

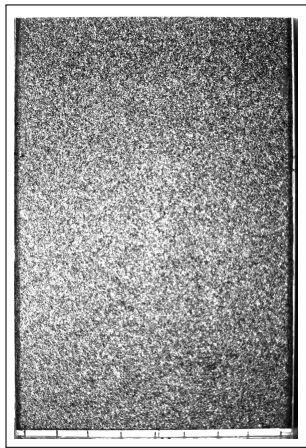


Traitement du signal et des images :

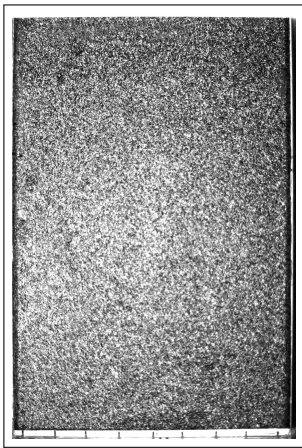
Où physique, mathématiques, algorithmique et art se rencontrent.

Barbara Pascal, Chargée de Recherche CNRS

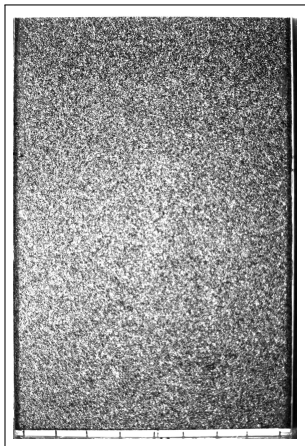
barbara.pascal@cnrs.fr <http://bpascal-fr.github.io>



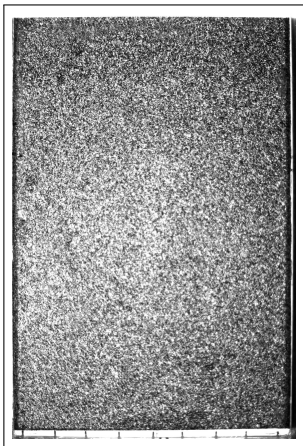
Initialement $t = 0$,
image X_0



En cours au temps t ,
image X_t



Initialement $t = 0$,
image X_0



En cours au temps t ,
image X_t

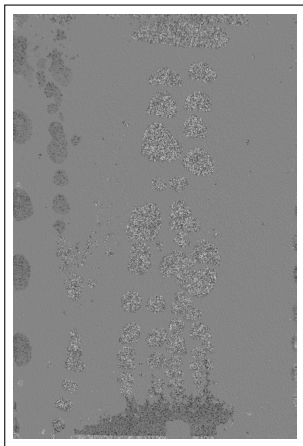
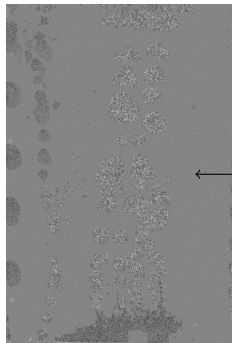


Image contrastée,
normalisation X_t/X_0

Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)

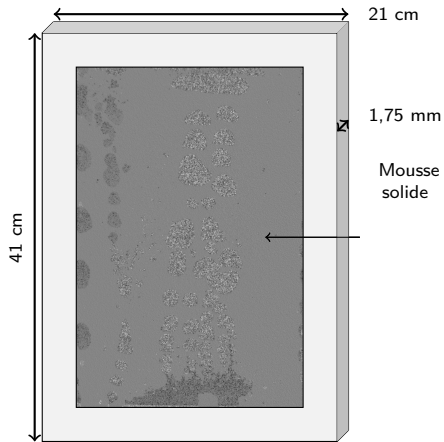


Mousse
solide



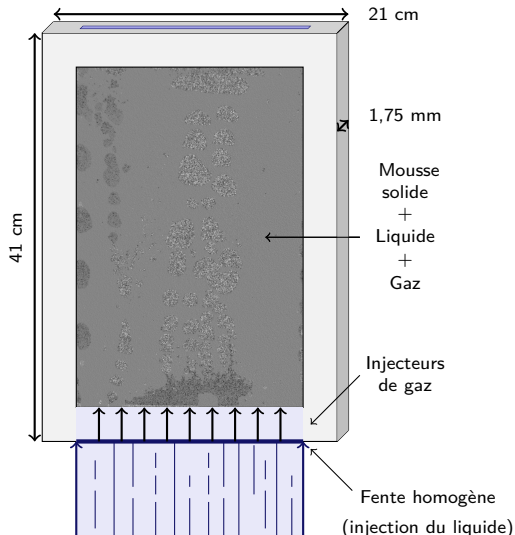
Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)

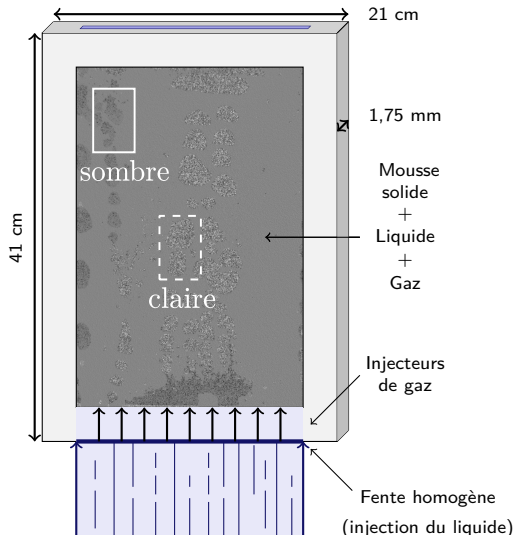


Gros volume de données

- 1600 × 1100 pixels
- vidéo : ~ 1000 images
- plan de phases : ~ 10 débits

Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



Gros volume de données

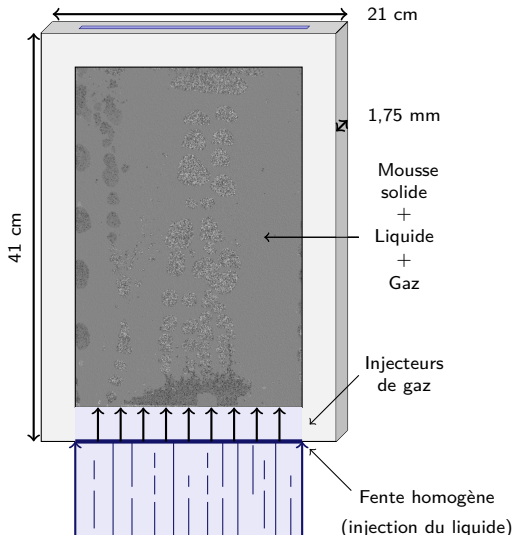
- 1600 × 1100 pixels
- vidéo : ~ 1000 images
- plan de phases : ~ 10 débits

