux des fibres voisines



N. Savoie, B. André, T. Vercauteren, Online Blind Calibration of Non-Uniform Photodetectors: Application to Endomicroscopy, MICCAI 2012

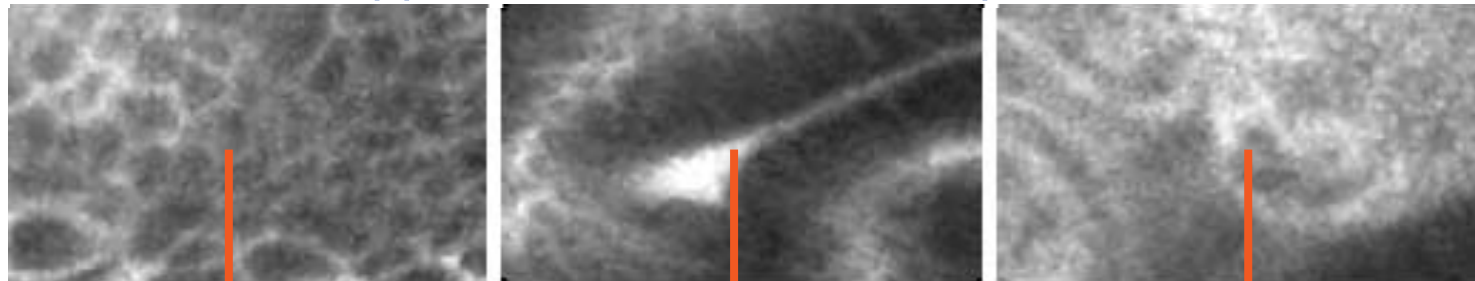
Etalonnage dynamique

- Graphe de voisinage entre fibres
- À chaque arête, une équation liant les paramètres de fibres voisines
- Le système global, surcontraint, est résolu aux moindres carrés



Suppression du voile en temps réel

avant



après

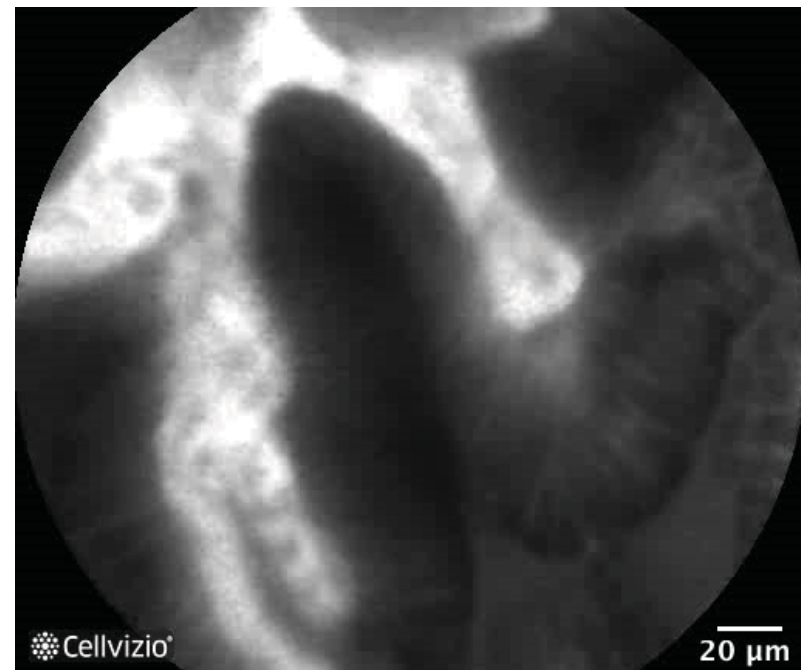
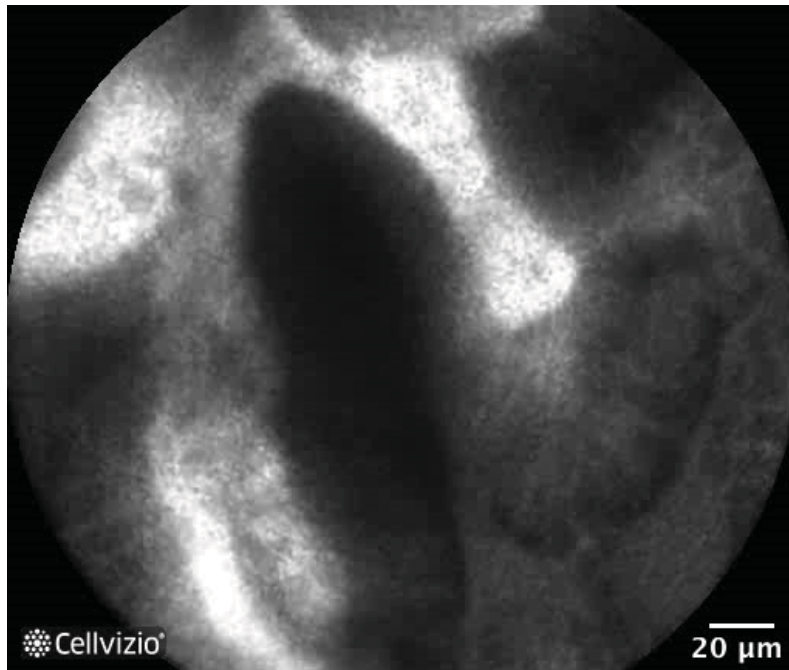


Etalonnage

statique

vs.

dynamique



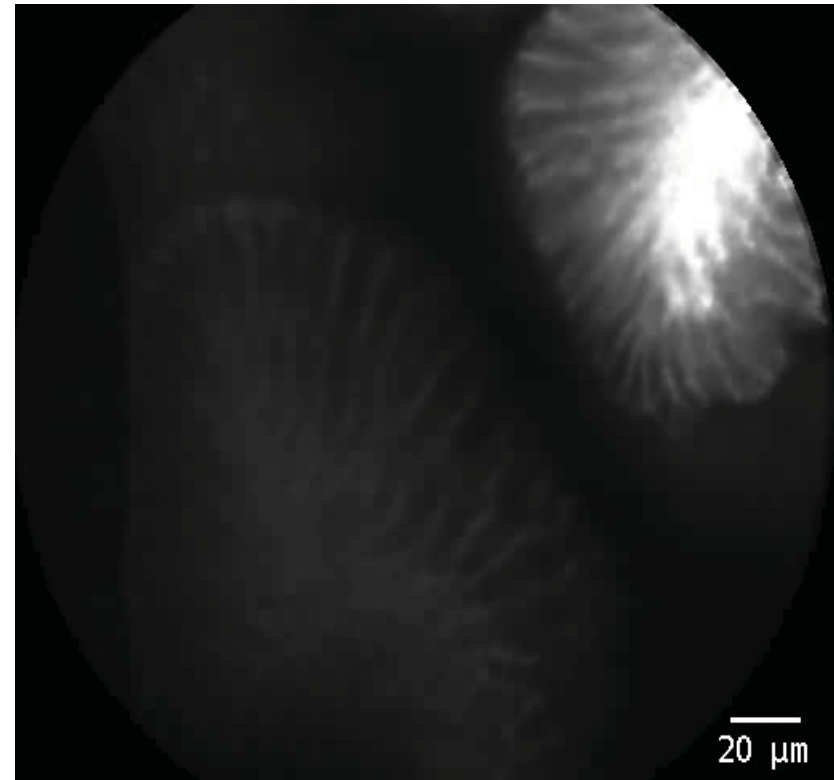
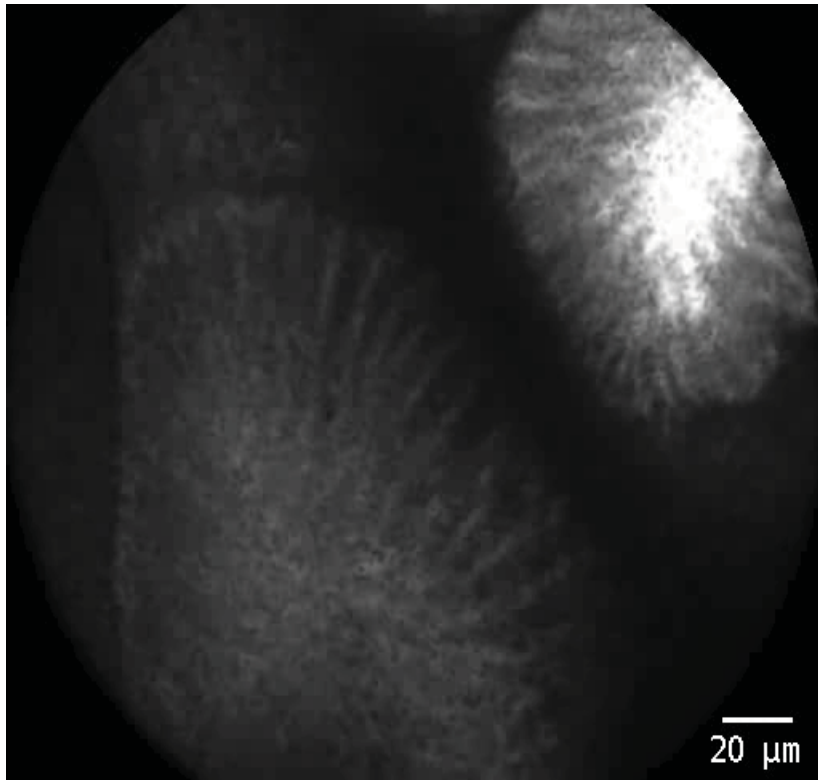
Œsophage de Barrett

Etalonnage

statique

vs.

dynamique



Œsophage de Barrett

Endomicroscopie computationnelle

des images

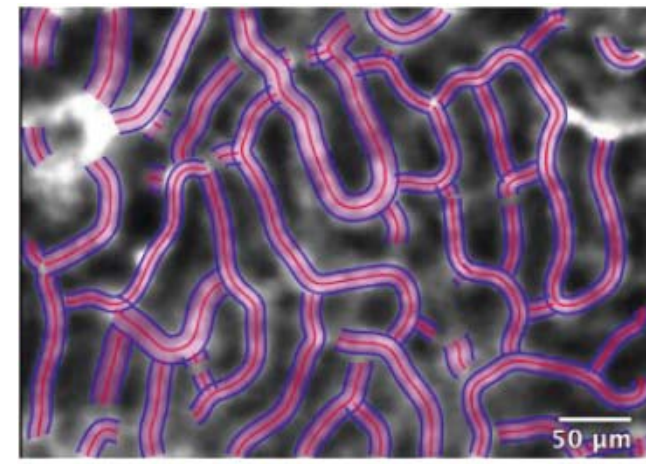
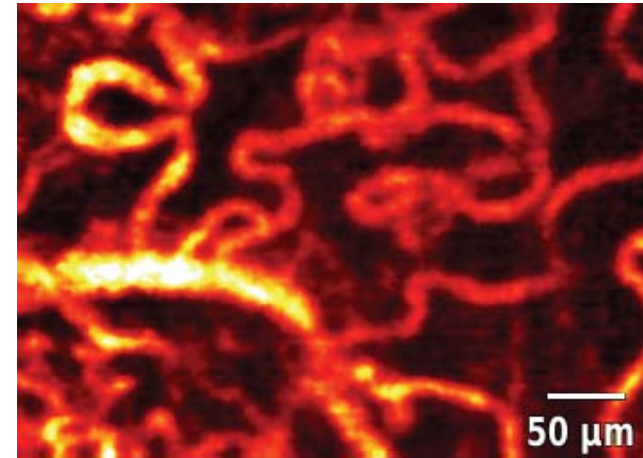
- plus correctes
- plus riches
- plus grandes
- plus lisibles
- toujours plus...

vitesse



Vascularisation

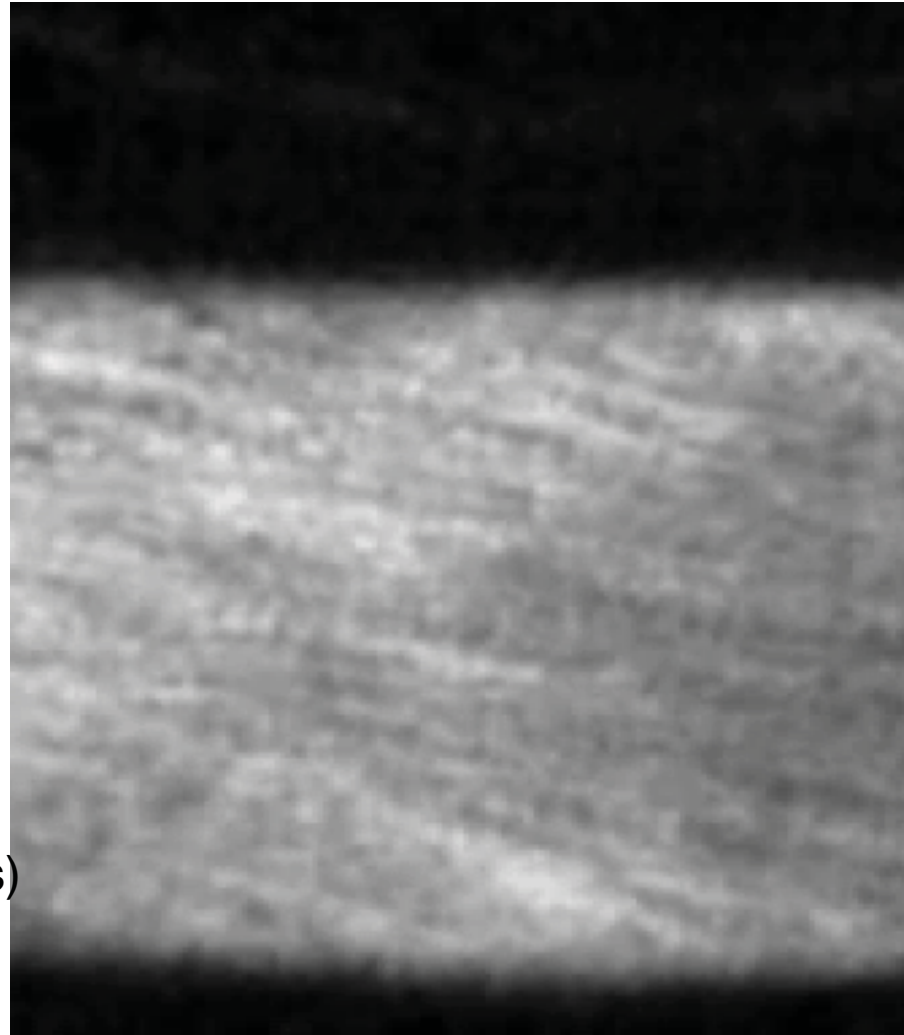
- Morphologie des vaisseaux
 - Extraction des frontières
 - Extraction de la ligne centrale
 - Mesures quantitatives :
tortuosité, densité capillaire,
etc.



Peut-on extraire un flux?

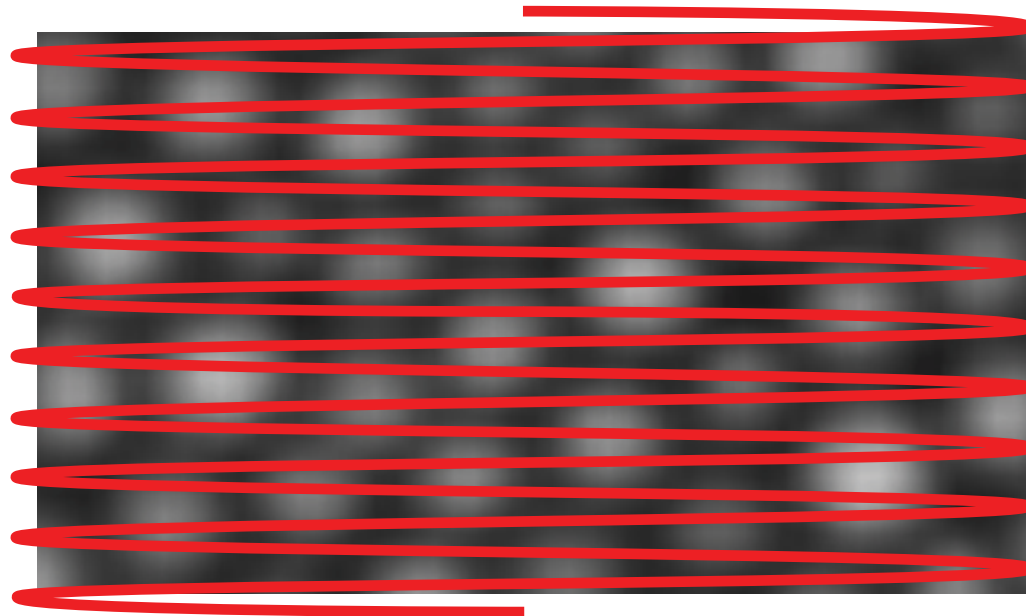
- **Observation:**
apparition de bandes
sombres...
- **Question :**
artefact de mouvement?

muscle crémaster (souris)



Physique d'acquisition

- Balayage progressif de l'image

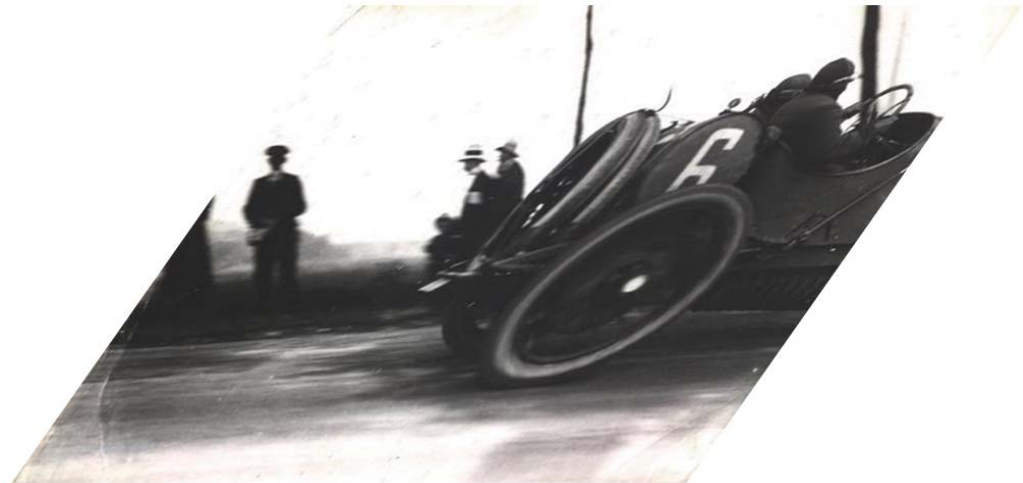


Caméra à balayage de fente

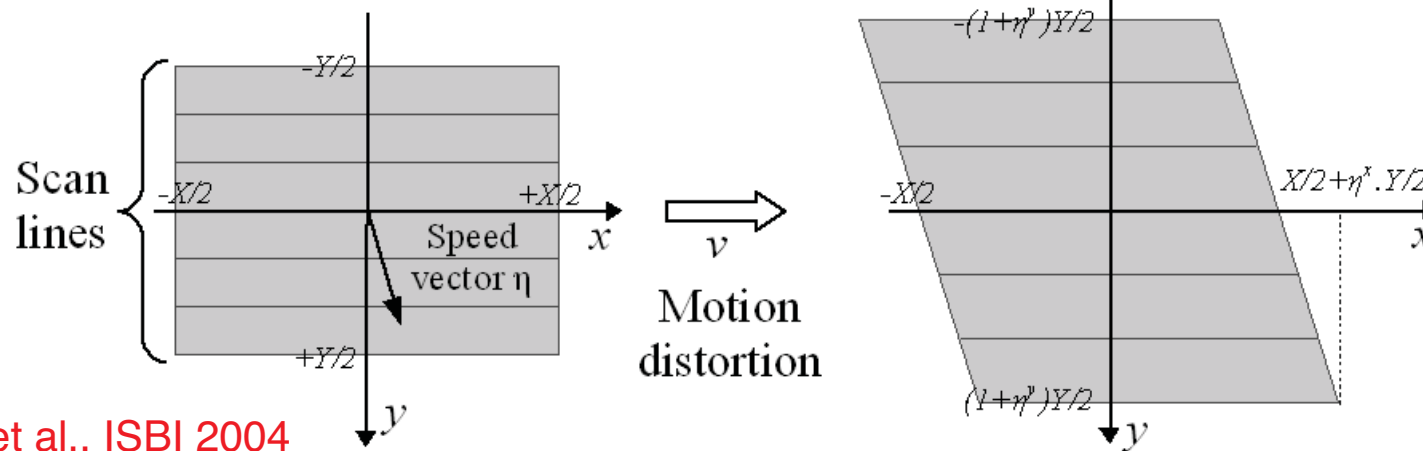
- Artefacts de mouvement similaires



Input frame



Distortion compensated frame



Savoire et al., ISBI 2004

Artefacts plus complexes

<http://www.rit.edu/~andpph/>



Savoire et al.