Institut Français du Pétrole

- Extraction de pétrole :
injection de gaz

Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



Gros volume de données

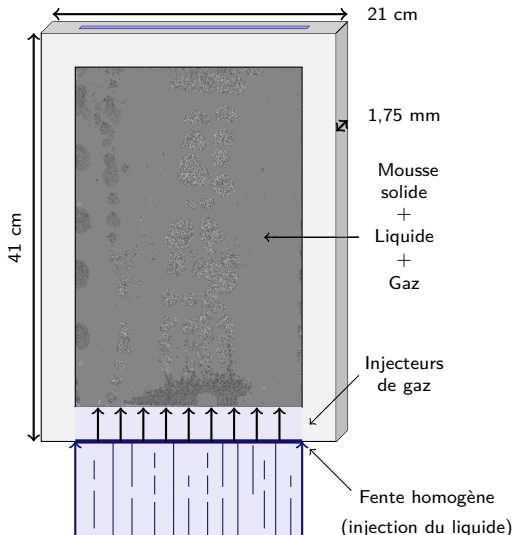
- 1600 × 1100 pixels
- vidéo : ~ 1000 images
- plan de phases : ~ 10 débits

Institut Français du Pétrole
... et des **Énergies Nouvelles**

- Extraction de pétrole :
injection de gaz
- Synthèse chimique efficace :
catalyseurs solides

Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



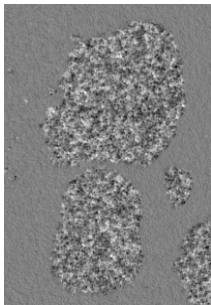
Gros volume de données

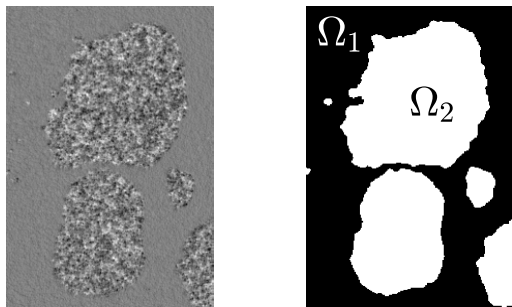
- 1600 × 1100 pixels
- vidéo : ~ 1000 images
- plan de phases : ~ 10 débits

Institut Français du Pétrole
... et des **Énergies Nouvelles**

- Extraction de pétrole :
injection de gaz
- Synthèse chimique efficace :
catalyseurs solides

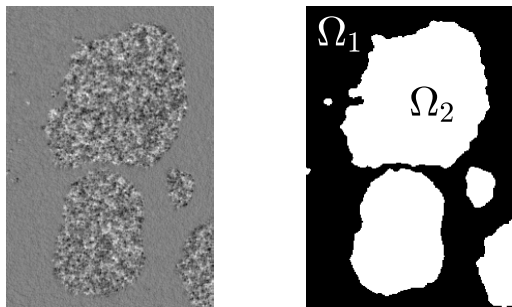
Objectif : comprendre le comportement du système { solide, liquide, gaz }





But : obtenir une partition de l'image en K textures homogènes

$$\Omega = \Omega_1 \sqcup \dots \sqcup \Omega_K$$



But : obtenir une partition de l'image en K textures homogènes

$$\Omega = \Omega_1 \sqcup \dots \sqcup \Omega_K$$

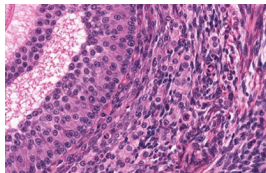
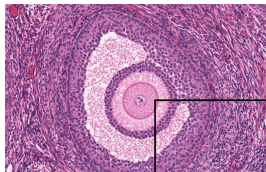
Traitement d'image : : Segmentation de textures fractales



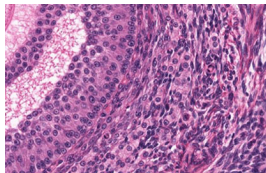
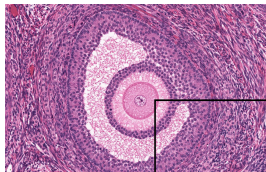
Traitement d'image : : Segmentation de textures fractales



Traitement d'image : : Segmentation de textures fractales

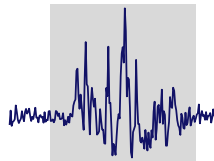
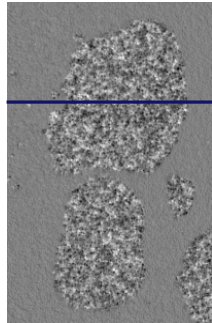


Traitement d'image : : Segmentation de textures fractales



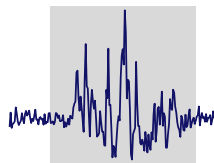
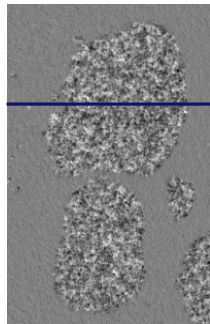
La texture est cruciale pour décrire des images réelles.

Traitement d'image : Segmentation de textures fractales



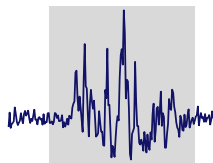
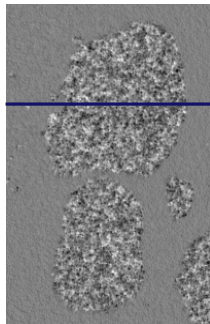
Attributs caractéristiques

- variance σ^2 *amplitude des variations*



Attributs caractéristiques

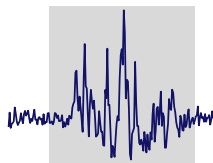
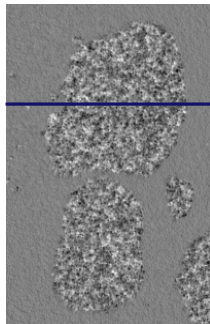
- variance σ^2 *amplitude des variations*
- régularité locale h *invariance d'échelle*



Attributs caractéristiques

- variance σ^2 *amplitude des variations*
- régularité locale h *invariance d'échelle*

$$|f(\underline{x}) - f(\underline{y})| \leq \sigma(\underline{x}) |\underline{x} - \underline{y}|^{h(\underline{x})}$$



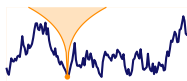
Attributs caractéristiques

- variance σ^2 *amplitude des variations*
- régularité locale h *invariance d'échelle*

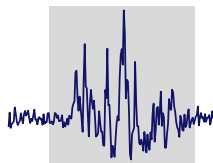
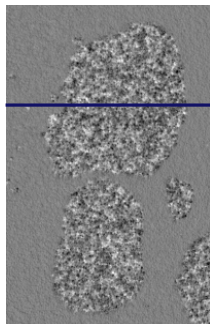
$$|f(\underline{x}) - f(\underline{y})| \leq \sigma(\underline{x})|\underline{x} - \underline{y}|^{h(\underline{x})}$$



$$h(\underline{x}) \equiv H_1 = 0.9$$



$$h(\underline{x}) \equiv H_2 = 0.3$$



Traitement d'image : Segmentation de textures fractales

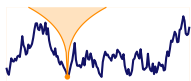
Attributs caractéristiques

- variance σ^2 *amplitude des variations*
- régularité locale h *invariance d'échelle*

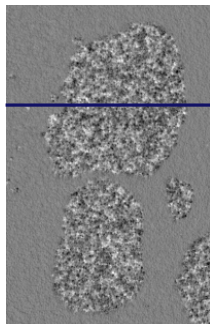
$$|f(\underline{x}) - f(\underline{y})| \leq \sigma(\underline{x}) |\underline{x} - \underline{y}|^{h(\underline{x})}$$



$$h(\underline{x}) \equiv H_1 = 0.9$$

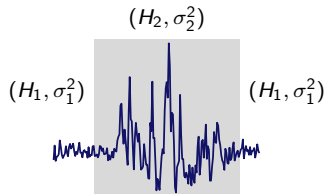


$$h(\underline{x}) \equiv H_2 = 0.3$$



Segmentation

- ▶ h and σ^2 constants par morceaux



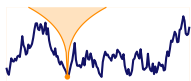
Attributs caractéristiques

- variance σ^2 *amplitude des variations*
- régularité locale h *invariance d'échelle*

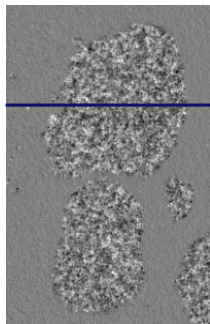
$$|f(\underline{x}) - f(\underline{y})| \leq \sigma(\underline{x})|\underline{x} - \underline{y}|^{h(\underline{x})}$$



$$h(\underline{x}) \equiv H_1 = 0.9$$

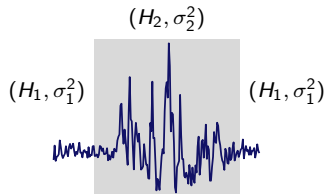


$$h(\underline{x}) \equiv H_2 = 0.3$$

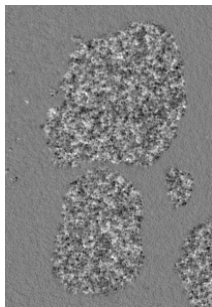


Segmentation

- ▶ h and σ^2 constants par morceaux
- ▶ région Ω_k caractérisée par (H_k, σ_k^2)



Traitement d'image : segmentation de textures



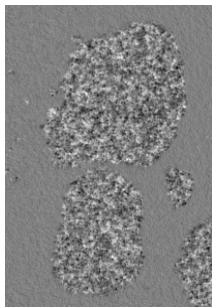
But : obtenir une partition de l'image en **deux** textures homogènes

$$\Omega = \Omega_1 \sqcup \Omega_2$$

avec chaque région caractérisée par

- sa **régularité locale** : H_1 pour la texture 1 vs. H_2 pour la texture 2
- sa **variance locale** : σ_1^2 pour la texture 1 vs. σ_2^2 pour la texture 2

Traitement d'image : segmentation de textures

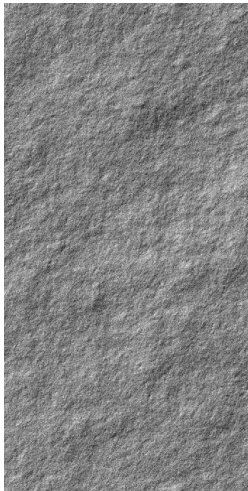


But : obtenir une partition de l'image en **liquide** vs. **gaz**

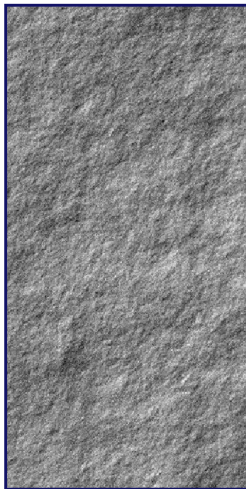
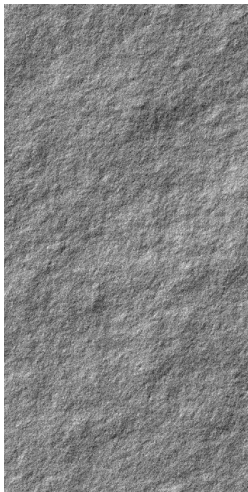
$$\Omega = \Omega_1 \sqcup \Omega_2$$

avec chaque région caractérisée par

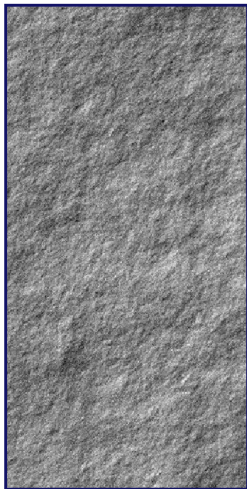
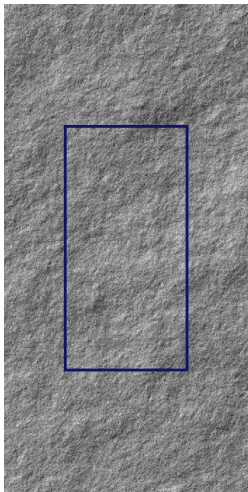
- sa **régularité locale** : H_1 pour le **liquide** vs. H_2 pour le **gaz**
- sa **variance locale** : σ_1^2 pour le **liquide** vs. σ_2^2 pour le **gaz**