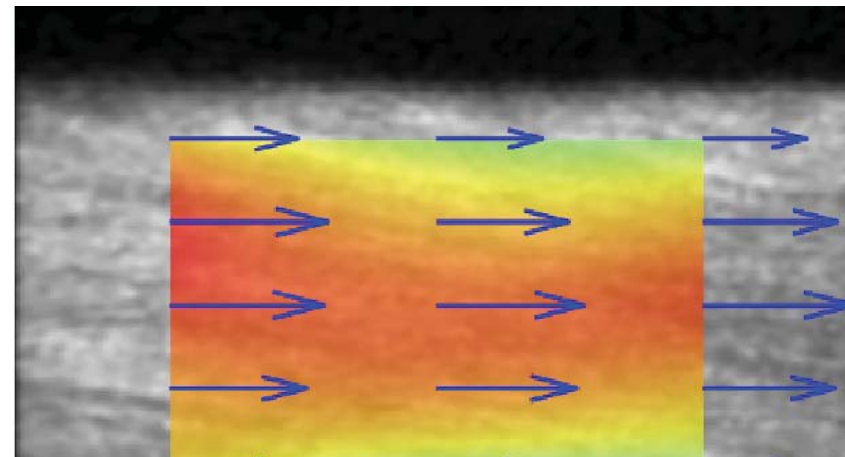
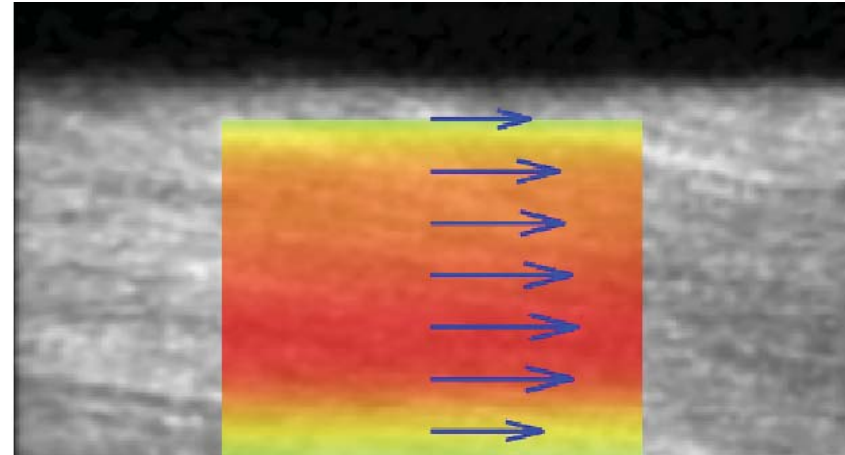
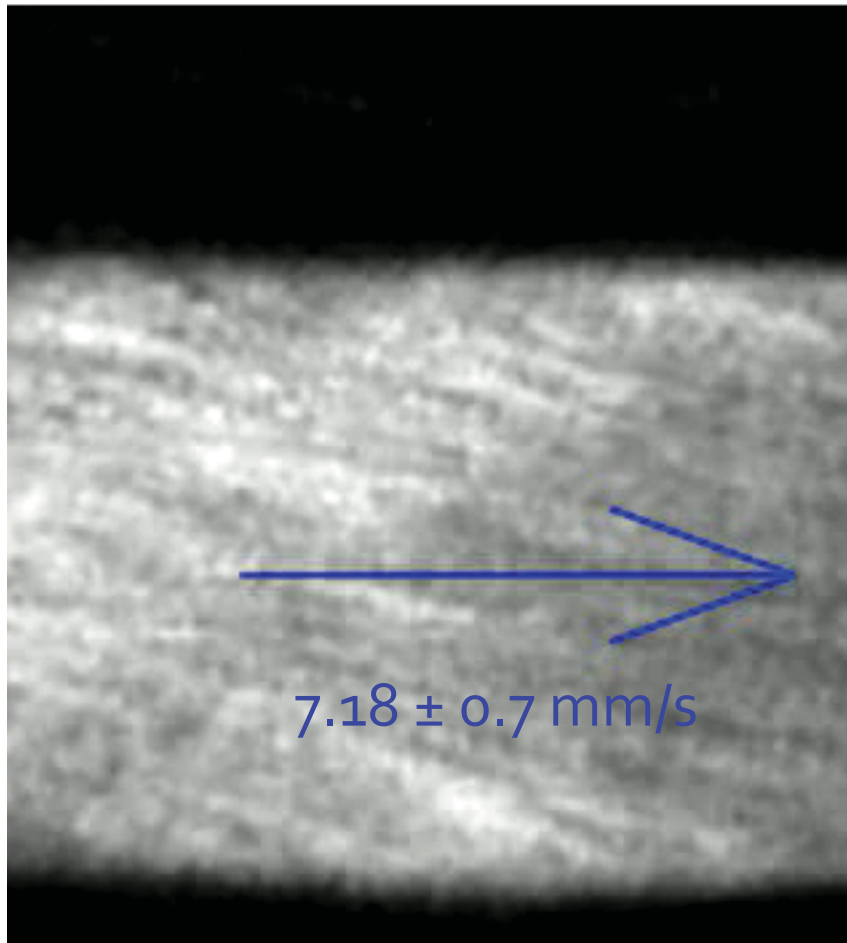
Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



COLLÈGE DE FRANCE 30
— 1530 —

Mesure automatique du débit



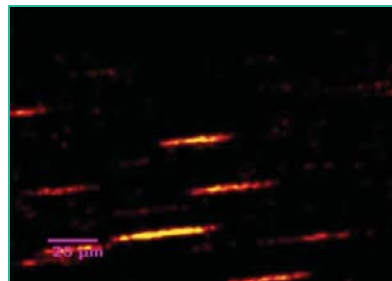
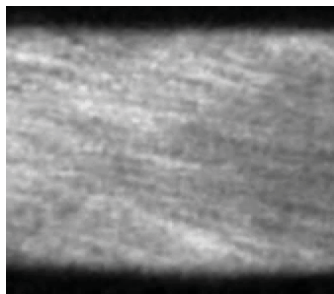
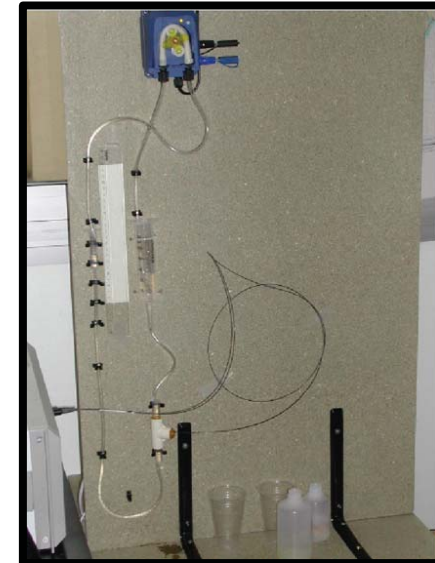
Vitesse médiane sur une région d'intérêt

N Savoie, G Le Goualher, A Perchant, F Lacombe, G Malandain, N Ayache, ISBI 2004

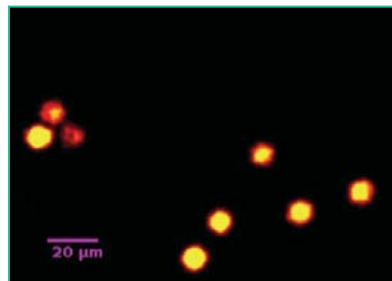
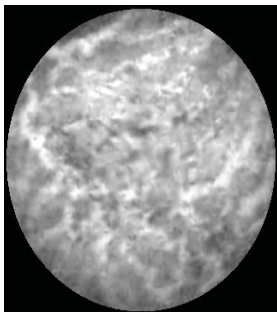
Validation expérimentale

F. Lacombe

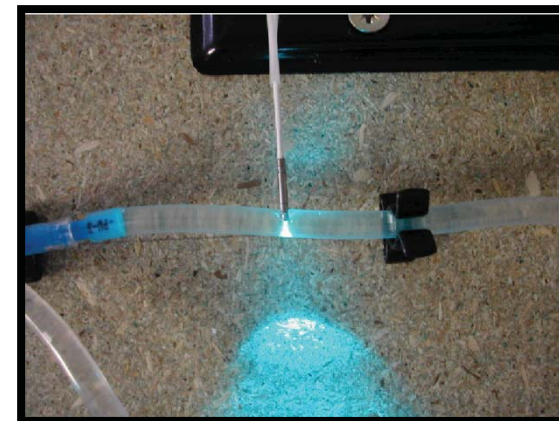
- Circuit hydraulique dédié
 - Microsphères fluorescentes immergées dans l'eau ($\text{Ø } 9.6 \text{ }\mu\text{m}$)
 - \sim flux laminaire



$\approx 20 \text{ mm/s}$
cf. mesure



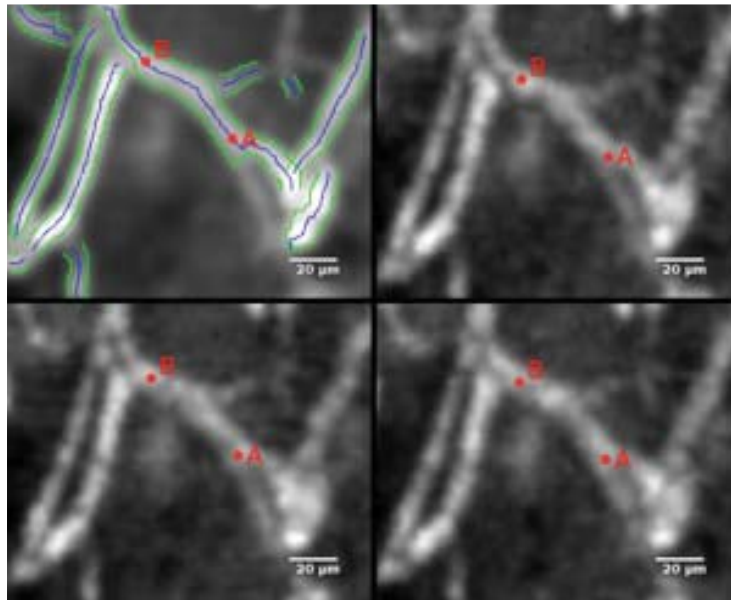
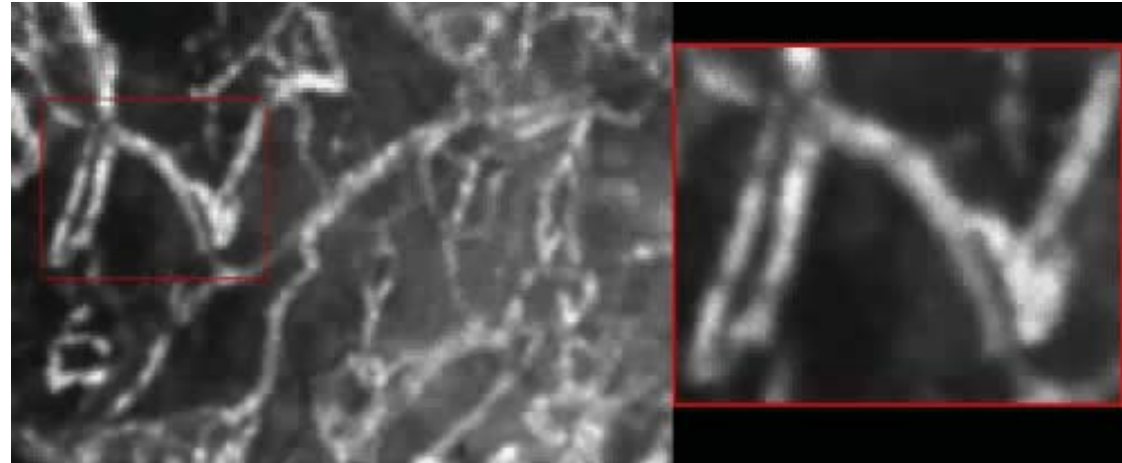
$\approx 2 \text{ mm/s}$
trop lent



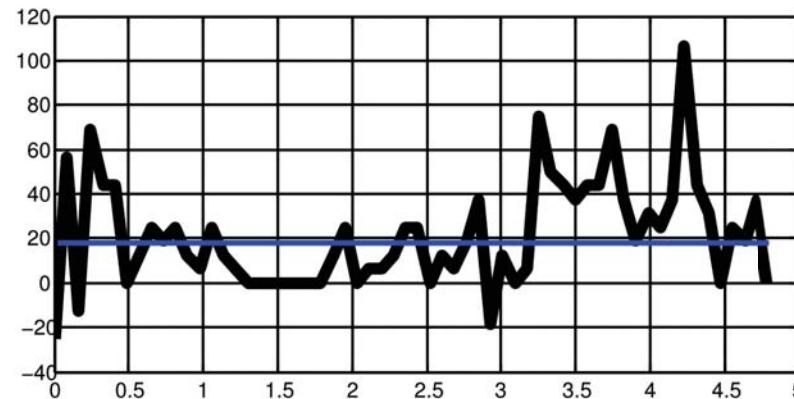
Mouvement lent

Vascularisation tumorale
NIH-MEN2A xenograft
FITC-Dextran plasma staining
R. Boisgard, F. Ducongé and B. Tavitian, CEA

- Traitement d'images
 - Stabilisation (recalage)
 - Extraction vaisseaux
 - Intensité ligne centrale



Corrélation temporelle 180 Microns/s



Perchant, Vercauteren, Oberrietter, Savoie, Ayache ISBI 2007

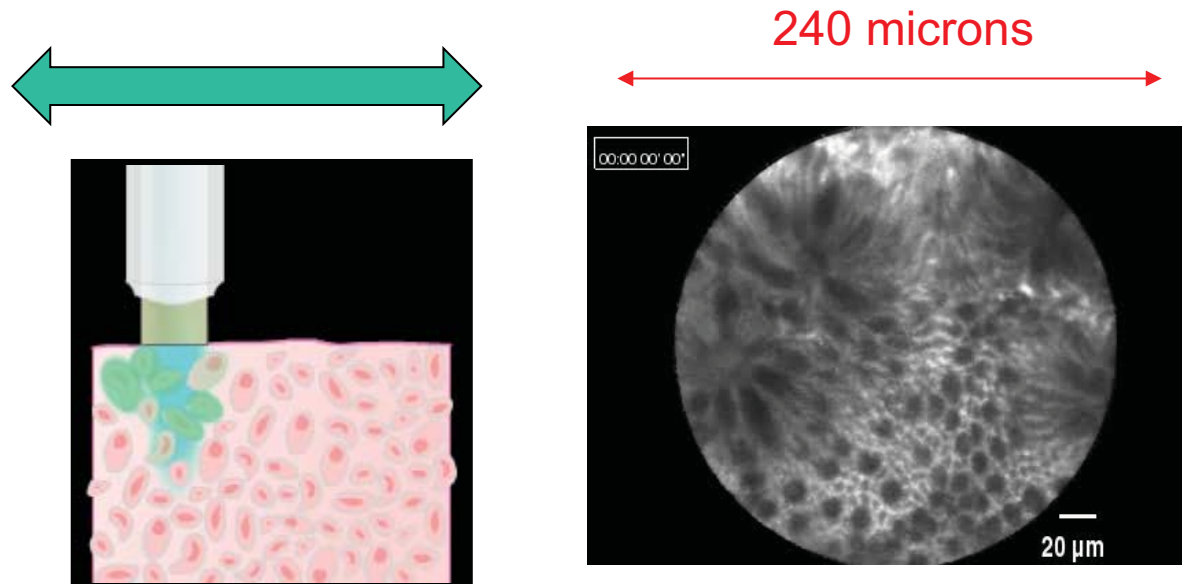
Endomicroscopie computationnelle

des images

- plus correctes
- plus riches
- plus grandes
- plus lisibles
- toujours plus...

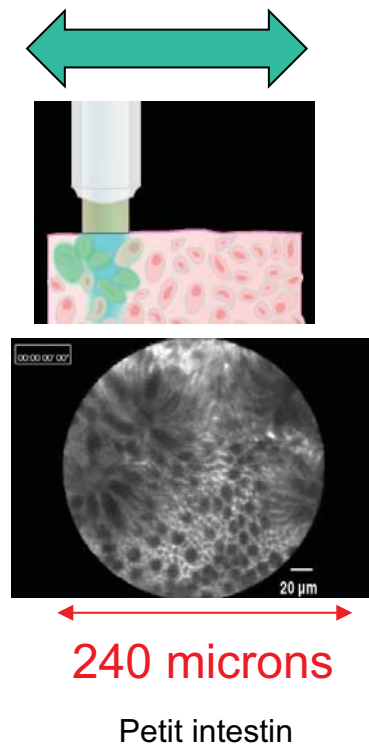
Mosaïques

- Objectif :
 - précision *micro* + champ de vue *macro*



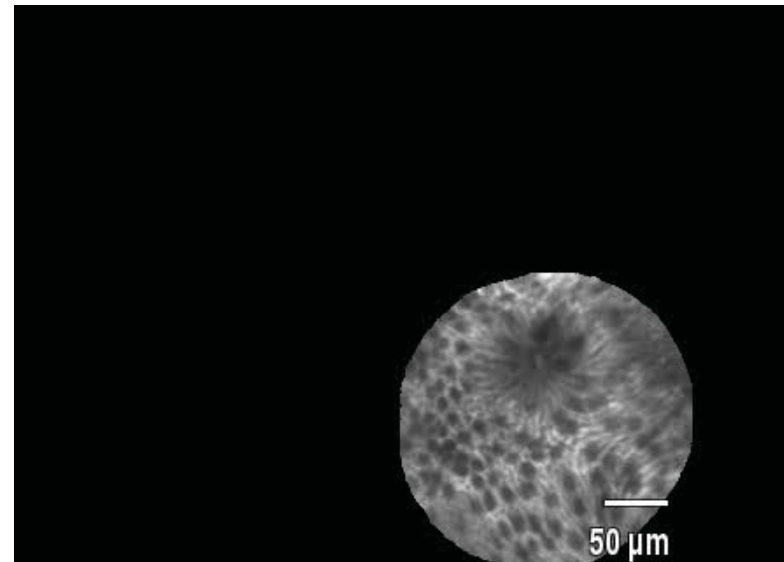
Du micro au mésoscopique

mosaïques numériques



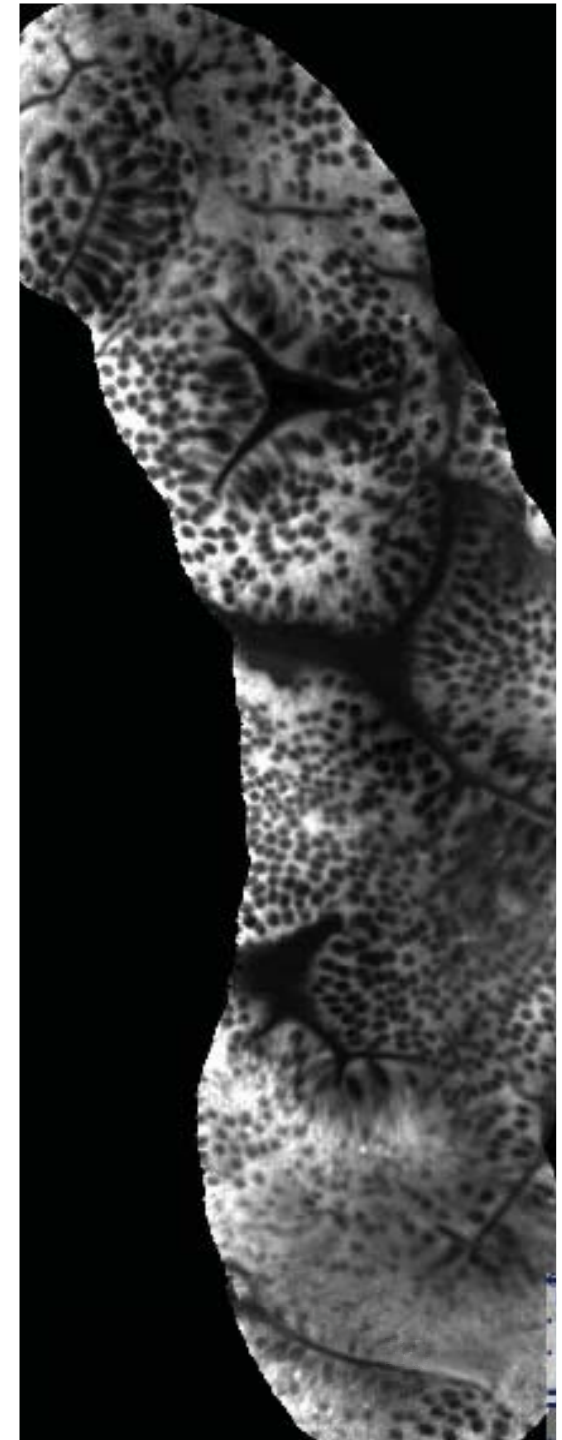
240 microns

Petit intestin



Corriger distorsions dues au
mouvement et déformations
des tissus

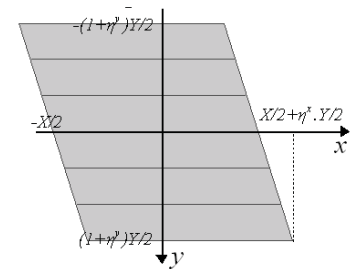
T. Vercauteren et al. 2006.