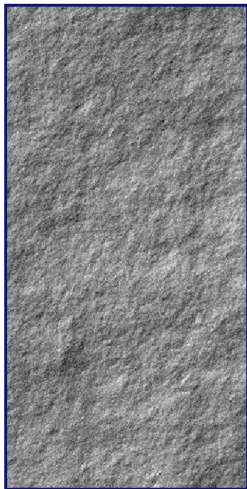
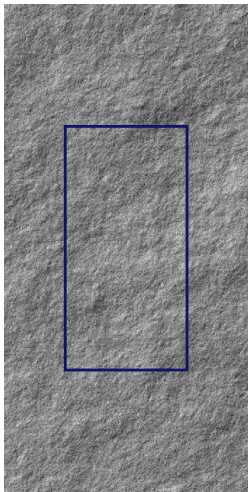
Traitement d'image : segmentation de textures **fractales**



Traitement d'image : segmentation de textures **fractales**



Traitement d'image : segmentation de textures **fractales**



Fractale : objet mathématique identique à toutes les échelles, insensible au zoom

LES FRACTALES: OBJETS MATHÉMATIQUES,
MODÈLES PHYSIQUES ET CRÉATIONS ARTISTIQUES

Benoit B. MANDELBROT

IBM Thomas J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY, 10598, USA

RESUME

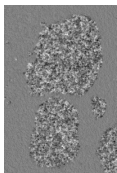
La géométrie fractale de la nature fut conçue et développée par l'auteur de ce travail et présentée pour la

SUMMARY

The fractal geometry of nature was conceived and developed by the author, beginning in 1975. It started with

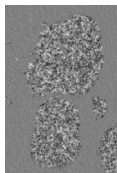
“La géométrie fractal de la nature fut conçue et développée par l'auteur de ce travail et présentée pour la première fois en 1975. Ses sources se trouvent dans deux découvertes inattendues, aux multiples effets cumulatifs. Les fractales ont contribué à redonné (sic) aux mathématiques et à la physique un côté visuel et presque sensuel, et elles ont posé des questions nouvelles concernant l'esthétique et de nombreux problèmes d'informatique et d'infographie.”

Image texturée



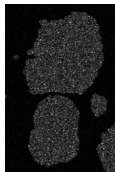
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

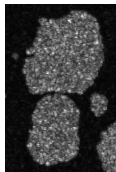


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$$a = 2^1$$

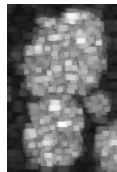


$$a = 2^2$$



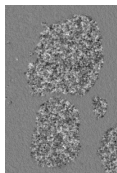
...

$$a = 2^5$$



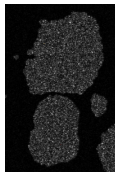
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

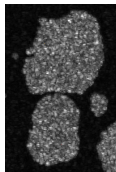


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$a = 2^1$

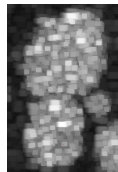


$a = 2^2$



...

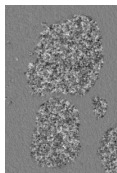
$a = 2^5$



$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$

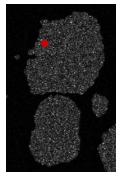
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

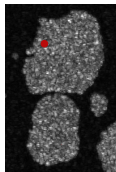


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$a = 2^1$

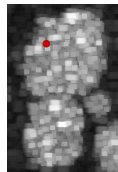


$a = 2^2$

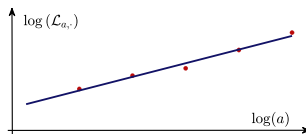


...

$a = 2^5$

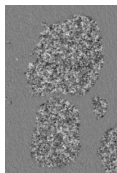


$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$



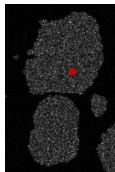
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

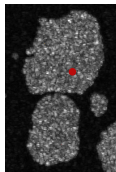


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$a = 2^1$

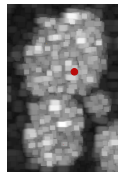


$a = 2^2$

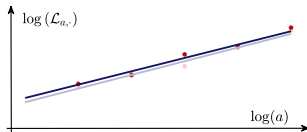


...

$a = 2^5$

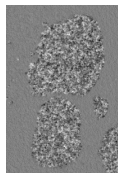


$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$



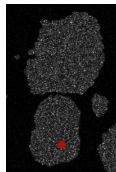
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

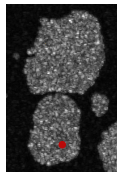


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$a = 2^1$

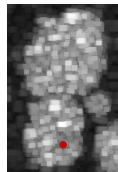


$a = 2^2$

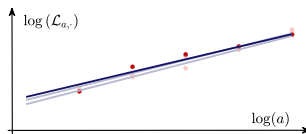


...

$a = 2^5$

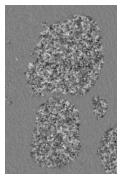


$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$



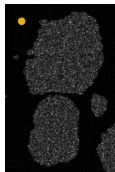
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

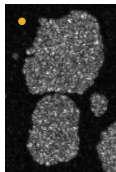


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$a = 2^1$

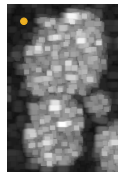


$a = 2^2$

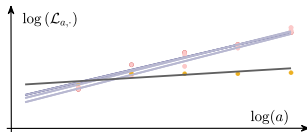


...

$a = 2^5$

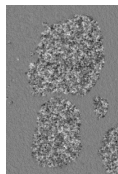


$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$



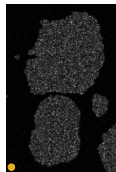
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

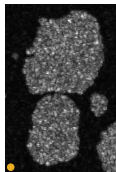


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$a = 2^1$

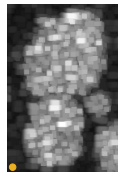


$a = 2^2$

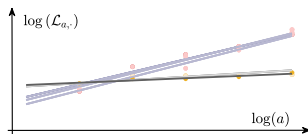


...

$a = 2^5$

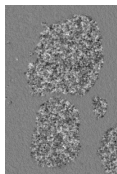


$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$



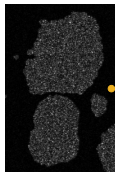
Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Image texturée

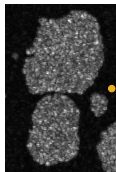


Analyse des variations d'intensité à différentes échelles :

$a = 2^1$

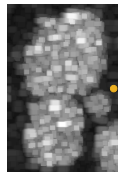


$a = 2^2$

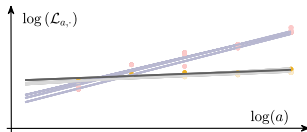


...