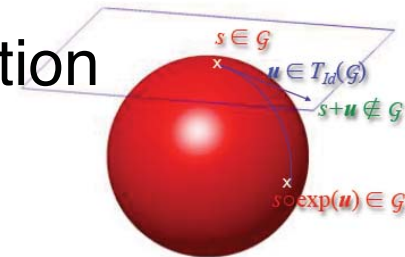
Mosaïques numériques

- Trois étapes de recalage d'images

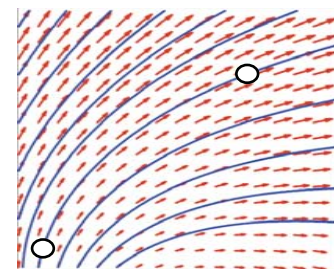
1. **translations** : entre images successives



2. **+ rotations** : prise en compte de la rotation de la sonde



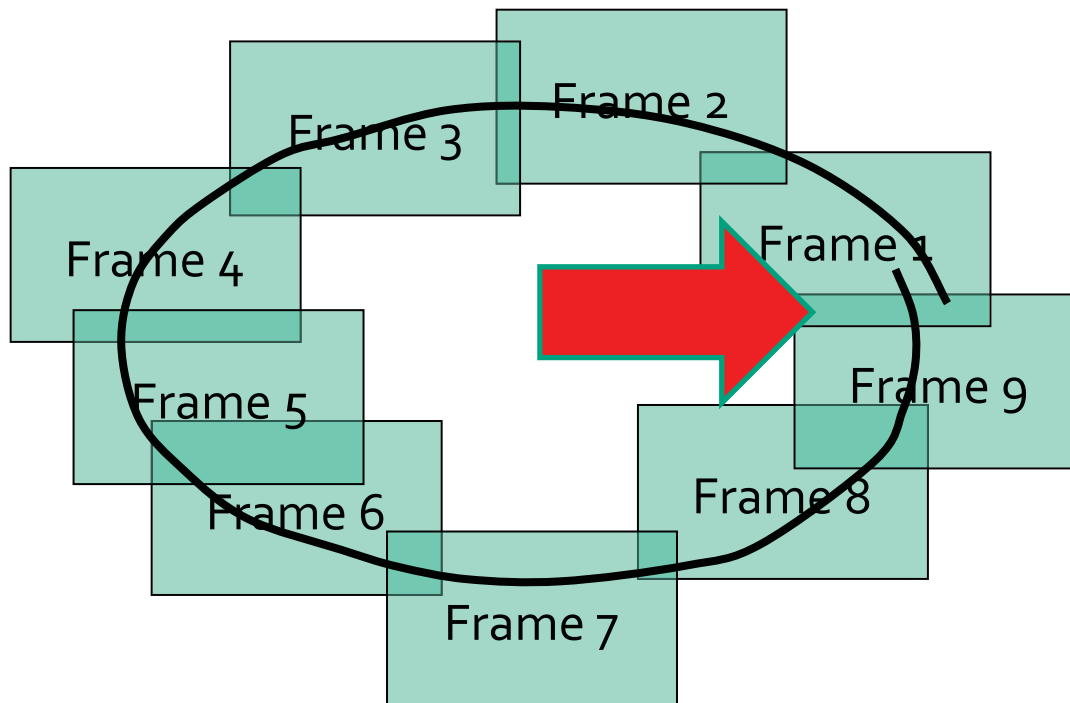
3. **+ difféomorphismes** : prise en compte des déformations des tissus



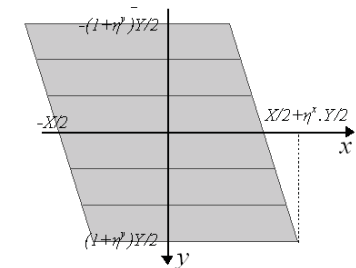
T. Vercauteren, A. Perchant, X. Pennec, G. Malandain, N. Ayache, *Robust Mosaicing with Correction of Motion Distortions and Tissue Deformation for In Vivo Fibered Microscopy*. Medical Image Analysis, 2006.

1. translations

- Entre images successives

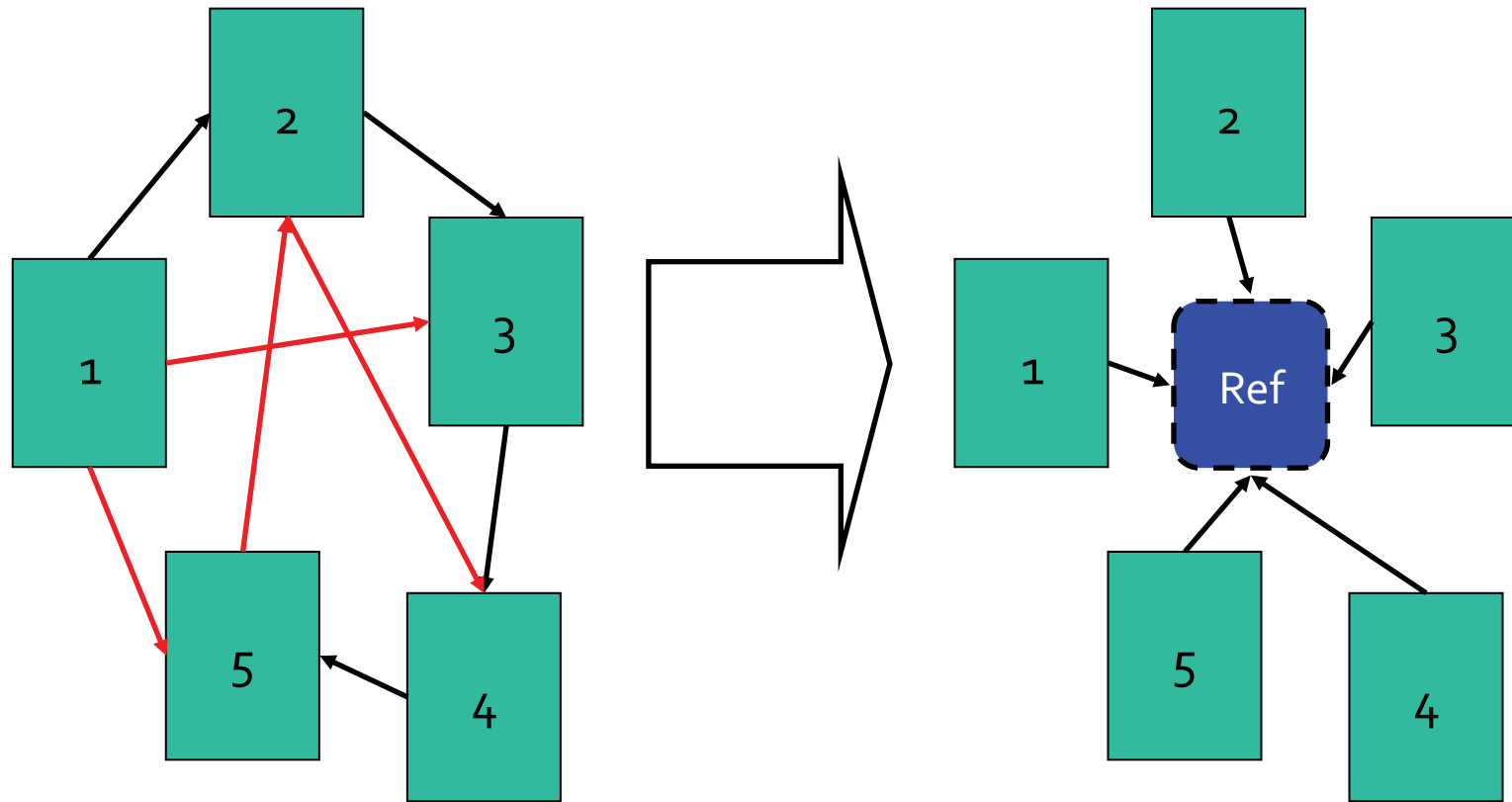
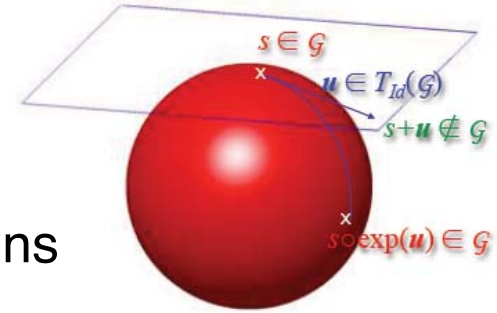


- Premier positionnement relatif de l'ensemble des images
- Estimation de la vitesse de la sonde
- Correction des artefacts de mouvement



2. + rotations

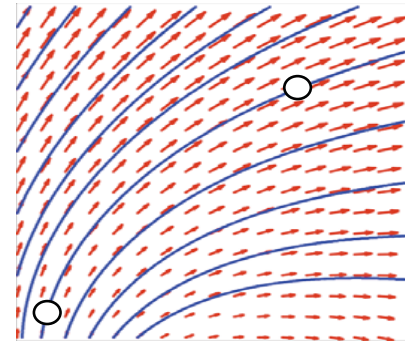
- Graphe d'intersection des images
- Optimisation globale de toutes les rotations+translations
- Groupes de Lie, variété riemannienne (cours 3)



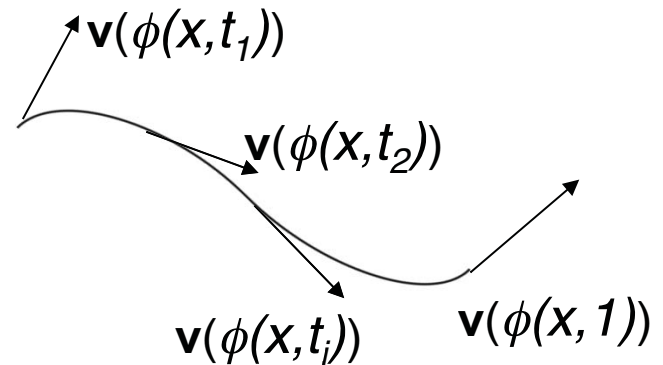
3. + difféomorphismes

- Difféomorphismes paramétrés par des champs de vitesses stationnaires

(cf. cours 1,3,4)
$$\frac{\partial \phi(x, t)}{\partial t} = \mathbf{v}(\phi(x, t))$$



- Leur intégration pendant une unité de temps fournit la trajectoire des points



- Algorithme des démons diffeomorphes

$$E = \text{Sim}(I \circ \phi, J) + \int \|\mathbf{v}(t)\|^2 dt$$

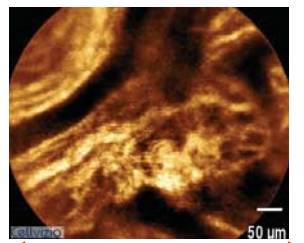
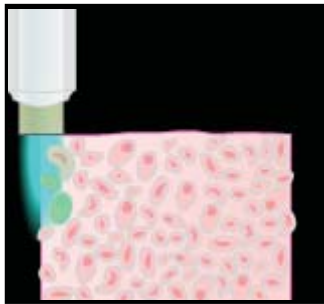
Ressemblance vs. régularité

T. Vercauteren, Pennec, Perchant, Ayache, *Symmetric Log-Domain Diffeo.. Registr.: A Demons-based Approach*, MICCAI 2008

M Lorenzi, Ayache, Frisoni, Pennec . *LCC-Demons: a robust and accurate symmetric diffeomorp. registr. algor..* NeuroImage 2013

Mosaïques *in vivo*

Prétraitement : translations seulement

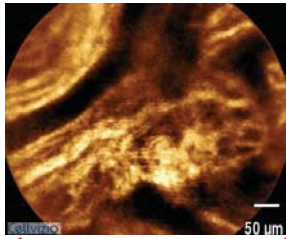


240 microns

Petit intestin

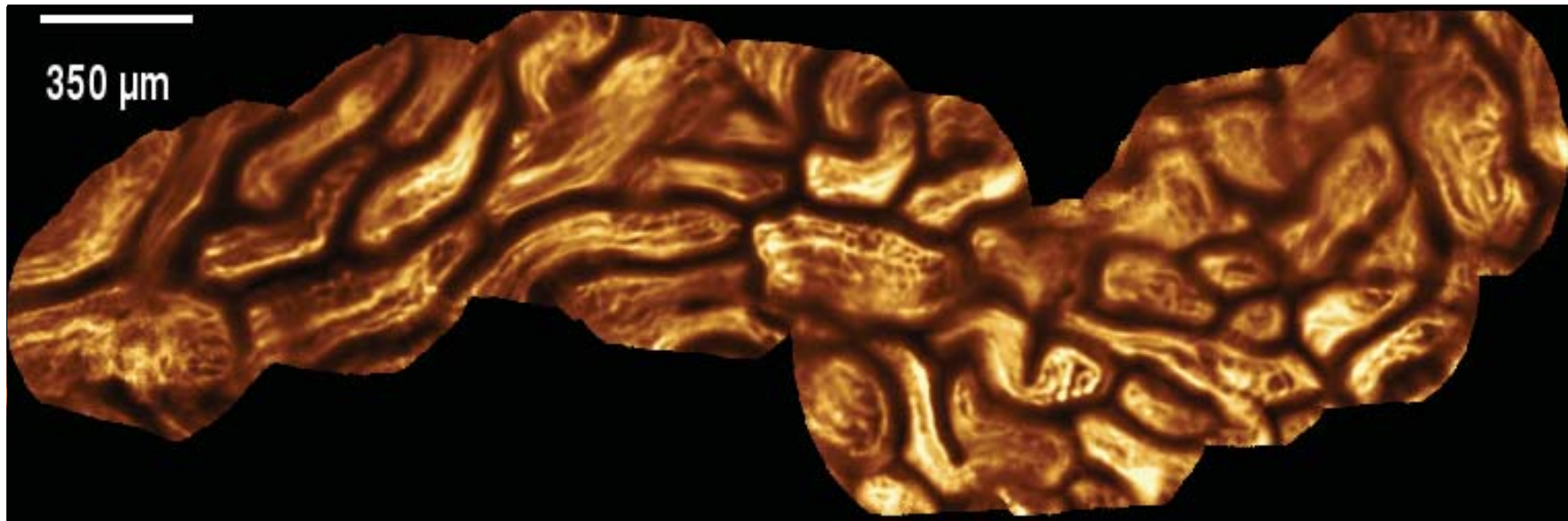


Mosaïques *in vivo*



240 microns

Post-traitement: rotations et déformations



3600 microns

Petit intestin

T. Vercauteren, A. Perchant, X. Pennec, G. Malandain, N. Ayache, *Robust Mosaicing with Correction of Motion Distortions and Tissue Deformation for In Vivo Fibered Microscopy*. *Medical Image Analysis*, 2006.

Nicholas Ayache
3 juin 2014

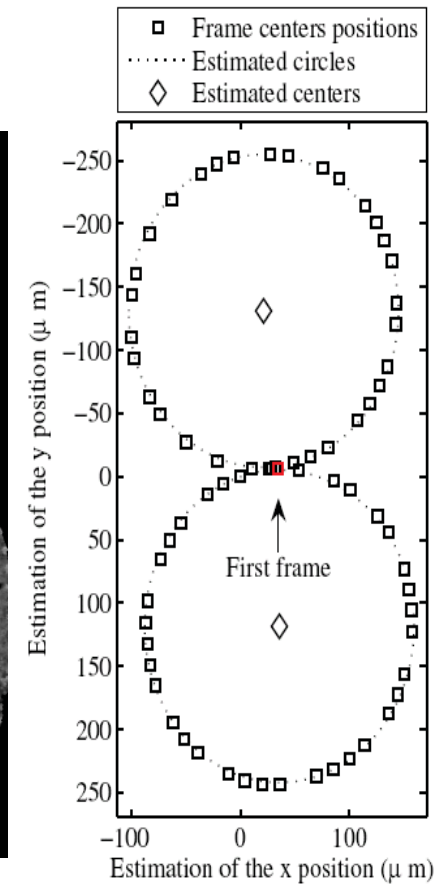
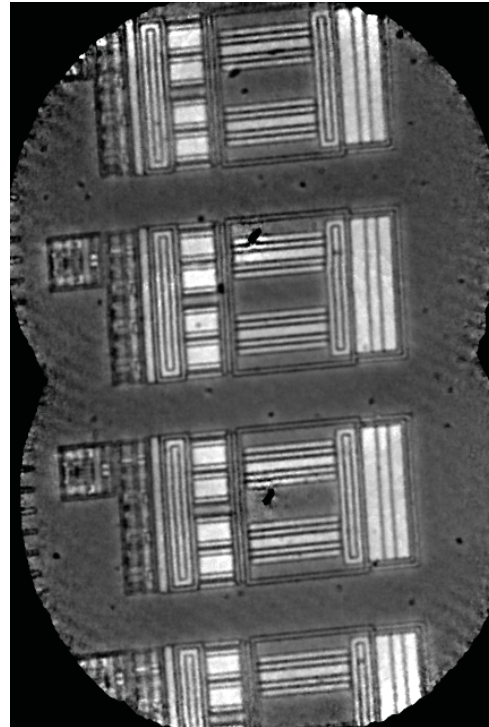
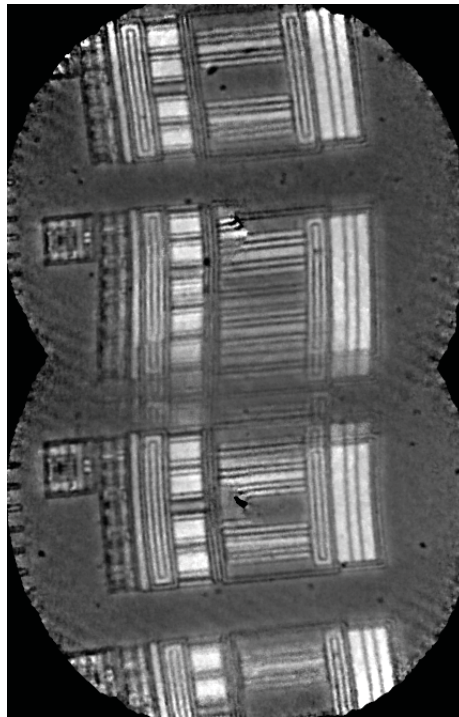
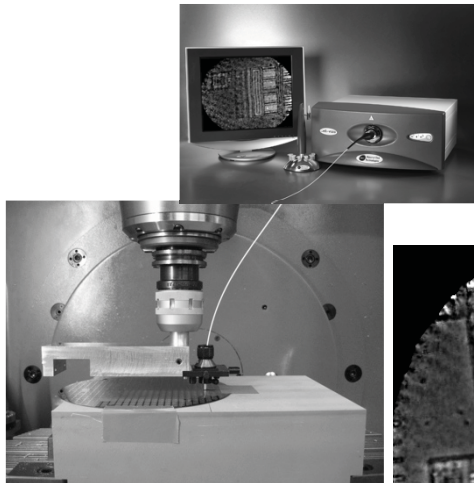
Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



COLLÈGE
DE FRANCE 42
—1530—

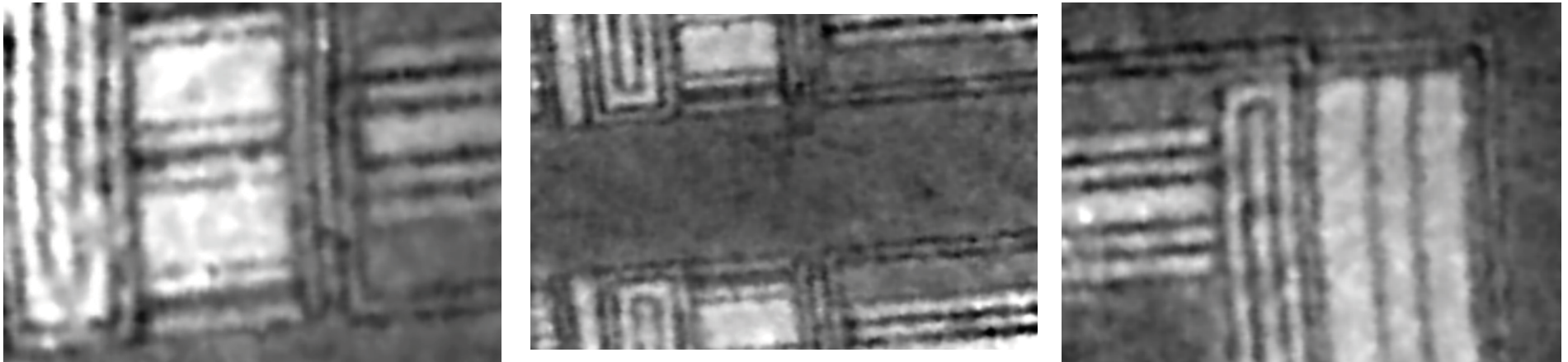
Validation expérimentale

F. Lacombe

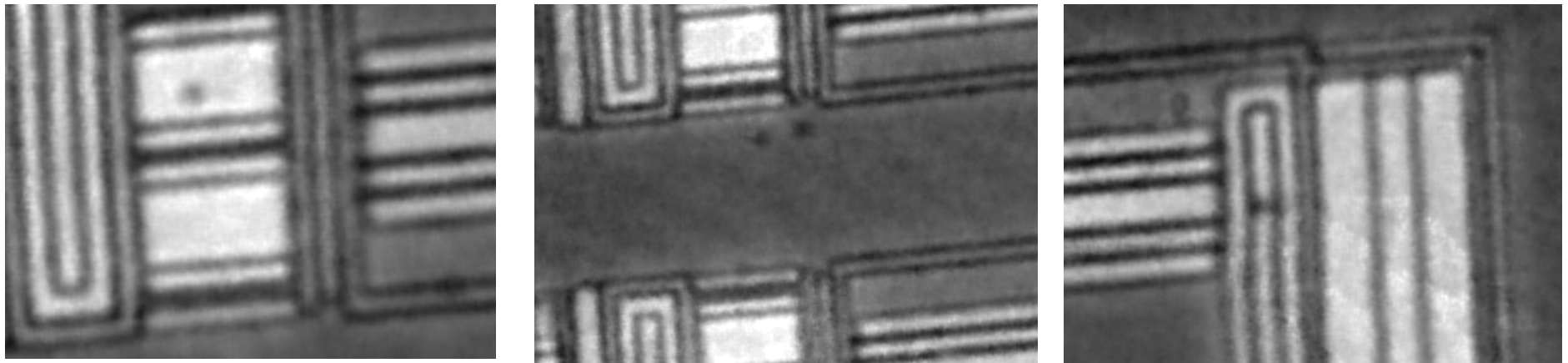


Super-resolution!