$a = 2^5$



$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$

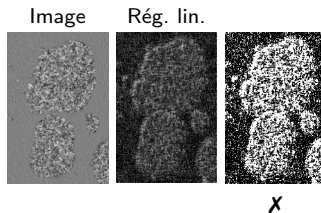


Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Analyse multi-échelle :

$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{}$$

$\mathcal{L}_{a,\cdot}$: variations de l'intensité à l'échelle a



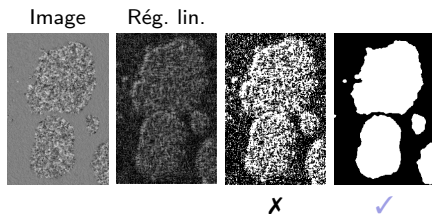
$$\underset{\mathbf{h}, \sigma^2}{\text{minimiser}} \sum_a \frac{\|\log \mathcal{L}_{a,\cdot} - \log(a)\mathbf{h} - \log(\sigma^2)\|^2}{\text{modèle fractal}}$$

Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Analyse multi-échelle :

$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \underset{\text{variance}}{\log(\sigma^2)}$$

$\mathcal{L}_{a,\cdot}$: variations de l'intensité à l'échelle a



► Estimation et régularisation **rapide**

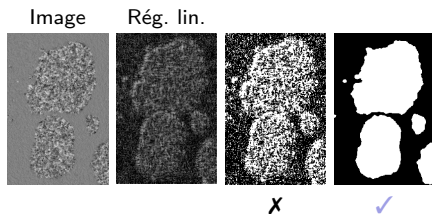
$$\underset{\mathbf{h}, \sigma^2}{\text{minimiser}} \sum_a \frac{\|\log \mathcal{L}_{a,\cdot} - \log(a)\mathbf{h} - \log(\sigma^2)\|^2}{\text{modèle fractal}} + \lambda \frac{\|\mathbf{Dh}, \mathbf{D}\sigma^2; \alpha\|_{1,2}}{\text{segmentation}}$$

Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Analyse multi-échelle :

$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{}$$

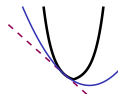
$\mathcal{L}_{a,\cdot}$: variations de l'intensité à l'échelle a



► Estimation et régularisation **rapide**

$$\underset{\mathbf{h}, \sigma^2}{\text{minimiser}} \sum_a \frac{\|\log \mathcal{L}_{a,\cdot} - \log(a)\mathbf{h} - \log(\sigma^2)\|^2}{\text{modèle fractal}} + \lambda \frac{\|\mathbf{Dh}, \mathbf{D}\sigma^2; \alpha\|_{1,2}}{\text{segmentation}}$$

► algorithme proximal accéléré

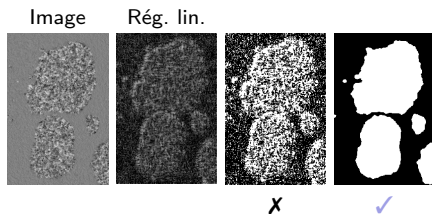


Traitement d'image : segmentation de textures fractales

Analyse multi-échelle :

$$\log(\mathcal{L}_{a,\cdot}) \underset{a \rightarrow 0}{\simeq} \log(a) \underset{\text{régularité}}{\mathbf{h}} + \log(\sigma^2) \underset{\text{variance}}{\quad}$$

$\mathcal{L}_{a,\cdot}$: variations de l'intensité à l'échelle a



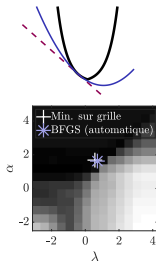
► Estimation et régularisation **rapide et automatisées** :

$$\underset{\mathbf{h}, \sigma^2}{\text{minimiser}} \sum_a \frac{\|\log \mathcal{L}_{a,\cdot} - \log(a)\mathbf{h} - \log(\sigma^2)\|^2}{\text{modèle fractal}} + \lambda \frac{\|\mathbf{D}\mathbf{h}, \mathbf{D}\sigma^2; \alpha\|_{1,2}}{\text{segmentation}}$$

► algorithme proximal accéléré

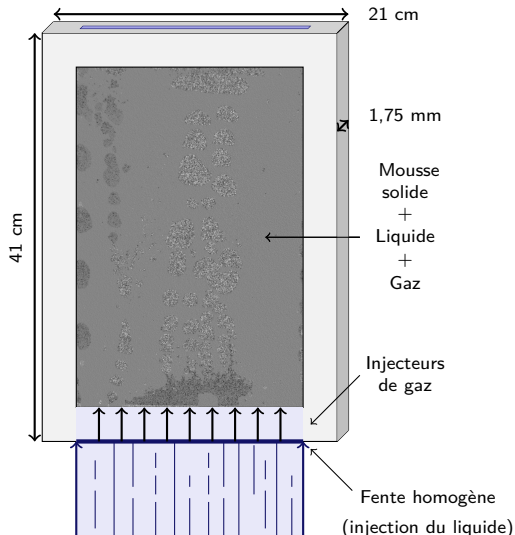
► réglage des paramètres (λ, α)

- λ : équilibre entre fidélité au modèle et segmentation
- α : importante relative des attributs fractals \mathbf{h} et σ^2



Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



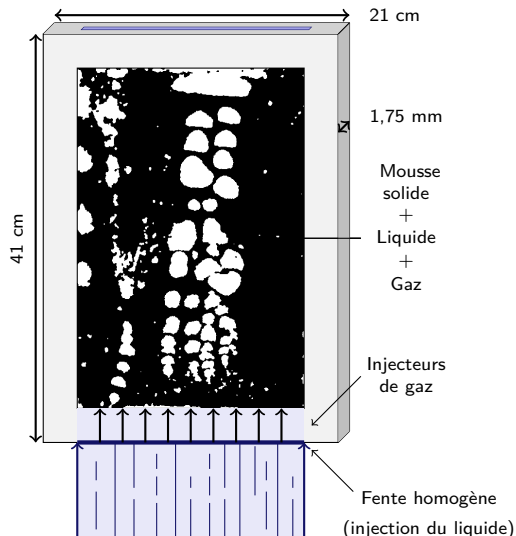
Gros volume de données

- 1600 × 1100 pixels
- vidéo : ~ 1000 images
- plan de phases : ~ 10 débits

Objectif : comprendre le comportement du système { solide, liquide, gaz }

Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



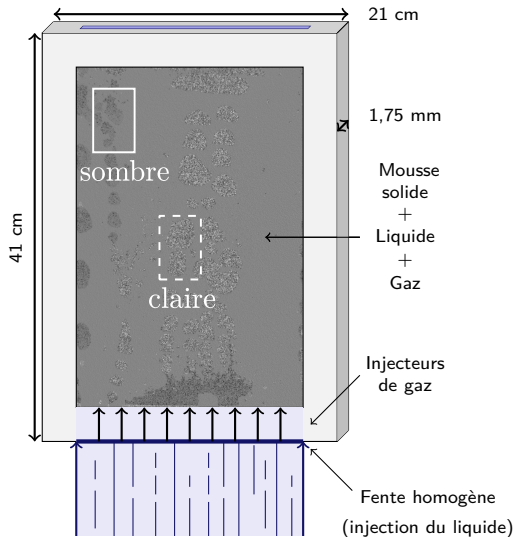
Gros volume de données

- 1600 × 1100 pixels
- vidéo : ~ 1000 images
- plan de phases : ~ 10 débits

Objectif : comprendre le comportement du système { solide, liquide, gaz }

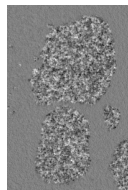
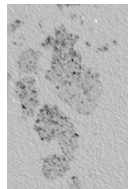
Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



Transition :

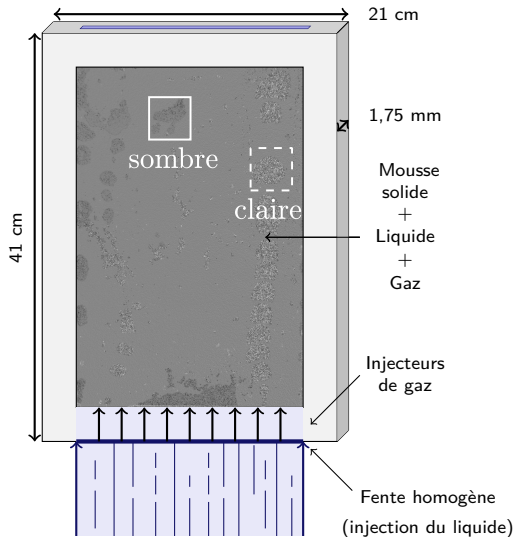
$$Q_G = 400\text{mL/min} - Q_L = 700\text{mL/min}$$



Objectif : comprendre le comportement du système { solide, liquide, gaz }

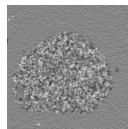
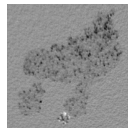
Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



Basse activité :

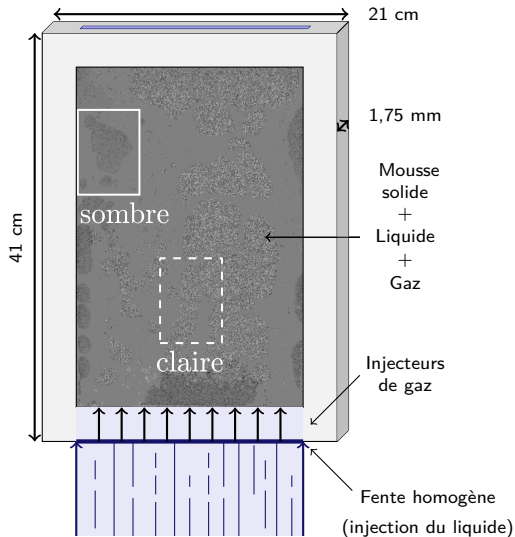
$$Q_G = 300\text{mL/min} - Q_L = 300\text{mL/min}$$



Objectif : comprendre le comportement du système { solide, liquide, gaz }

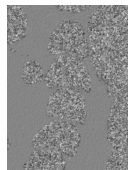
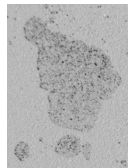
Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



Haute activité :

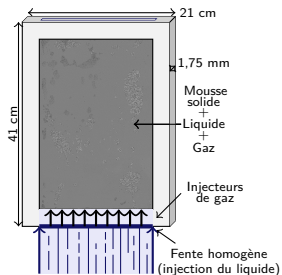
$$Q_G = 1200\text{mL/min} - Q_L = 300\text{mL/min}$$



Objectif : comprendre le comportement du système { solide, liquide, gaz }

Physique : Écoulement multiphasiques en milieu poreux

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, V. Vidal, T. Busser, (M. Serres, IFPEN)



Objectif : suivi des bulles de gaz

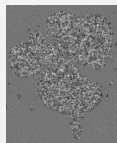
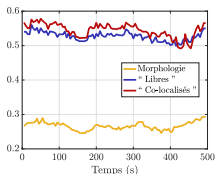


Image de l'écoulement

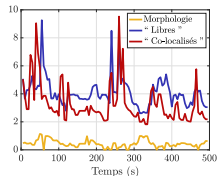


Segmentation gaz-liquide

plusieurs vidéos d'images texturées



Proportion de gaz (aire)



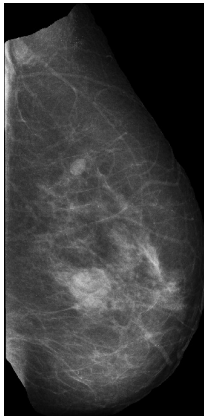
Quantité d'interface (périmètre)

- ▶ le cancer du sein est le plus fréquent chez les femmes :
environ **une** femme sur **huit** sur 8 sera diagnostiquée dans sa vie

- ▶ le cancer du sein est le plus fréquent chez les femmes :
environ **une** femme sur **huit** sur 8 sera diagnostiquée dans sa vie
- ▶ la détection précoce est cruciale dans la survie de la patiente :
taux de survie pouvant aller jusqu'à **99%** à 5 ans

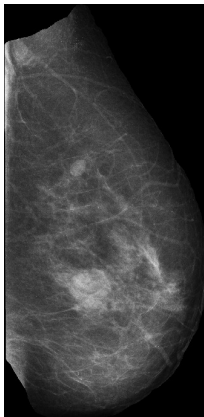
Médecine : Évaluation du risque de cancer du sein

- ▶ le cancer du sein est le plus fréquent chez les femmes :
environ **une** femme sur **huit** sur 8 sera diagnostiquée dans sa vie
- ▶ la détection précoce est cruciale dans la survie de la patiente :
taux de survie pouvant aller jusqu'à **99%** à 5 ans



Médecine : Évaluation du risque de cancer du sein

- ▶ le cancer du sein est le plus fréquent chez les femmes :
environ **une** femme sur **huit** sur 8 sera diagnostiquée dans sa vie
- ▶ la détection précoce est cruciale dans la survie de la patiente :
taux de survie pouvant aller jusqu'à **99%** à 5 ans




Imagerie par rayons X, ou **mammographie** :
dépistage tous les **deux ans**

Le radiologiste inspecte :

- ▶ les tissus adipeux : transparents aux rayons X (noir),
- ▶ les tissus épithéliaux : absorbant les rayons X (blanc),
- ▶ les tissus lésés : **absorbant les rayons X** (blanc).