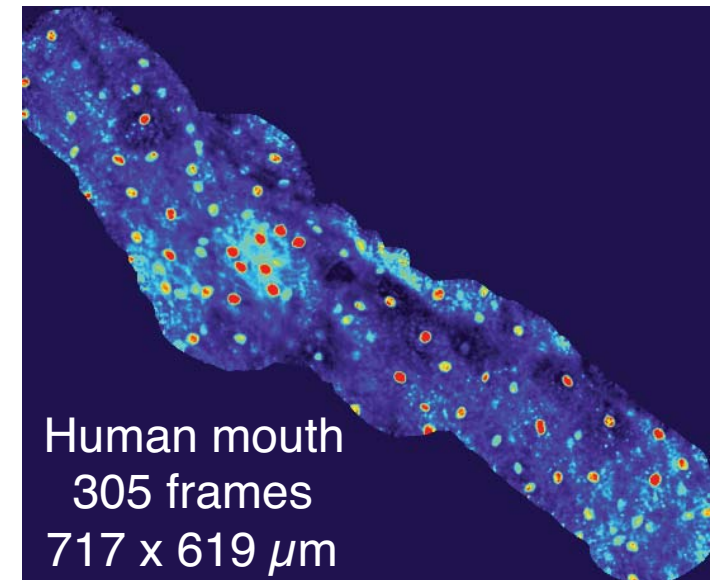
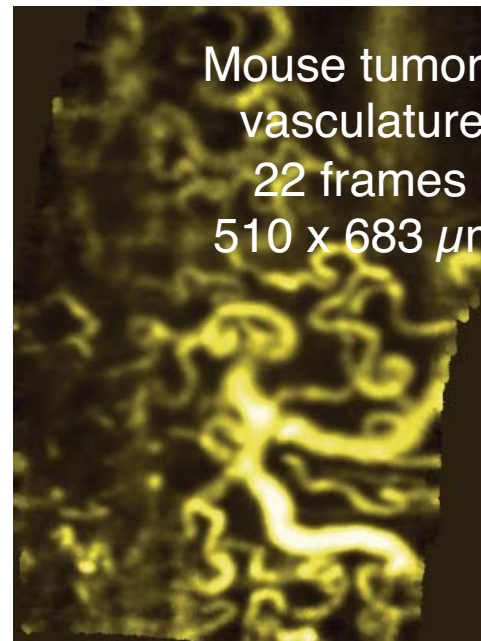
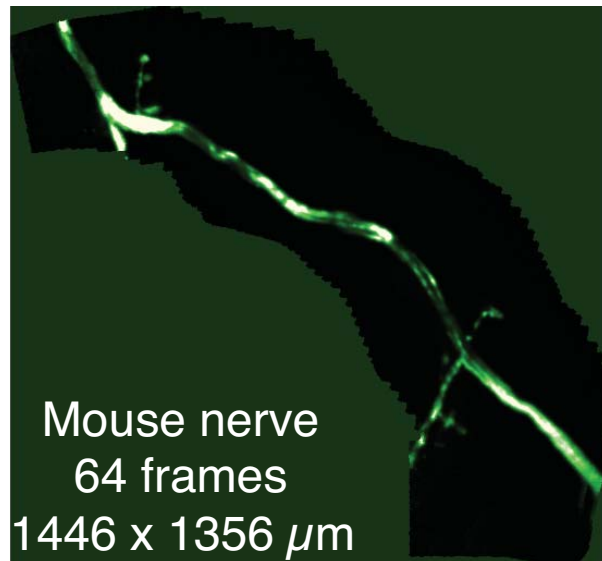
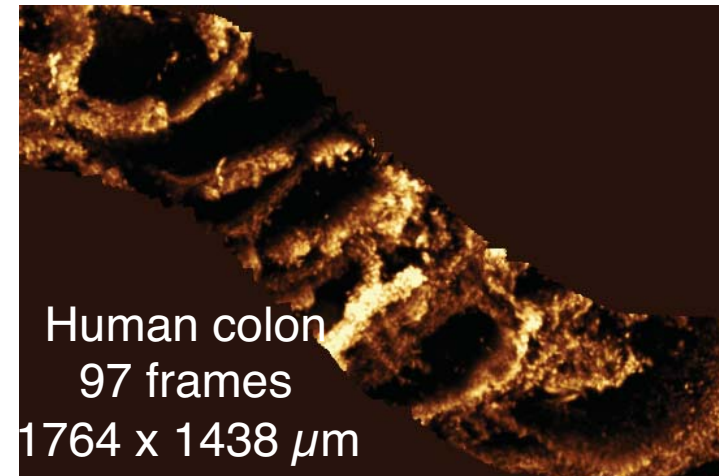
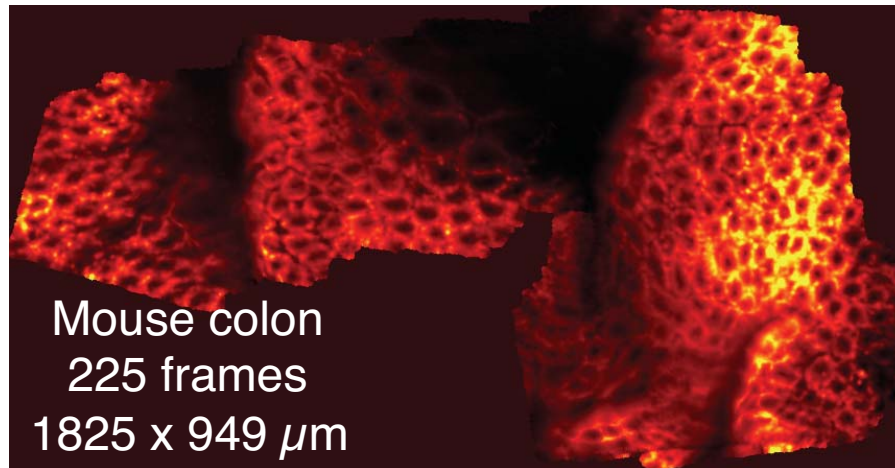
Zoom images originales



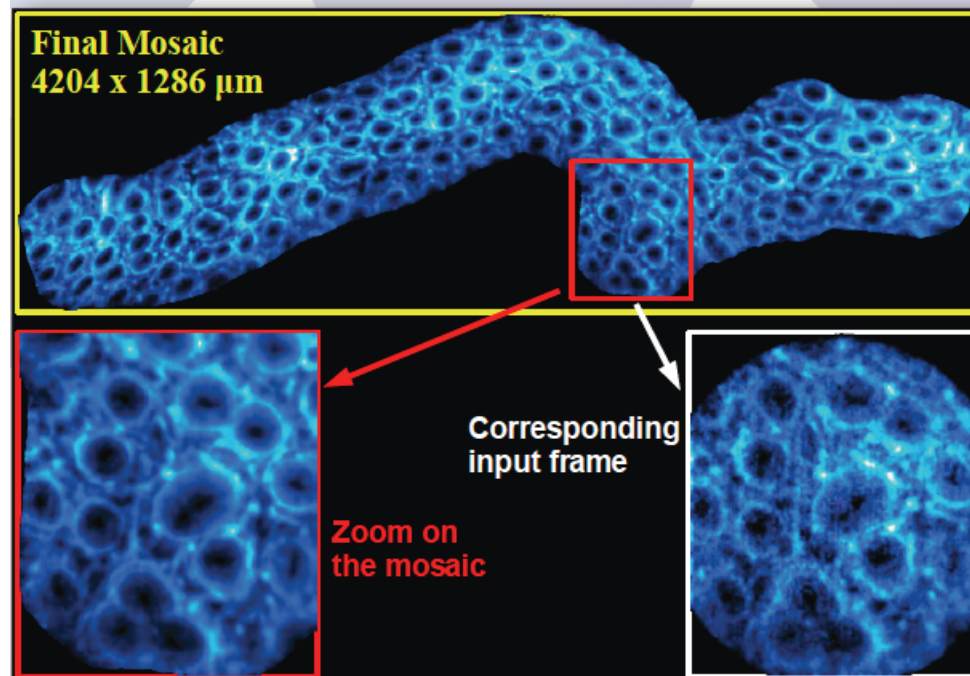
Zoom mosaïque (~10 mesures/pixel)



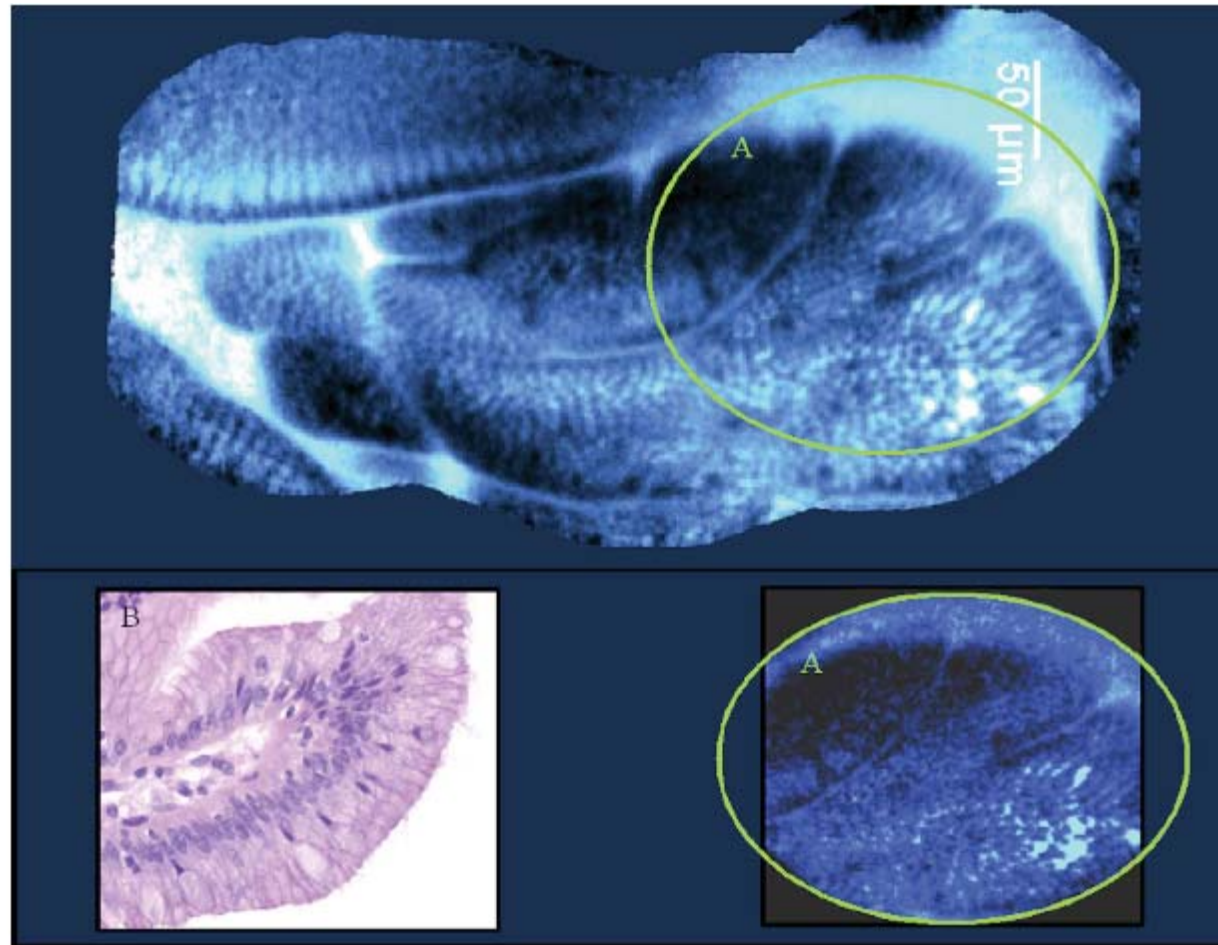
Mosaïques



Super-résolution



Mosaïques intestin



Gastrite chronique et métaplasie intestinale

Valentin Becker, MD, Tom Vercauteren, Claus Hann von Weyhern, MD, Christian Prinz, MD,
Roland M. Schmid, MD, Alexander Meining, MD

Volume 66, No. 5 : 2007 GASTROINTESTINAL ENDOSCOPY

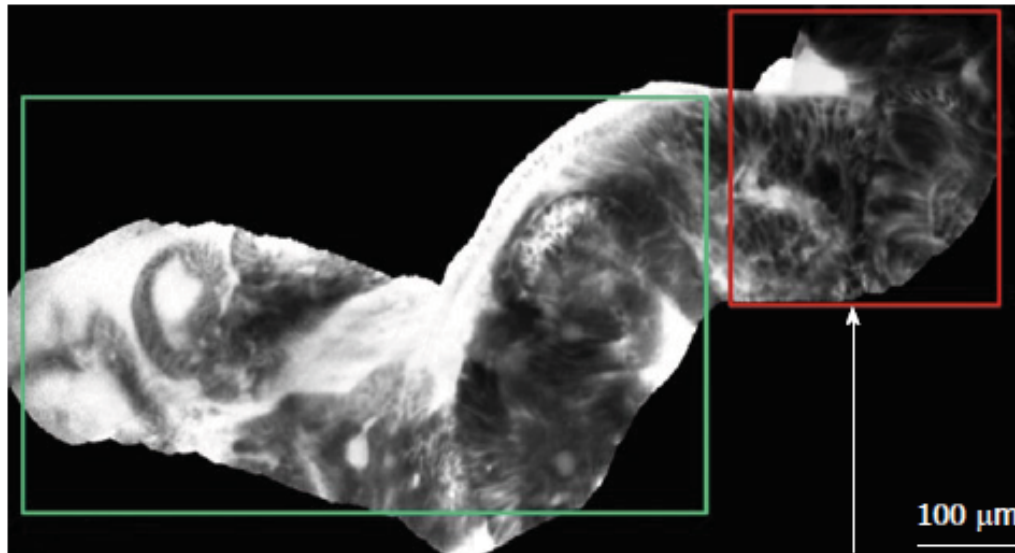
Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique

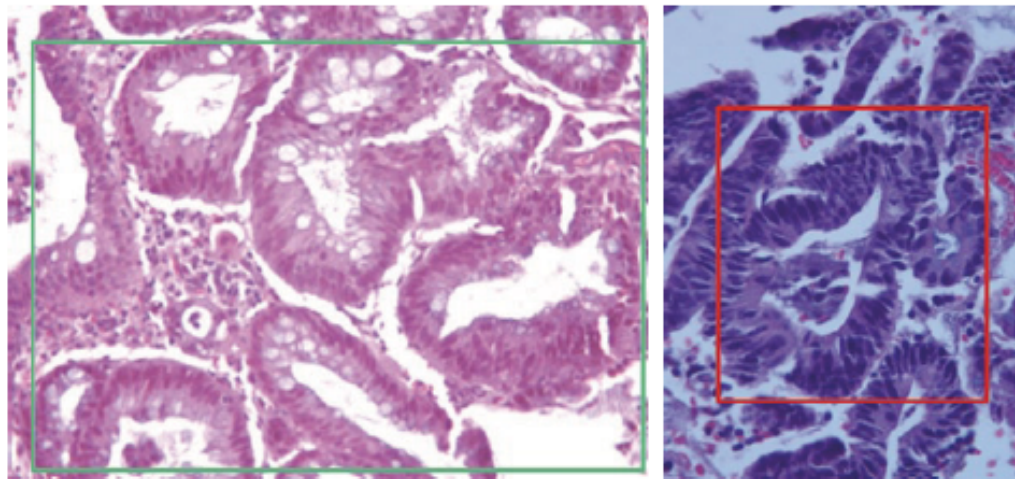


COLLÈGE
DE FRANCE 47
—1530—

Mosaïques colon



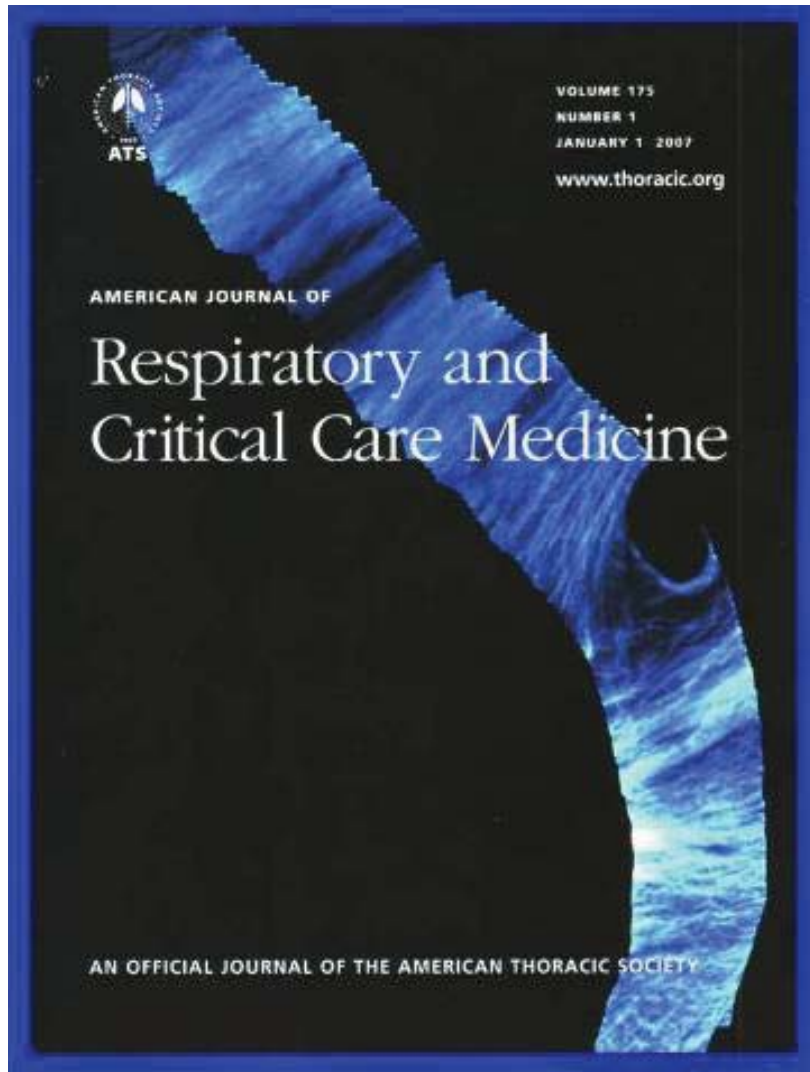
Rectocolite
hémorragique
+
dysplasie
de bas grade



Giovanni D De Palma

World J Gastroenterol 2011 February 7; 17(5):

Mosaïques Bronches



L Thiberville, S Moreno-Swirc,
T Vercauteren,
E Peltier, C Cavé, G Bourg
Heckly.