Tâche très complexe !


Environnement **microscopique** dans le sein : rôle  dans la formation de tumeurs

Environnement **microscopique** dans le sein : rôle ⚠ dans la formation de tumeurs

- ▶ intégrité des structures préservées : les lésions pré-cancéreuses sont résorbées

Environnement **microscopique** dans le sein : rôle ⚠ dans la formation de tumeurs

- ▶ intégrité des structures préservées : les lésions pré-cancéreuses sont résorbées
- ▶ perte d'organisation des tissus, **disruption** : la formation de tumeurs est favorisée

Environnement **microscopique** dans le sein : rôle  dans la formation de tumeurs

- ▶ intégrité des structures préservées : les lésions pré-cancéreuses sont résorbées
- ▶ perte d'organisation des tissus, **disruption** : la formation de tumeurs est favorisée

Malade vs. sain détectable **avant** la tumeur dans les tissus environnants.

Médecine : Évaluation du risque de cancer du sein

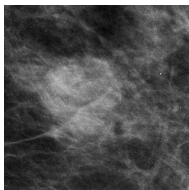
Environnement **microscopique** dans le sein : rôle ⚠ dans la formation de tumeurs

- ▶ intégrité des structures préservées : les lésions pré-cancéreuses sont résorbées
- ▶ perte d'organisation des tissus, **disruption** : la formation de tumeurs est favorisée

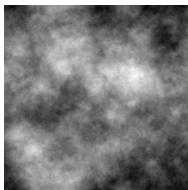
Malade vs. sain détectable **avant** la tumeur dans les tissus environnants.

Travaux pionniers : **Université du Maine, USA** (Marin et al., 2017, *Med. Phys.*)

Mammogram



fractal random field



Médecine : Évaluation du risque de cancer du sein

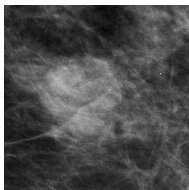
Environnement **microscopique** dans le sein : rôle ⚠ dans la formation de tumeurs

- ▶ intégrité des structures préservées : les lésions pré-cancéreuses sont résorbées
- ▶ perte d'organisation des tissus, **disruption** : la formation de tumeurs est favorisée

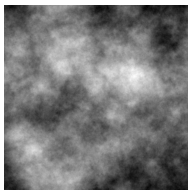
Malade vs. sain détectable **avant** la tumeur dans les tissus environnants.

Travaux pionniers : **Université du Maine, USA** (Marin et al., 2017, *Med. Phys.*)

Mammogram



fractal random field



caractérisation des tissus à partir d'un indicateur **fractal** : **exposant de Hölder** local

Médecine : Évaluation du risque de cancer du sein

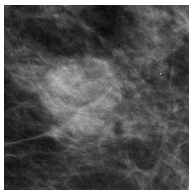
Environnement **microscopique** dans le sein : rôle ⚠ dans la formation de tumeurs

- ▶ intégrité des structures préservées : les lésions pré-cancéreuses sont résorbées
- ▶ perte d'organisation des tissus, **disruption** : la formation de tumeurs est favorisée

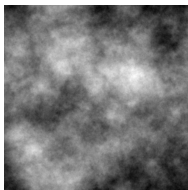
Malade vs. sain détectable **avant** la tumeur dans les tissus environnants.

Travaux pionniers : **Université du Maine, USA** (Marin et al., 2017, *Med. Phys.*)

Mammogram



fractal random field



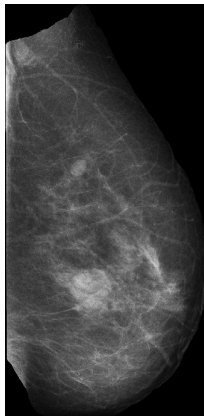
caractérisation des tissus à partir d'un indicateur **fractal** : **exposant de Hölder** local

Idée : évaluer le risque de cancer **avant** la formation d'une tumeur détectable.

Médecine : Évaluation du risque de cancer du sein

Analyse fractale locale de mammographies :

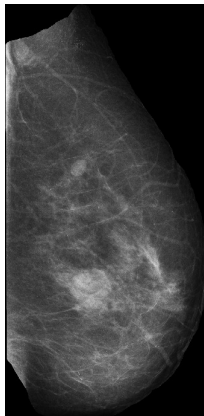
Université du Maine, USA (Marin et al., 2017, *Phys. Med. Biol.*)



Analyse fractale locale de mammographies :

Université du Maine, USA (Marin et al., 2017, *Phys. Med. Biol.*)

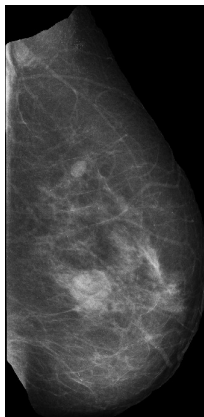
- ▶ $H < 1/2$ tissus adipeux, **en bonne santé**



Analyse fractale locale de mammographies :

Université du Maine, USA (Marin et al., 2017, *Phys. Med. Biol.*)

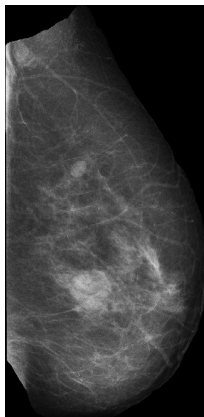
- ▶ $H < 1/2$ tissus adipeux, **en bonne santé**
- ▶ $H > 1/2$ tissus épithéliaux, **en bonne santé**



Analyse fractale locale de mammographies :

Université du Maine, USA (Marin et al., 2017, *Phys. Med. Biol.*)