**In Vivo Imaging of the Bronchial
Wall Microstructure Using
Fibred Confocal Fluorescence
Microscopy.**

Am. J. Respir. Crit. Care Med.,
175(1):22-31, January 2007

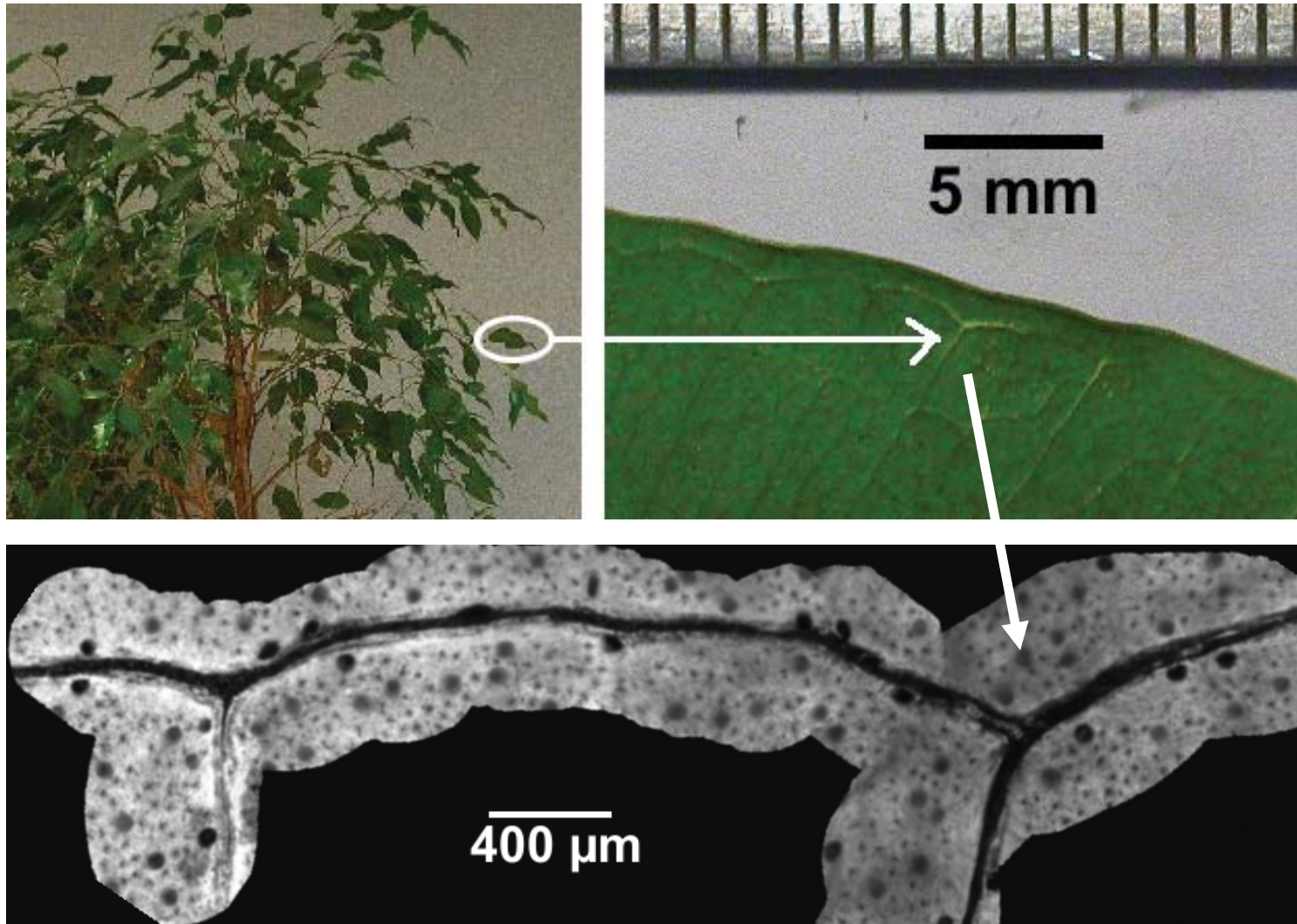
Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



COLLÈGE
DE FRANCE 49
— 1530 —

Multi-échelle : du micro au méso



Endomicroscopie computationnelle

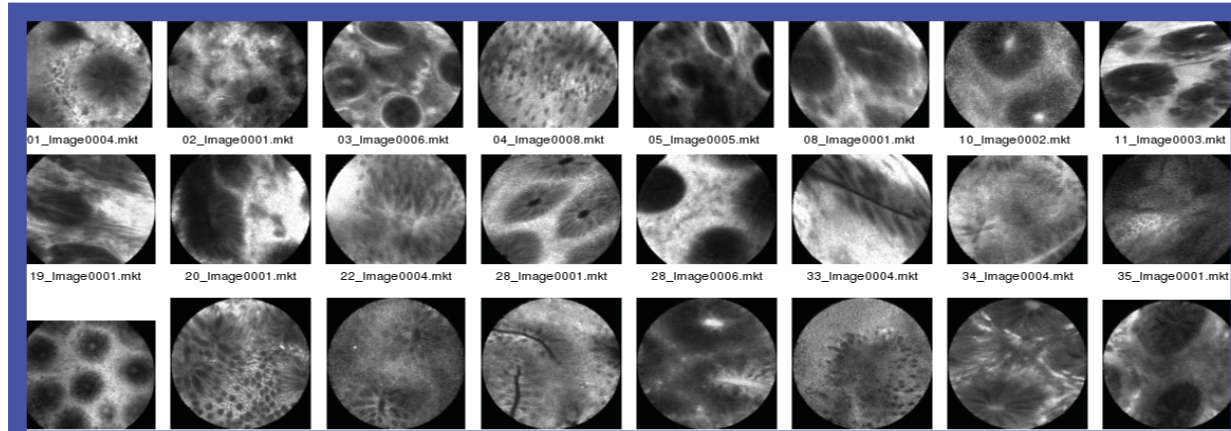
des images

- plus correctes
- plus riches
- plus grandes
- plus lisibles
- toujours plus...

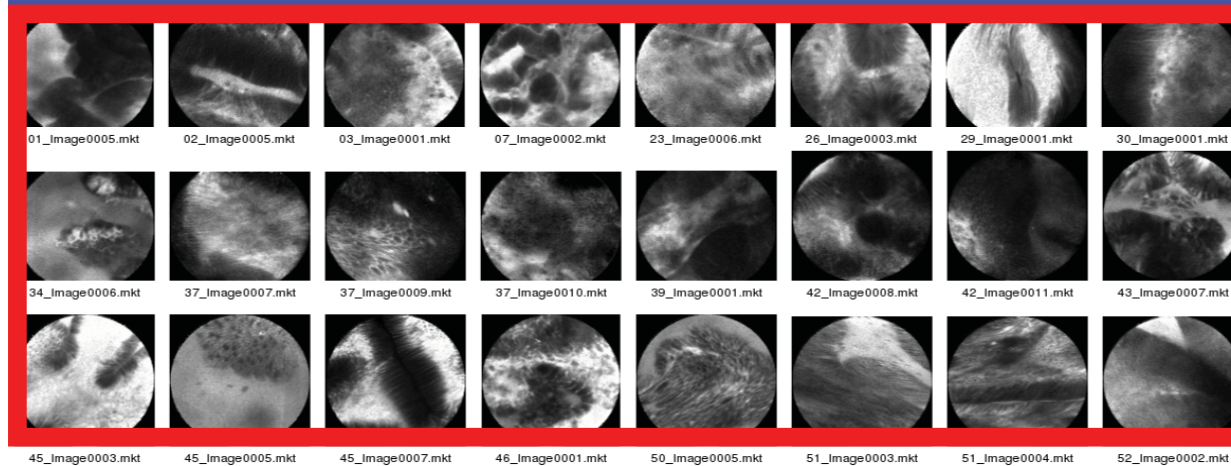
Diagnostic

Avec MKT &
Mayo Clinic,
USA

Non néoplasique



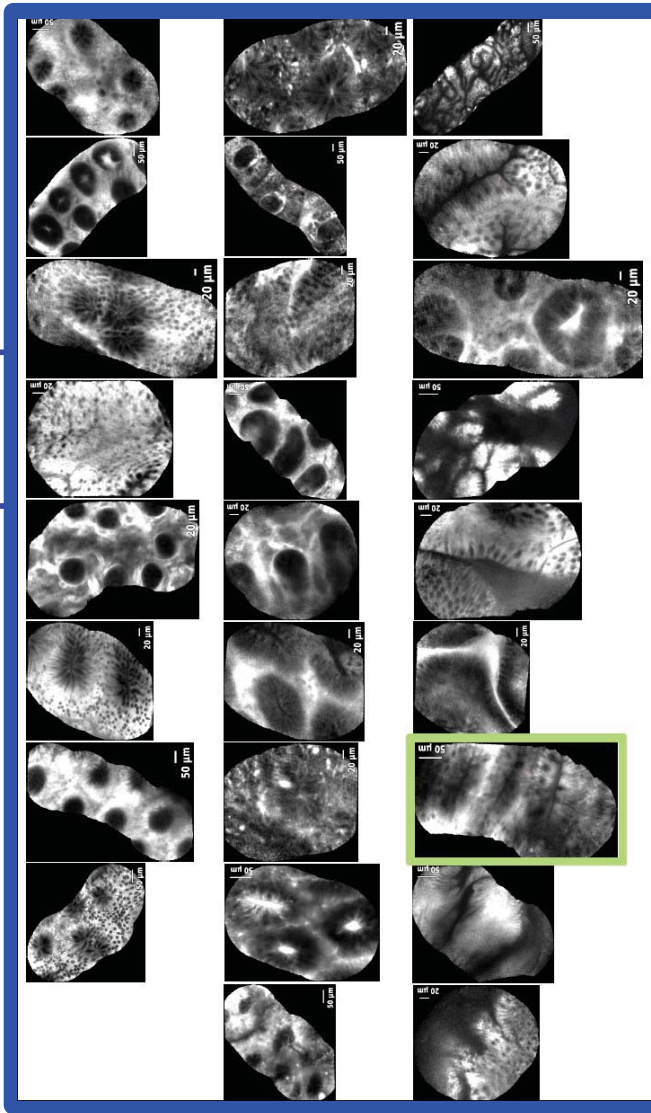
Néoplasique



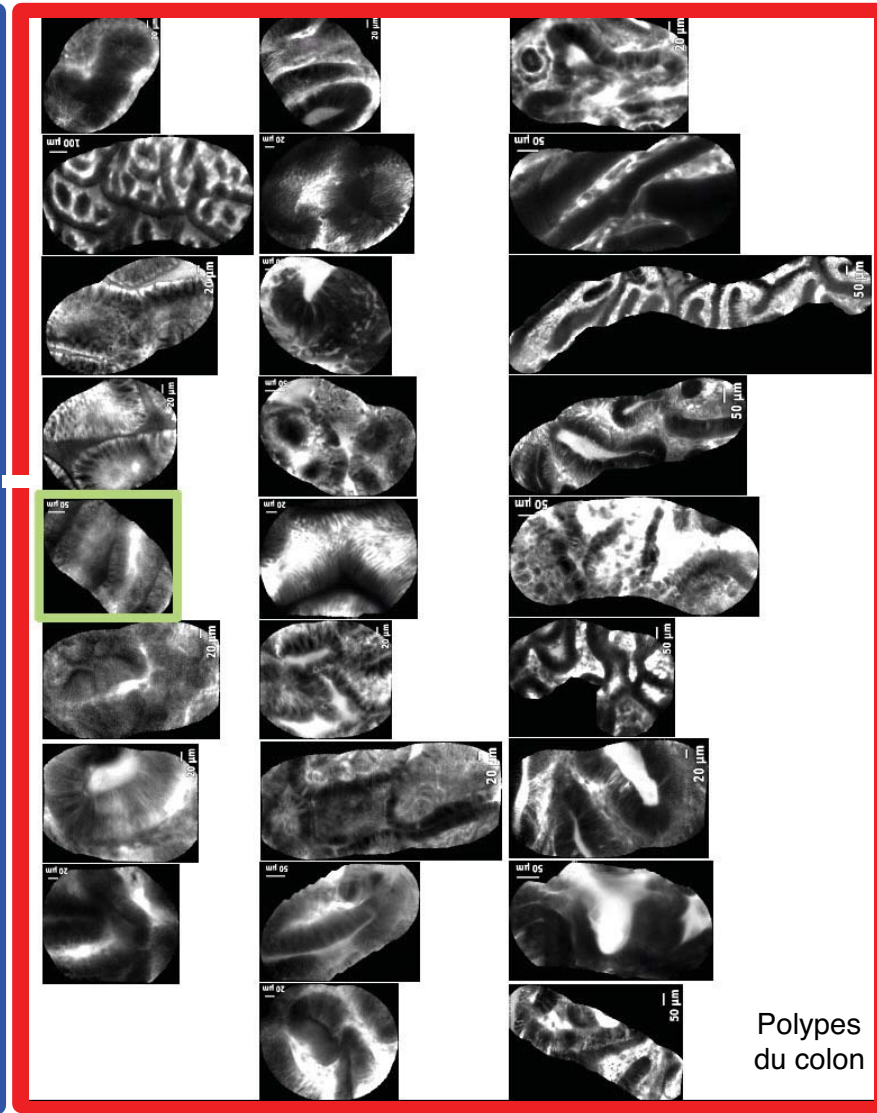
Polypes
du colon

Diagnostic

Non Néoplasique

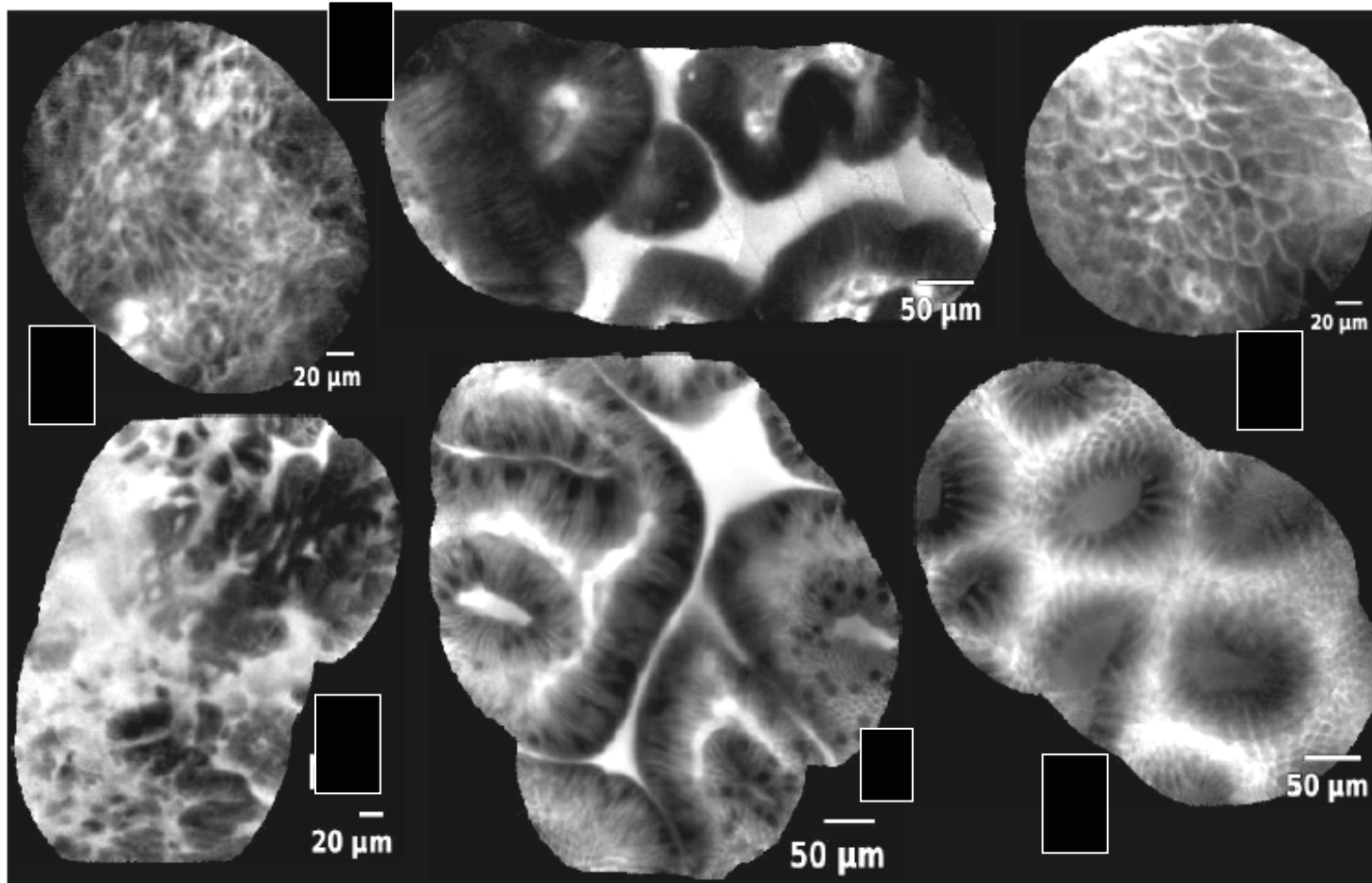


Néoplasique



Polypes
du colon

Endobrachyœsophage



B: bénin (i.e. non-néoplasique), N: néoplasique

Atlas intelligent

Images et expertises

nouvelle image

B André, T Vercauteren, M B. Wallace, A M. Buchner, N Ayache. *Endoscopic video retrieval using mosaicing and visual words.* Medical Image Analysis 2011

Nicholas Ayache
3 juin 2014

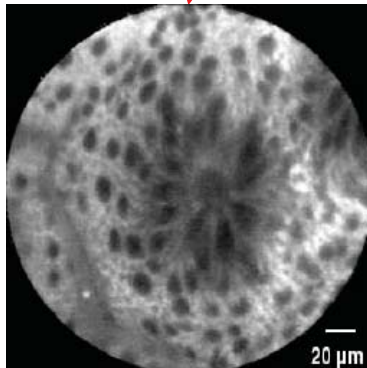
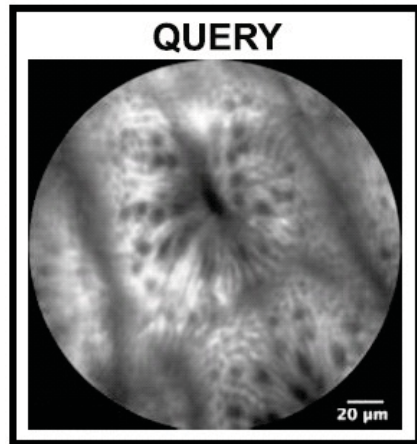
Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique




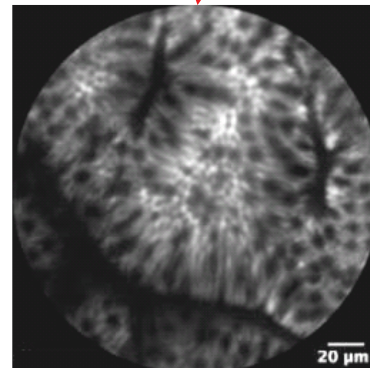
COLLÈGE DE FRANCE 55
— 1530 —


Atlas Intelligent

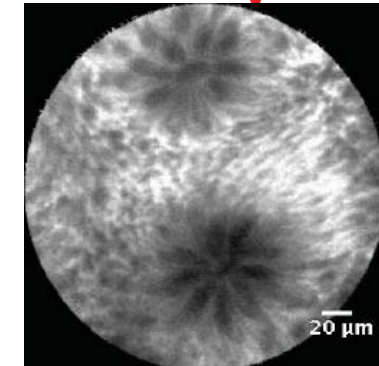
Ouvrir un livre d'exemples aux bonnes pages




 **Pathology:** Purely Benign
Semantic features: Round crypts, Medium lumen, Normal Goblet Cells



 **Pathology:** Hyperplastic
Semantic features: Round crypts, Star-shaped openings, Normal Goblet Cells



 **Pathology:** Purely Benign
Semantic features: Round crypts, Small lumen, Normal Goblet Cells

American Society for Gastrointestinal Endoscopy (ASGE)