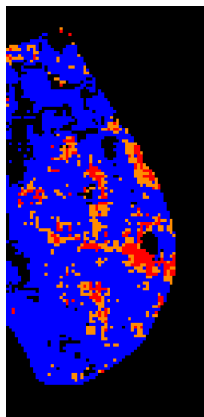
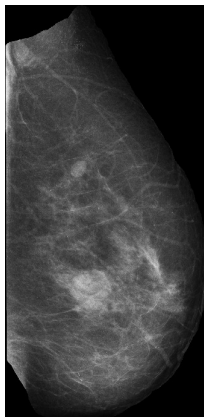
- ▶ $H < 1/2$ tissus adipeux, **en bonne santé**
- ▶ $H > 1/2$ tissus épithéliaux, **en bonne santé**
- ▶ $H \simeq 1/2$ tissus lésés, **à risque de tumeur** ⚠



Analyse fractale locale de mammographies :

Université du Maine, USA (Marin et al., 2017, *Phys. Med. Biol.*)

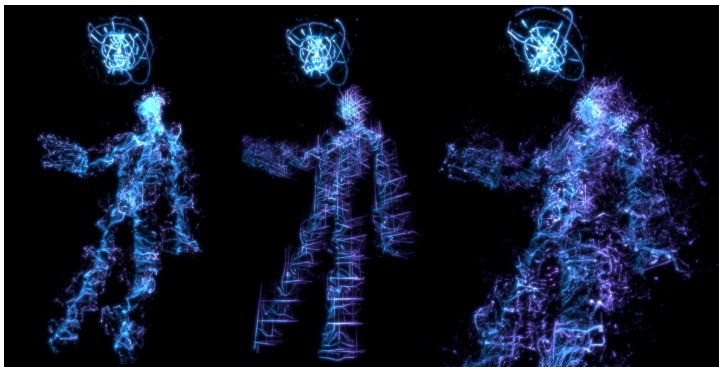
- ▶ $H < 1/2$ tissus adipeux, **en bonne santé**
- ▶ $H > 1/2$ tissus épithéliaux, **en bonne santé**
- ▶ $H \simeq 1/2$ tissus lésés, **à risque de tumeur** ⚠



Arts : Résidence d'artiste dans une équipe de recherche

Alex Andrix & équipe SISYPHE au Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon

Du 14 septembre au 2 octobre 2020



Source : Alex Andrix, alexandrix.com/blog/draft-about-sisyphe/

Arts : Résidence d'artiste dans une équipe de recherche

- **Un artiste** : Alex Andrix
- **Un responsable scientifique** : Patrice Abry, directeur de recherche au CNRS

Arts : Résidence d'artiste dans une équipe de recherche

- **Un artiste** : Alex Andrix
- **Un responsable scientifique** : Patrice Abry, directeur de recherche au CNRS
- **Une équipe de recherche** : Signaux, SYstèmes et PHysique SISYPHE
- **Deux graphistes** : Alex Bourgeois & Benoit Arbelot
- **Trois musiciens** : Juliette Lebegue, Antoine Brun & Gaël Le Godais

Arts : Résidence d'artiste dans une équipe de recherche

- **Un artiste** : Alex Andrix
- **Un responsable scientifique** : Patrice Abry, directeur de recherche au CNRS
- **Une équipe de recherche** : Signaux, SYstèmes et PHysique SISYPHE
- **Deux graphistes** : Alex Bourgeois & Benoit Arbelot
- **Trois musiciens** : Juliette Lebegue, Antoine Brun & Gaël Le Godais

Semaine 1

- présentation Alex Andrix
- thématiques SISYPHE
- entretiens individuelles
- observation

étonnement

intérêts communs

inspiration

Arts : Résidence d'artiste dans une équipe de recherche

- **Un artiste** : Alex Andrix
- **Un responsable scientifique** : Patrice Abry, directeur de recherche au CNRS
- **Une équipe de recherche** : Signaux, SYstèmes et PHysique SISYPHE
- **Deux graphistes** : Alex Bourgeois & Benoit Arbelot
- **Trois musiciens** : Juliette Lebegue, Antoine Brun & Gaël Le Godais

Semaine 1

- présentation Alex Andrix
- thématiques SISYPHE
- entretiens individuelles
- observation

étonnement

intérêts communs

inspiration

Semaine 2

- processus artistique
- maturation des idées

réflexions

Vieux Lyon

réunions

création

Arts : Résidence d'artiste dans une équipe de recherche

- **Un artiste** : Alex Andrix
- **Un responsable scientifique** : Patrice Abry, directeur de recherche au CNRS
- **Une équipe de recherche** : Signaux, SYstèmes et PHysique SISYPHE
- **Deux graphistes** : Alex Bourgeois & Benoit Arbelot
- **Trois musiciens** : Juliette Lebegue, Antoine Brun & Gaël Le Godais

Semaine 1

- présentation Alex Andrix
- thématiques SISYPHE
- entretiens individuelles
- observation

étonnement

intérêts communs

inspiration

Semaine 2

- processus artistique
- maturation des idées

réflexions

Vieux Lyon

réunions

création

Semaine 3

- production vidéo
- composition musicale
- restitution

partage

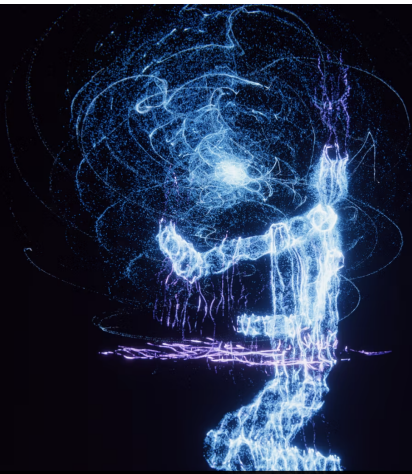
projection publique

émerveillement



Sisyphe

Alex Andrix



04:26



vimeo

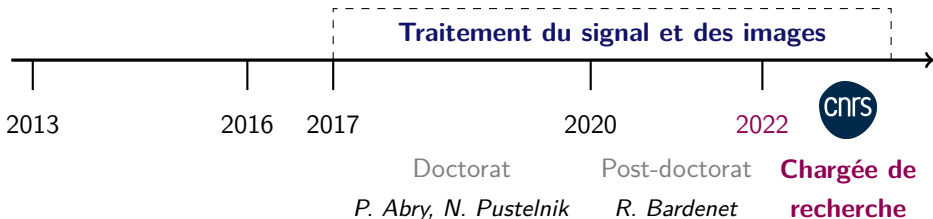
Parcours : Recherche en traitement du signal et de l'image

Après une formation initiale en physique théorique et mathématiques



Master de physique

Agrégation de mathématiques



- **Traitement et analyse d'images et de signaux :**
modèles, méthodes et applications
- **Imagerie :** problèmes inverses
- **Intelligence artificielle et sciences des données :**
Apprentissage automatique et statistique, Optimisation