Recommande dès 2011 de développer :

Rex et al., GIE 2011

« ...real time pop up image atlases to assist endoscopists with interpretation as they are performing the examination... »

http://www.asge.org/uploadedFiles/Publications_and_Products/Polyp_PIVI_FINAL.pdf

Indexation des images

- Les images sont décrites par une **signature numérique** globale composée de **mots visuels** construits à partir de **descripteurs locaux** de l'image
- Ces descripteurs locaux doivent être **invariants** par des transformations de l'image qui ne modifient pas son interprétation clinique (translation, rotation, variations affines de l'intensité)
- Deux images ayant des **signatures voisines** sont visuellement similaires et ont souvent la même interprétation clinique

Indexation : principales étapes

1. Descripteurs locaux
2. Mots visuels
3. Signatures

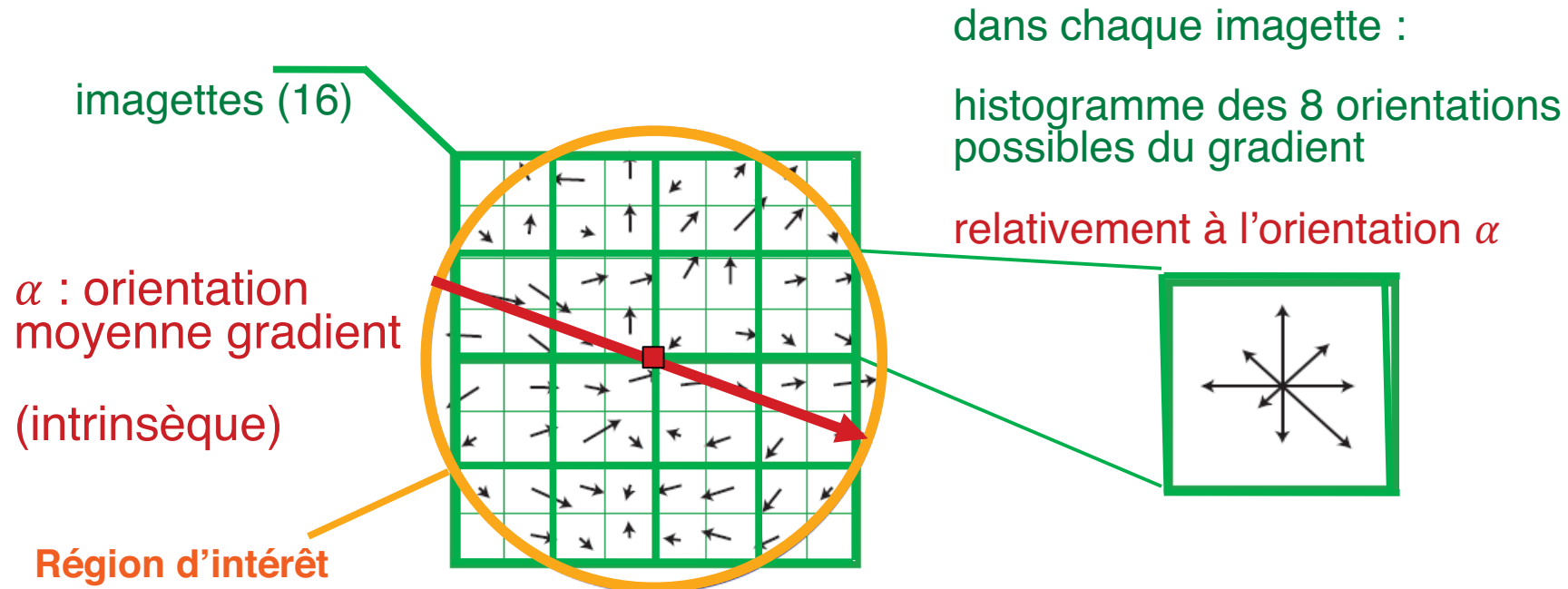
B André et al. IEEE TMI 2012



1. Descripteurs locaux : *SIFT*

D. Lowe, IJCV 2004
24 000 citations (2014)

Scale-invariant feature transform



16 x 8 = 128 valeurs regroupées dans un vecteur SIFT

- **Invariance**

- par translation, rotation de l'image
- par transformation affine de l'intensité

2 . Mots visuels

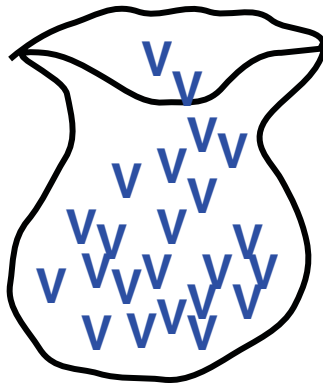
Ensemble
d'apprentissage :
N images



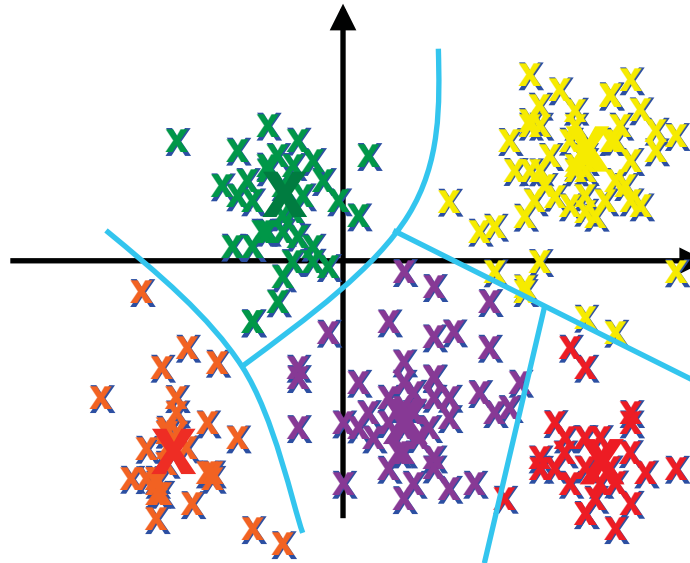
(W_1, \dots, W_K)

K mots visuels
(typ. K=100)

*toutes les
images
dans un sac*



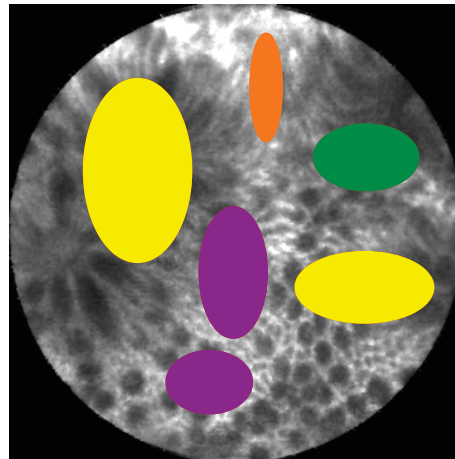
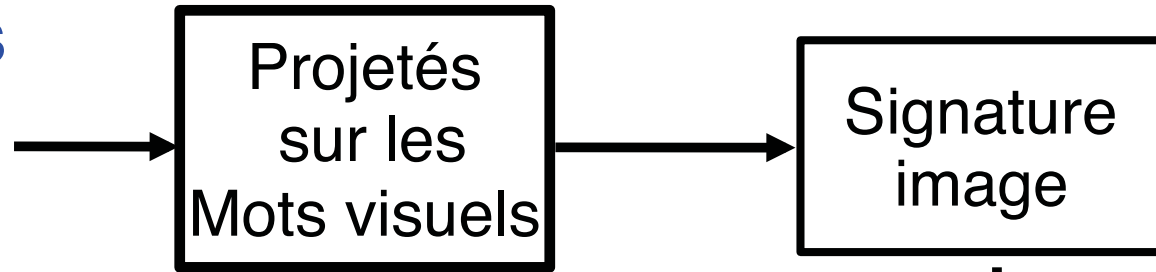
1 représentant par amas :
mot visuel



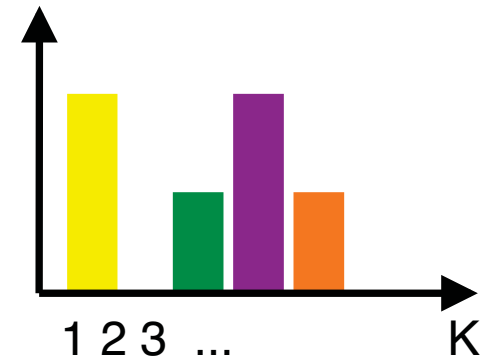
espace des
descripteurs
(SIFT)

3 .Signatures

M descripteurs locaux de l'image

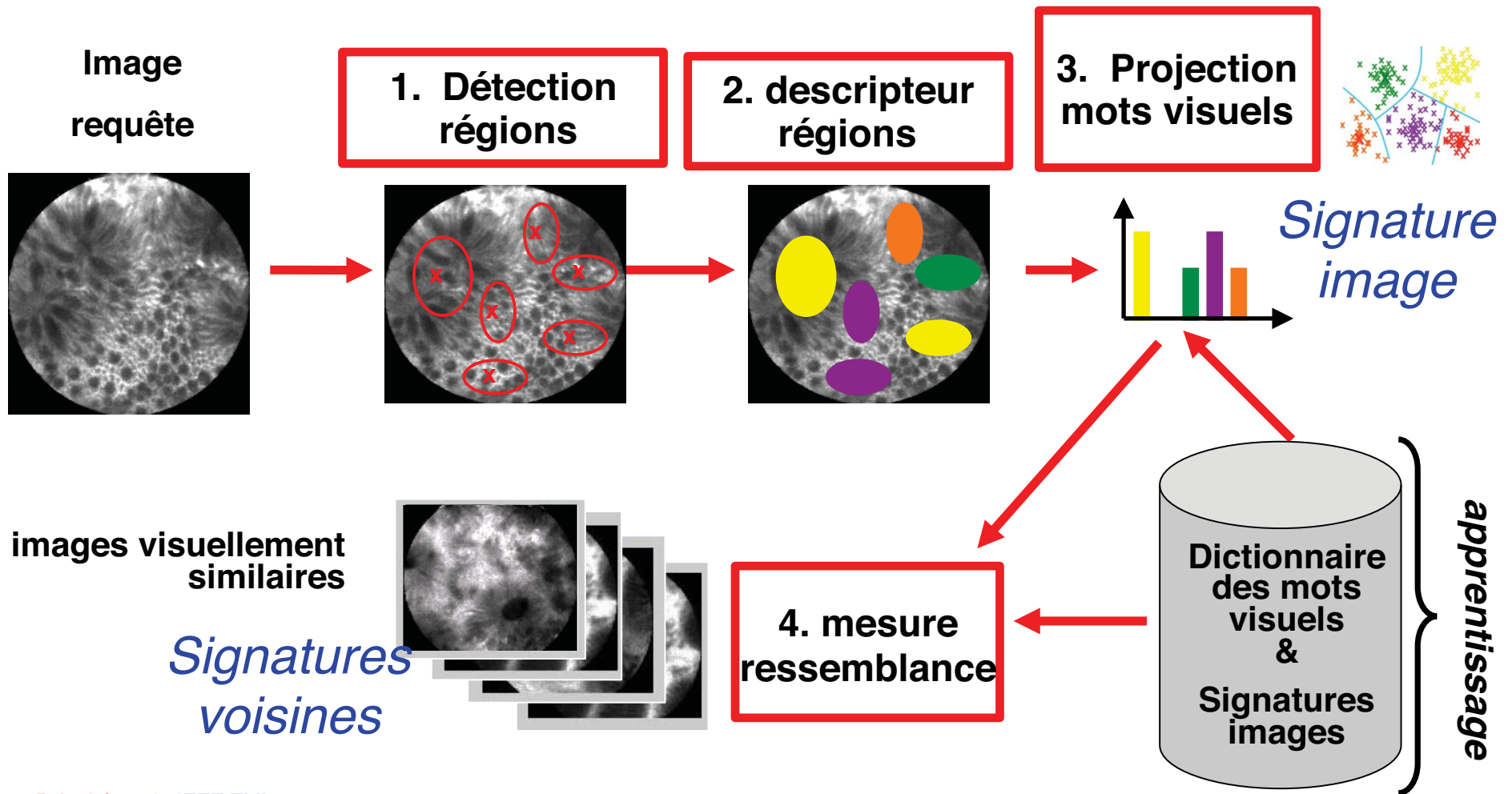


Nombre d'occurrences



Signature = histogramme des mots visuels

Recherche d'images par le contenu



B André et al. IEEE TMI 2012

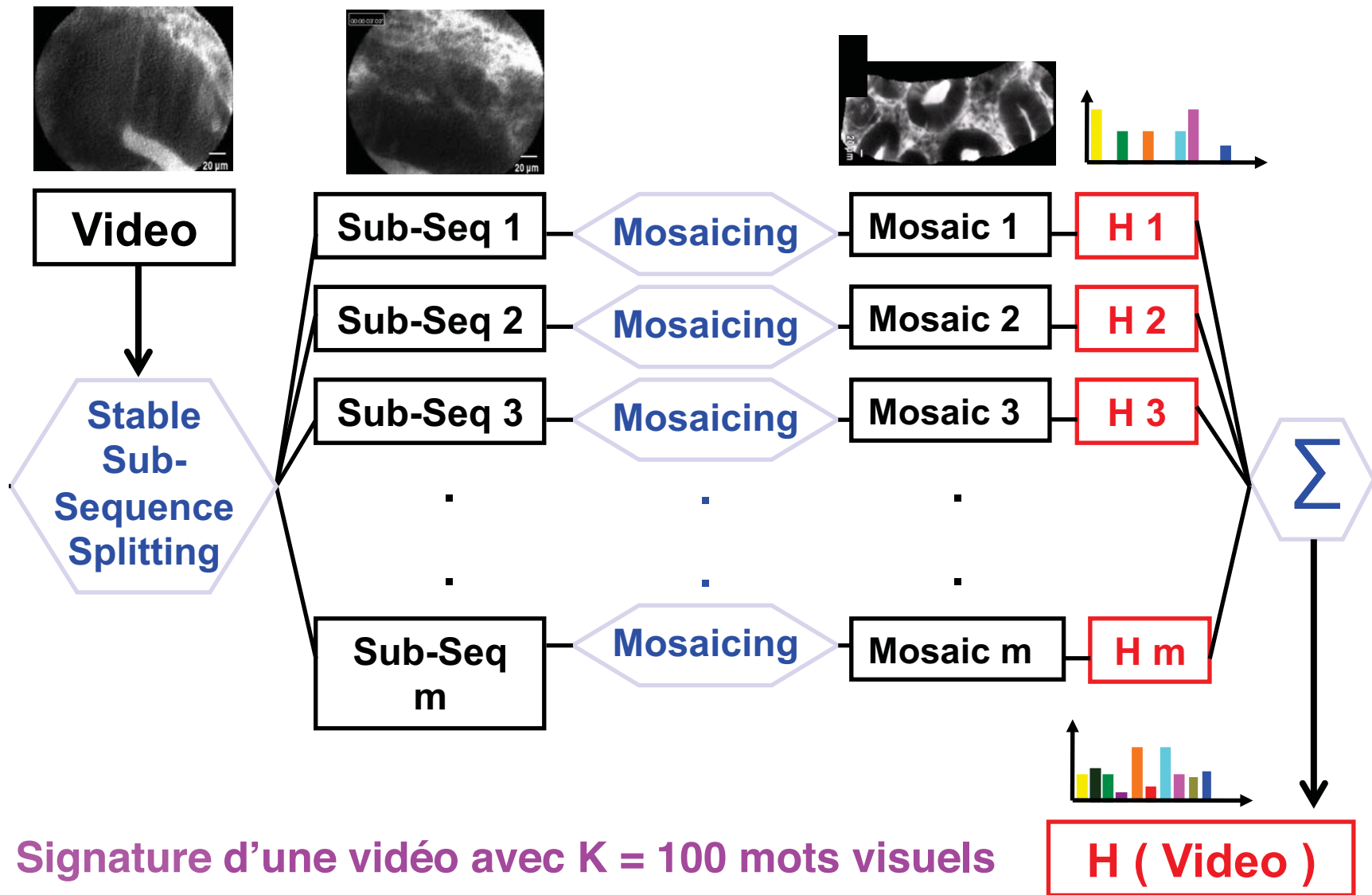
Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



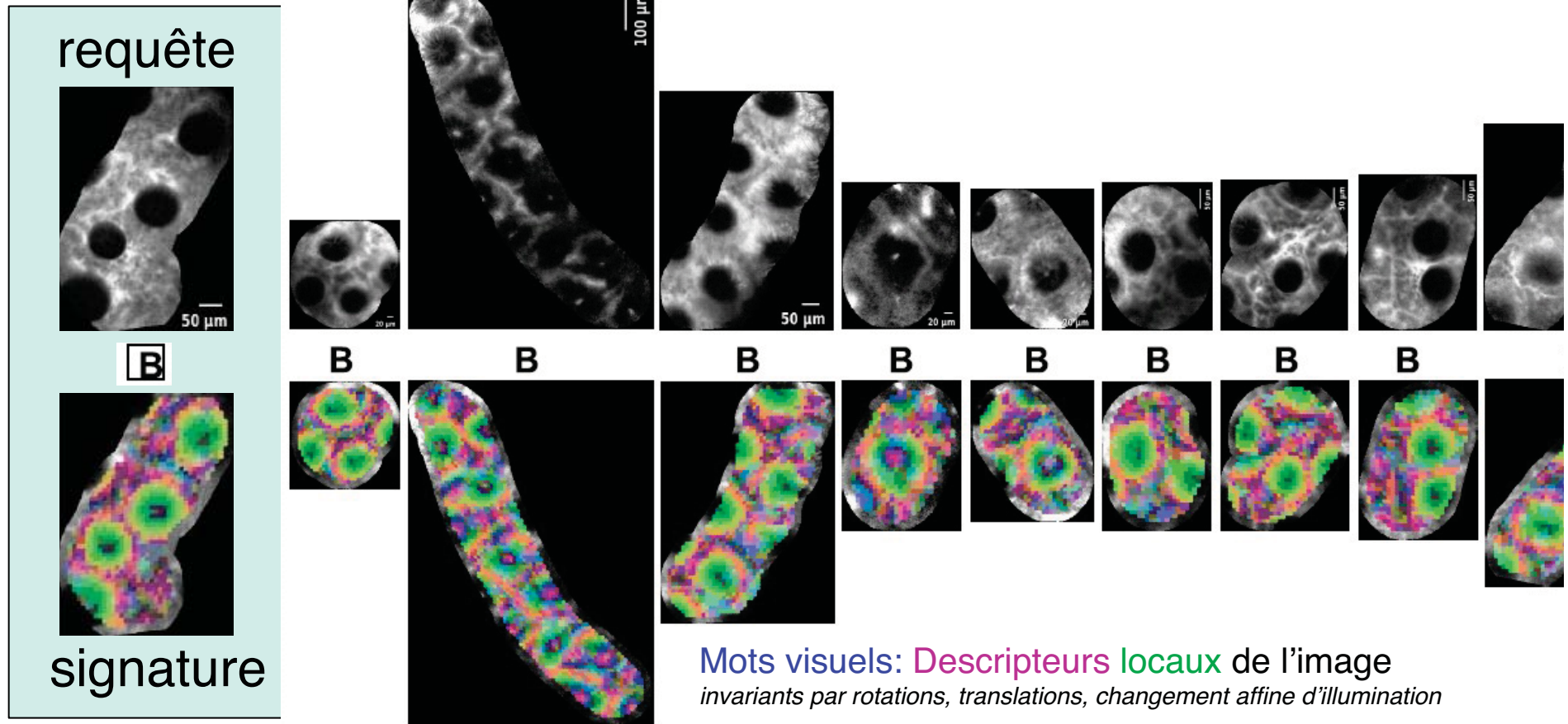
COLLÈGE DE FRANCE 63
— 1530 —

Indexation de vidéos



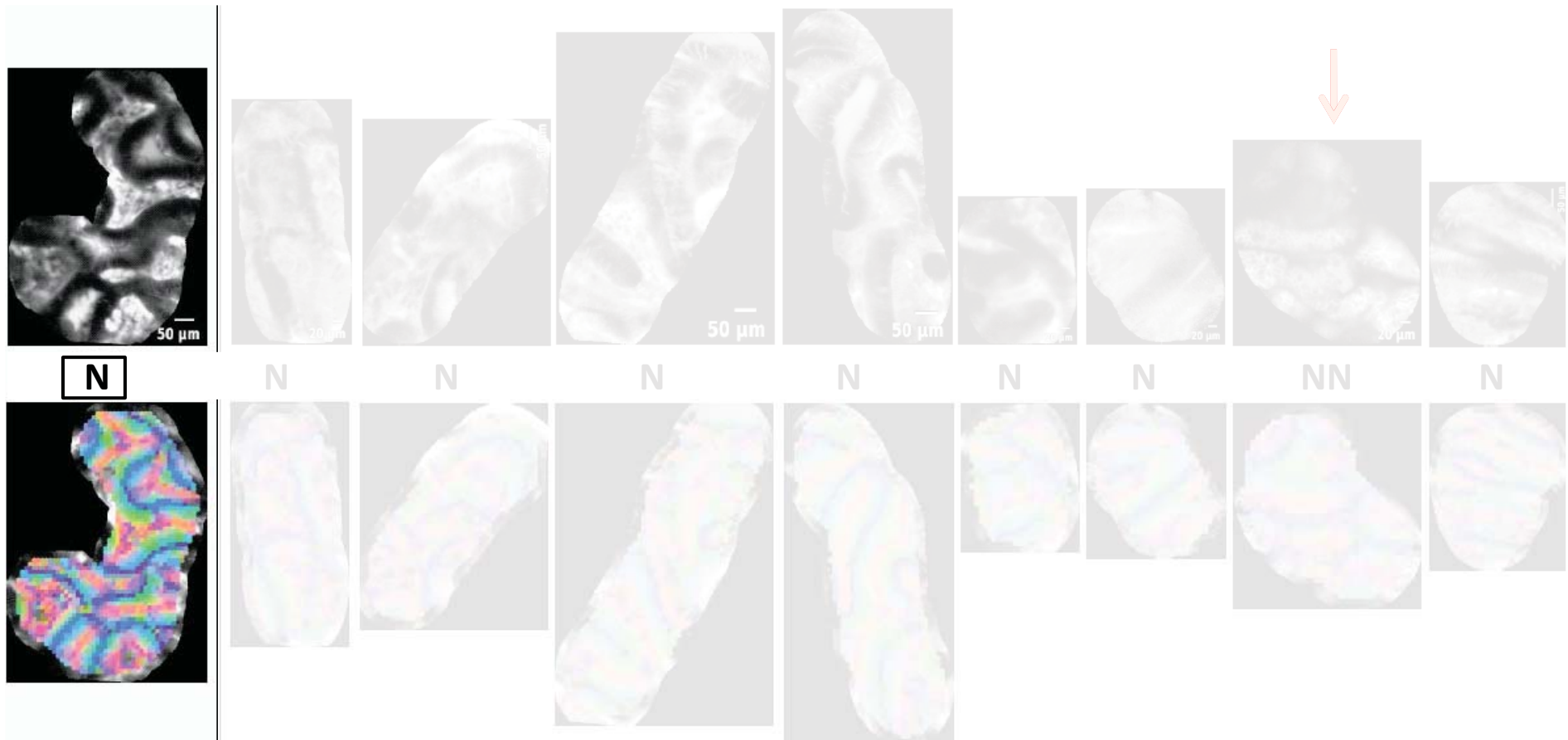
Signature d'une vidéo avec $K = 100$ mots visuels

Quelques exemples



Quelques exemples

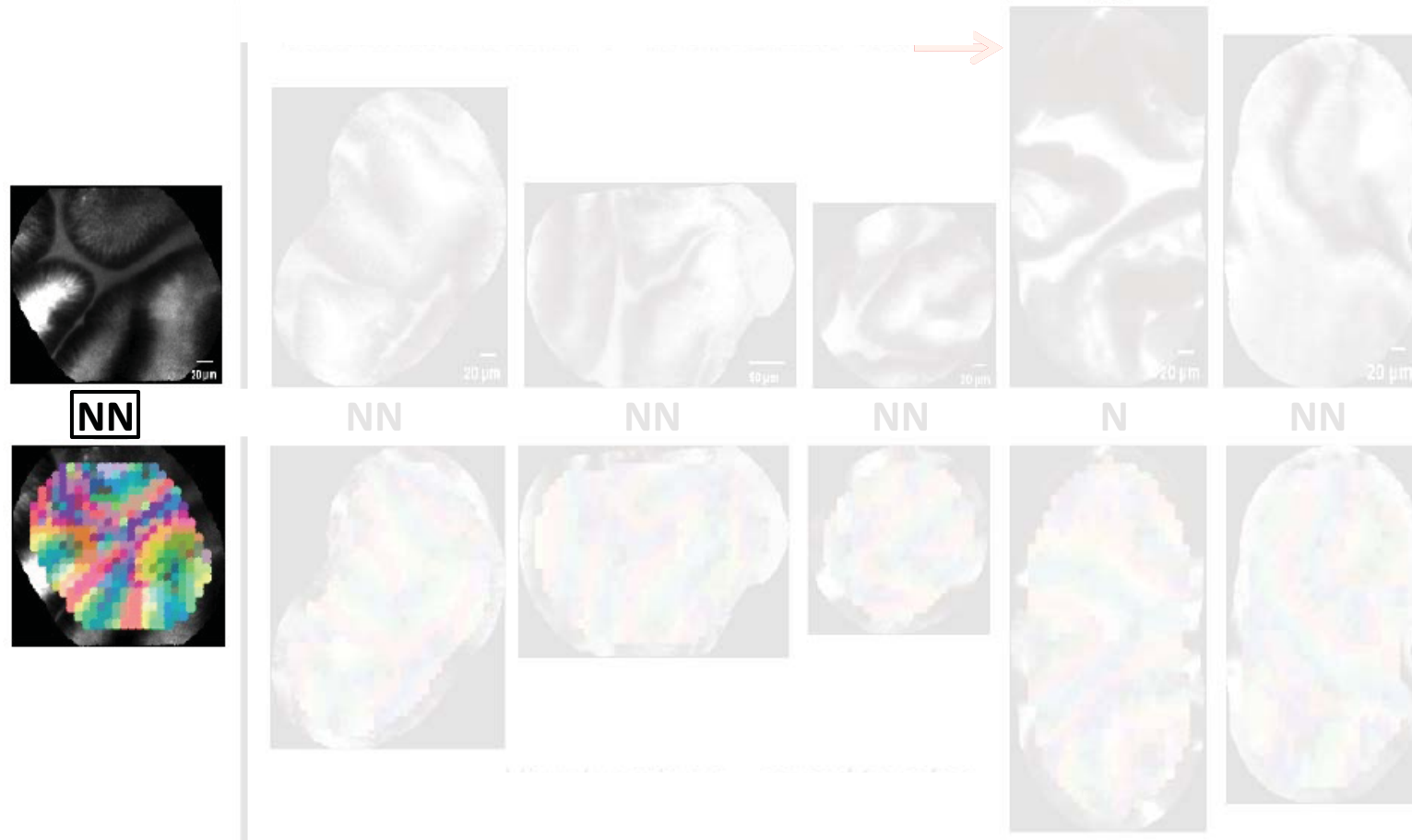
Closest images on Colonic Polyps (NN: Non-Neoplastic, N: Neoplastic)



"Colon" database : 66 patients, 118 videos (35 non-neoplastic, 83 neoplastic)

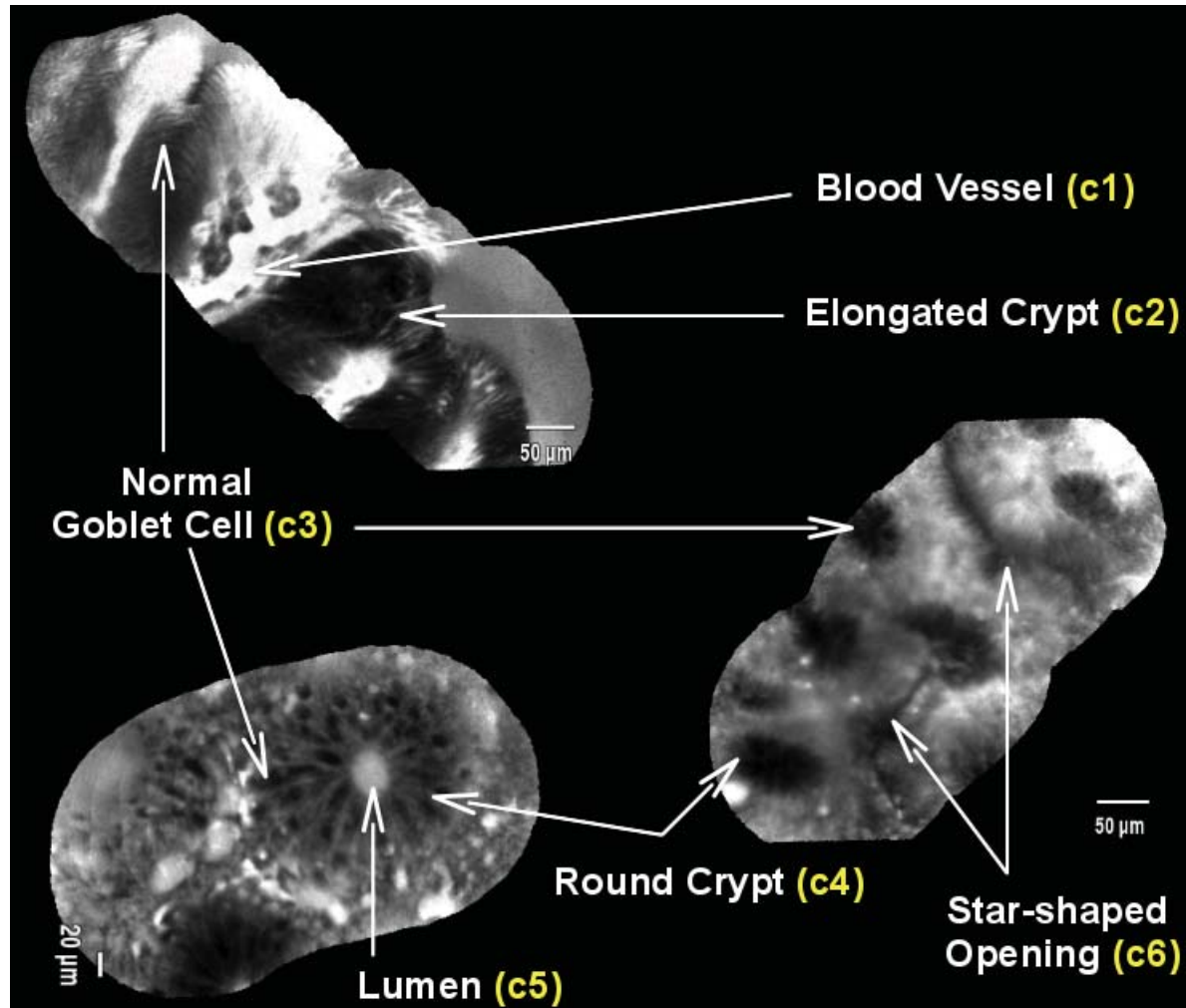
Quelques exemples

Closest images on Barrett's Esophagus (**NN**: Non-Neoplastic, **N**: Neoplastic)

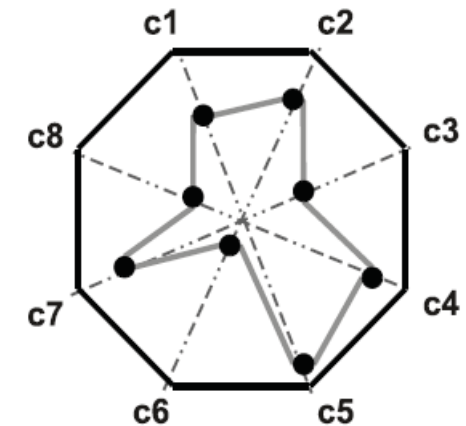


Signature sémantique

Traduire les mots visuels en **indices cliniques**



Graphique en étoile (*star-plot*) : probabilité de présence des **indices cliniques** en présence des *mots visuels* de l'image



B André, Vercauteren, Wallace, Buchner, Ayache. *Learning Semantic and Visual Similarity for Endomicroscopy Video Retrieval*. IEEE TMI 2012

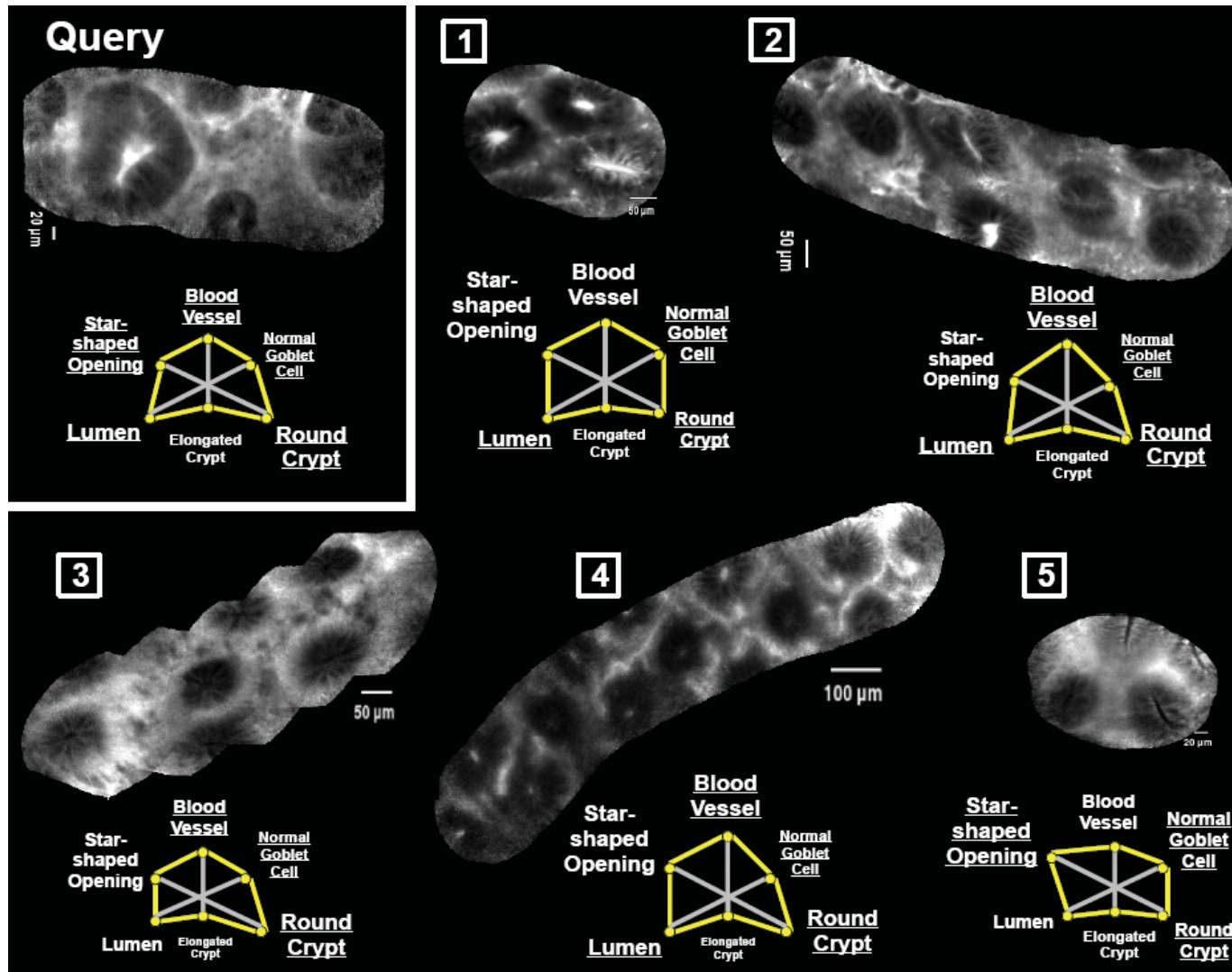
Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



COLLÈGE DE FRANCE 68
— 1530 —

Signature sémantique

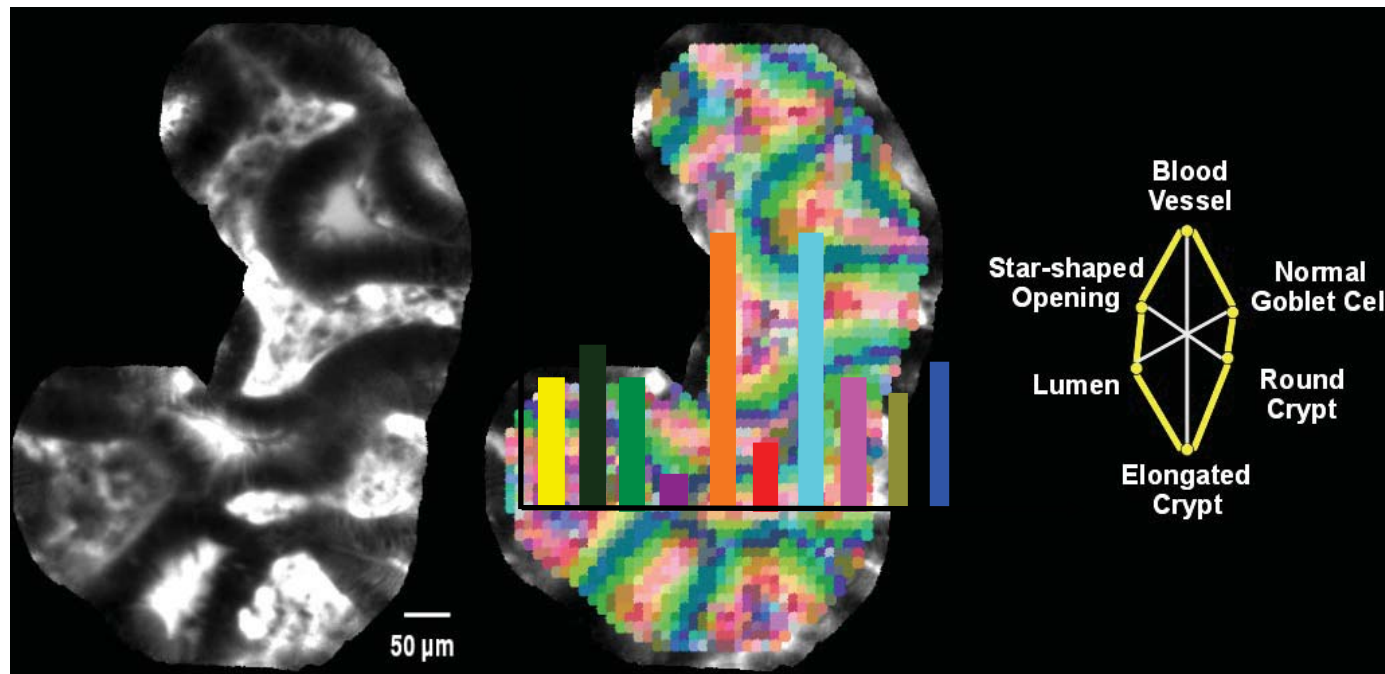


Représentation multiple des images

tableau
d'intensités
(pixels)

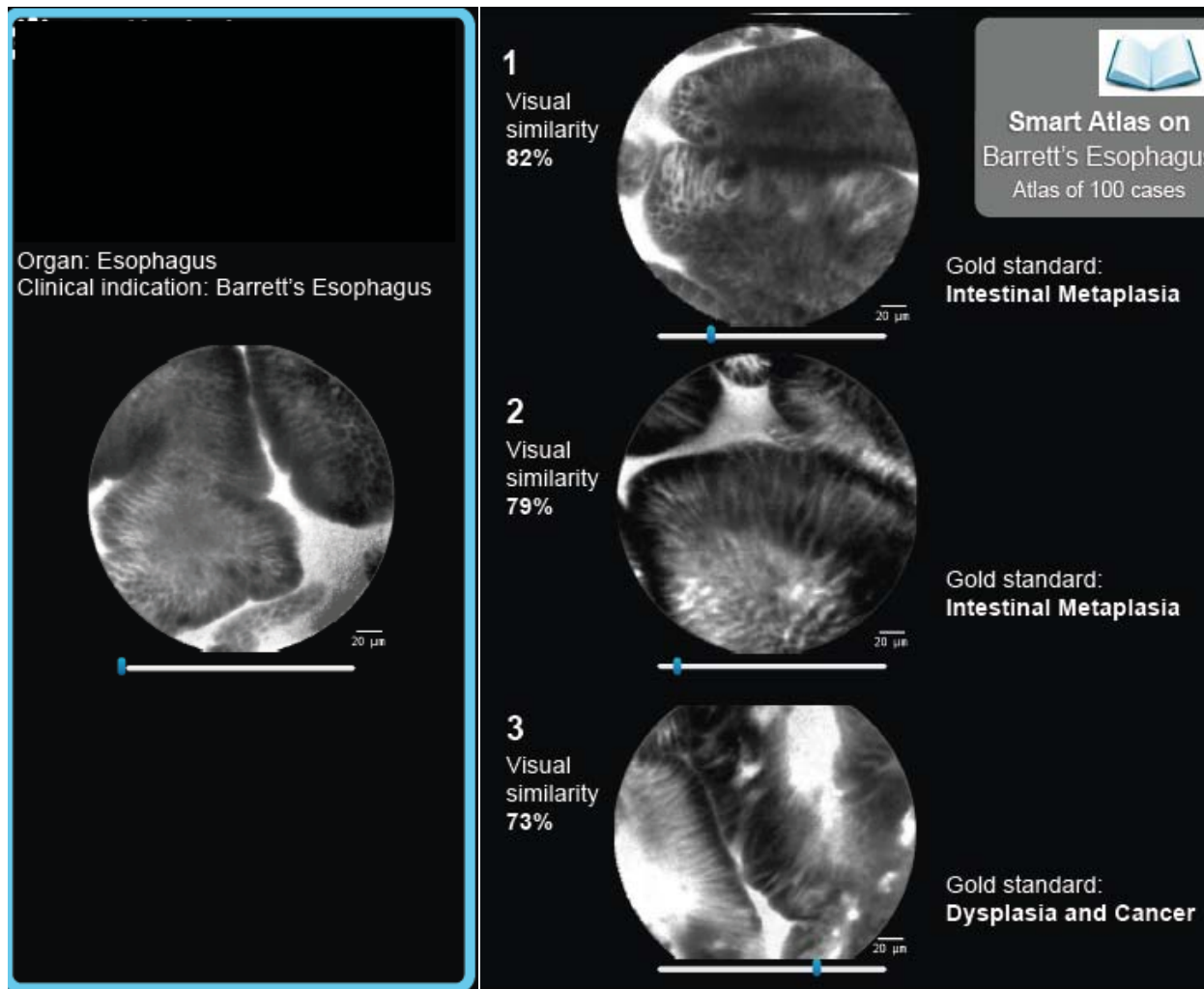
Signature
visuelle

signature
sémantique



Polype néoplasique du colon

Interface intelligent



Siwa



Oracle
Amon

N. Gaudin
M. Kohandani Tafreshi
F. Lacombe
A. Osdoit
X. Pennec
G. Schmid
I. Vidal-Migallon, etc.

Endomicroscopie computationnelle

des images

- plus correctes
- plus riches
- plus grandes
- plus lisibles
- toujours plus...

Toujours plus

- Entraînement
- Réalité augmentée
- Robotique
- Télédiagnostic
- ...



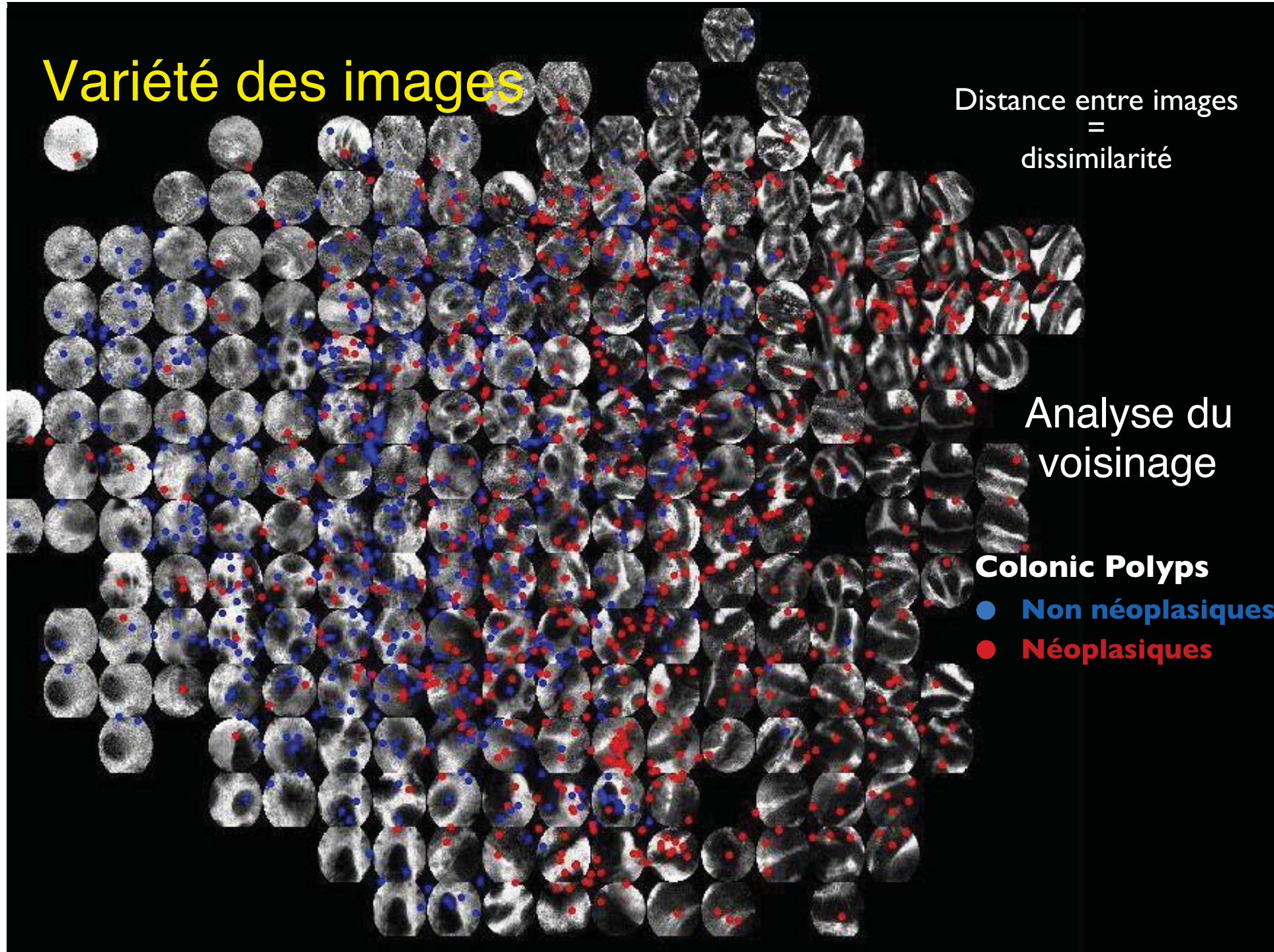
Variété des images

Distance entre images
=
dissimilarité

Analyse du
voisinage

Colonic Polyps

- **Non néoplasiques**
- **Néoplasiques**



Quantifier la difficulté du diagnostic

10 patients
10% Benign/Hyperplastic
20% Adenomatous
70% Adenocarcinoma

Quantifier la dispersion des classes dans un voisinage de l'image

The screenshot shows a medical diagnostic interface. On the left is a circular pCLE image of the esophagus with a 20 µm scale bar and the Cellvizio logo. On the right is a control panel with a difficulty level selector set to 'Expert level', a 'Back to menu' button, and the text 'Esophagus'. Below this is a text block: 'All the sequences presented in this section were acquired with probe-based Confocal Laser Endomicroscopy (pCLE) using the GastroFlex type UHD probe on patients with suspected Barrett's Esophagus.' A progress indicator shows '1/10'. The main question is 'How would you interpret the following sequences? Please choose one answer among the following ones.' The options are: 'Healthy squamous esophagus', 'Gastric metaplasia or Cardia', 'Barrett's metaplasia', and 'Barrett's high grade neoplasia (or dysplasia) or adenocarcinoma' (which is selected with a red checkmark). A 'Submit answer' button is at the bottom.

Difficulty level selection

Réalité augmentée



P. Moutney, G-Z Yang et al., Imperial College London 2009

Asservissement robotisé à pression constante

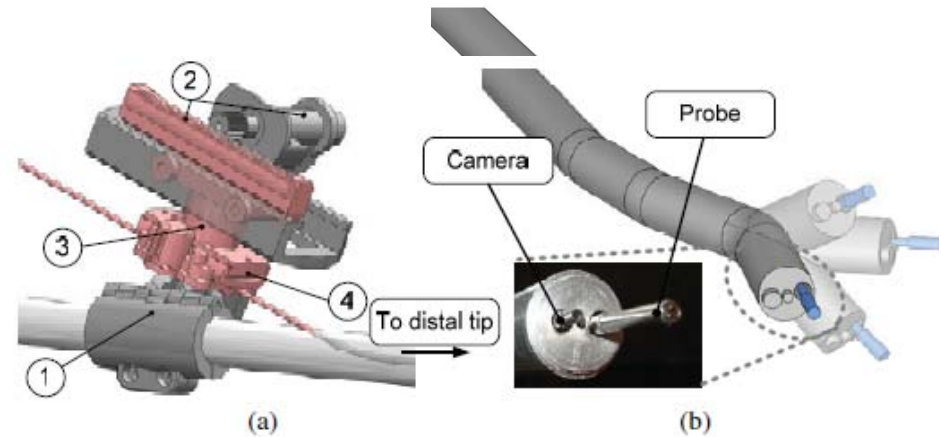


Fig. 1. (a) Schematic illustrating the force adaptive linear servoing mechanism. Moving parts are marked in red. It consists of four key components: a clamp (1) which attaches to the robot shaft, a Maxon RE10 Brushed DC motor driving a rack and pinion linear slider (2), a Nano1 F/T sensor (3) and a housing to clamp and thus translate the imaging probe (4) (b) A CA schematic illustrating the concept of the robotic scanning device using controlled actuation of the distal tip. The 1.8mm Medigus Camera and fluorescent imaging probe are also marked.

D.P. Noonan, G-Z Yang et al., Imperial College London 2010

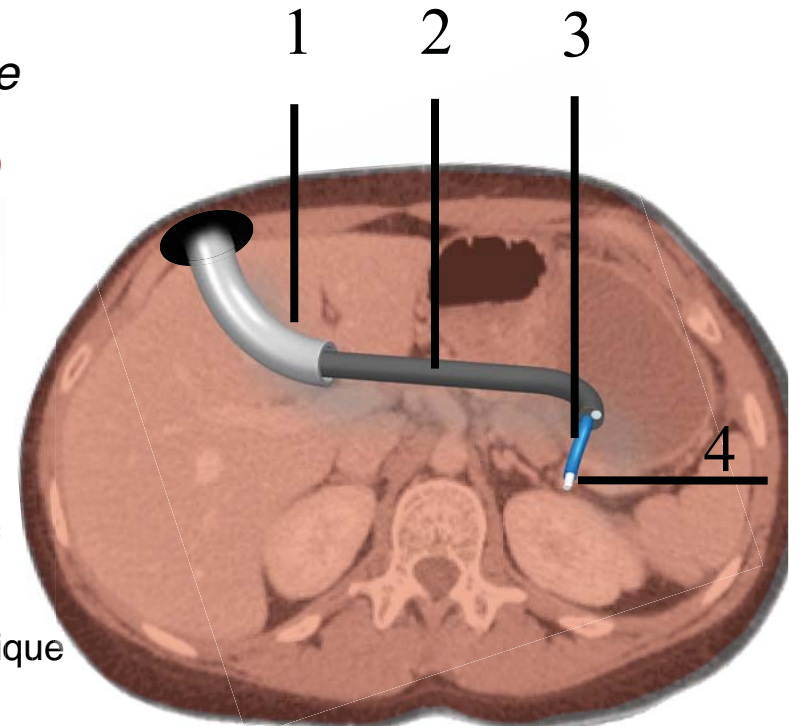
Télédiagnostic

En salle d'opération : exploration endomicroscopique robotisée de l'abdomen

Persée



1. Trocart orientable
2. Fibroscope robotisé
3. Micropositionneur actif
4. Sonde endomicroscopique



Station de télédiagnostic



Au laboratoire : examen histologique temps réel des biopsies optiques

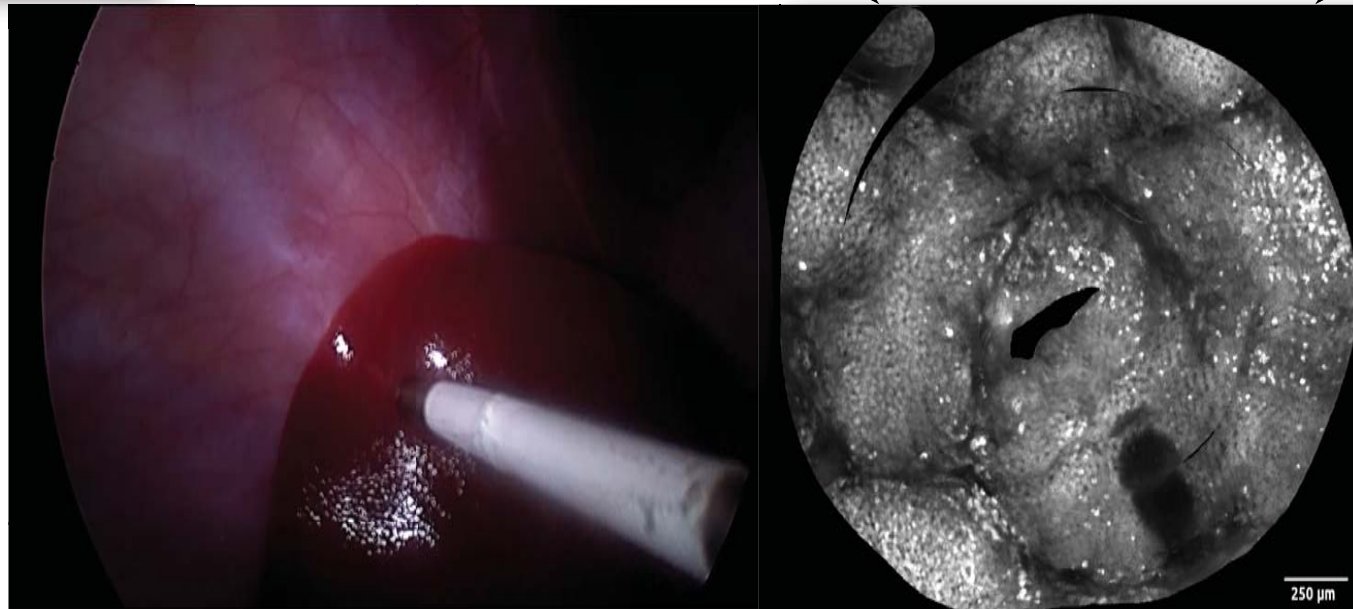
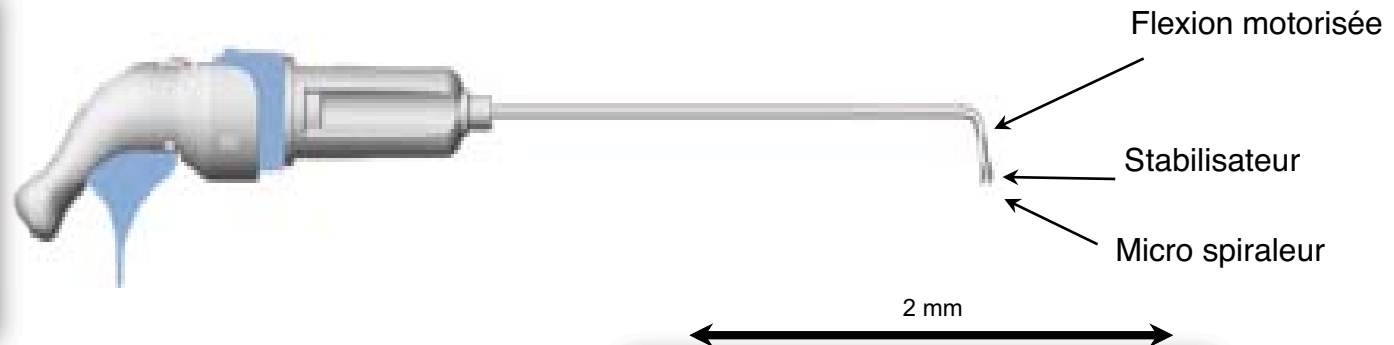


COLLÈGE DE FRANCE 78
— 1530 —

Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique

Fibroscope robotisé



Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



COLLÈGE
DE FRANCE 79
— 1530 —

Colloque 24 Juin

09h10 Biophysical Models for Cancer Imaging

Michael Brady, *University of Oxford, United Kingdom*

09h50 Learning Clinical information from Medical Images

Daniel Rueckert, *Imperial College London, United Kingdom*

10h30 Spatiotemporal Analysis of Brain Development and Disease Progression

Guido Gerig, *University of Utah, United States*

11h10 Break

11h20 Decision Forests in Medical Image Analysis

Antonio Criminisi, *Microsoft Research, United Kingdom*

12h00 Computational Physiology: Connecting Molecular Systems Biology with Clinical Medicine

Peter Hunter, *University of Auckland, New Zealand*

14h10 Toward a Statistical Neuroscience

Olivier Faugeras, *Inria, Université de Nice Sophia Antipolis*

14h50 Model-Based Biomedical Image Analysis

James Duncan, *Yale University, United States*

15h30 Multi-Scale Image-Guided Interventions

David Hawkes, *University College London, United Kingdom*

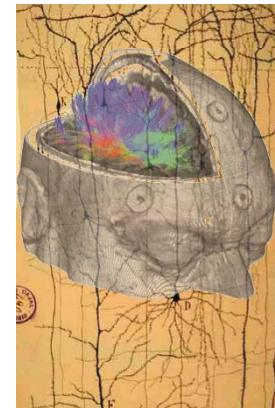
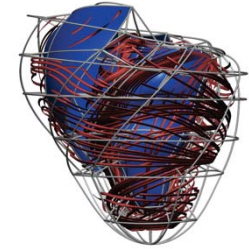
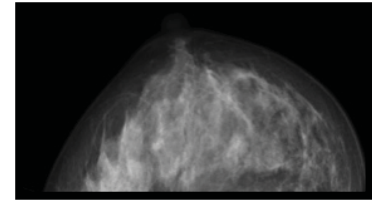
16h10 Break

16h20 Augmented Reality in the Operating Room

Nassir Navab, *Tech. Univ. Munich, Germany & J. Hopkins Univ., United States*

17h00 Towards Image-Based Personalized Medicine

Dorin Comaniciu, *Siemens Corporate Technology, United States*



Cours et séminaires

- 29 avril 2014 **Sciences des images médicales : les grandes classes de problèmes + recalage**
Chirurgie du futur guidée par l'image numérique, Jacques Marescaux, *IHU Strasbourg, IRCAD*
Cardiologie du futur à l'ère du patient numérique, Michel Haïssaguerre, *CHU Bordeaux, Université Victor-Segalen, IHU LIRYC*
- 6 mai 2014 **Se repérer dans les images : recalage et segmentation**
Mesurer le cerveau numérique, Jean-François Mangin, *Neurospin Saclay*
Reconstruction d'organes dans les formes, Hervé Delingette, *Inria, Sophia Antipolis*
- 13 mai 2014 **Variabilité anatomique et fonctionnelle : atlas statistiques**
Phénotype, fonction et génotype, Bertrand Thirion, *Inria Saclay Île-de-France, CEA, DSV, I2BM, Neurospin*
Statistiques de formes et variétés anatomiques, Xavier Pennec, *Inria Sophia Antipolis*
- 20 mai 2014 **La dimension temporelle : quantifier une évolution**
La neuro-imagerie à l'ère du patient numérique, Stéphane Lehericy, *IHU Pitié Salpêtrière*
Biomarqueurs d'imagerie dans les pathologies cérébrales, Christian Barillot, *CNRS, Inserm, Inria Rennes*
- 27 mai 2014 **Imagerie des tumeurs : modèles biophysiques pour mesurer et prédire**
Neurochirurgie guidée par l'image, Emmanuel Mandonnet, *Hôpital Lariboisière*
Radiothérapie guidée par l'image, Jocelyne Troccaz, *TIMC Grenoble, CNRS*
- 03 juin 2014 **Imagerie microscopique in vivo : mosaïques numériques et indexation**
Les enjeux médicaux de l'endomicroscopie, Jean-Paul Galmiche, *CHU Nantes*
Des étoiles aux cellules, de la recherche à l'entreprise, Sacha Loiseau, *Mauna Kea Technologies*
- 10 juin 2014 **Le cœur numérique personnalisé : diagnostic, pronostic et thérapie**
Images et signaux cardiaques : état de l'art et futur, Pierre Jaïs, *CHU Bordeaux, Université Victor-Segalen, IHU LIRYC*
Vers un système vasculaire numérique, Jean-Frédéric Gerbeau, *Inria UPMC*
- 17 juin 2014 **Réalité virtuelle, simulation, et perspectives**
Réalité augmentée en endoscopie et chirurgie, Luc Soler, *IRCAD/IHU, Strasbourg*
Simulation en médecine : présent et futur, Stéphane Cotin, *Inria*



Nicholas Ayache
3 juin 2014

Le patient numérique personnalisé
Images, médecine & informatique



COLLÈGE
DE FRANCE 82
—1530—