

# Interprétation d'images médicales : quelques travaux vers l'explicabilité

Séminaire Aristote - L' IA est-elle explicable ?  
Palaiseau - 17 octobre 2019

Céline Hudelot **et al**  
Laboratoire MICS - CentraleSupélec

16 octobre 2019

- 1 Introduction
- 2 Apprentissage de contraintes floues pour la classification d'images médicales avec explication

# Interprétation d'images



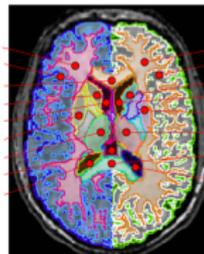
## Questions

Quel est le contenu sémantique de ces images? Que représentent-elles?

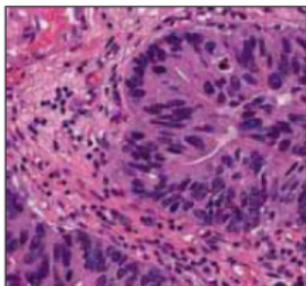
# Interprétation d'images médicales

Extraction de l'information utile et de haut niveau de l'image et description avec la **terminologie du domaine d'application**.

Right White Matter  
Right Cortex  
Genus of Corpus Callosum  
Right Caudate Nucleus  
Right Lateral Ventricle  
Right Putamen  
Right Thalamus  
Choroidal Fissure  
Atrium of the right Lateral Ventricle



Left White Matter  
Left Cortex  
Left Caudate Nucleus  
Left Lateral Ventricle  
Left Putamen  
Left Thalamus  
Splenum of Corpus Callosum  
Atrium of the left Lateral Ventricle



Severe pleomorphism is present in the nuclei. The nuclei are crowded to a moderate degree. Basement membrane polarity is partially lost. Mitosis is infrequent throughout the tissue. The nucleoli are mostly inconspicuous. High grade cancer.

Source : MDNet, Zhang et al – CVPR 2017

# Interprétation d'images médicales

## Les différents types d'approches

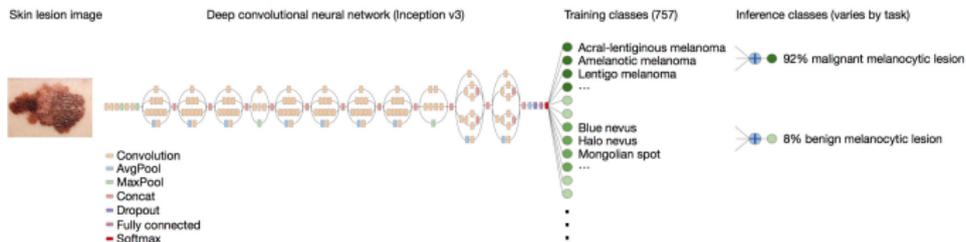
- **Symbolique** (80-90) : systèmes experts.  
Représentation de la connaissance experte et du raisonnement.  
**Connaissances explicites**
- **Probabiliste** (90- ) : modèles à base d'atlas.  
Modèle statistique construit à partir de connaissances expertes mais dont les paramètres sont appris à partir de données.  
**Connaissances explicites**
- **Orientée données** (2000- ) : modèles à base d'apprentissage et d'apprentissage profond.  
Apprentissage (principalement) supervisé - Nécessite des bases d'apprentissage de bonne qualité et de grande taille. **Connaissance implicite : les données - Connaissance explicite : les labels**

Demystification of AI-driven medical image interpretation : past, present and future [Savadjiev et al, European Radiology - 2018]

# Interprétation d'images médicales

Des succès récents avec l'apprentissage profond : **approches au niveau des experts?**

Détection des cancers de la peau : un problème de classification fine.



Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks - Esteva et al [Nature,2017]

# Interprétation d'images médicales

Des succès récents avec l'apprentissage profond : **approches au niveau des experts?**

Détection des cancers de la peau.



Mais

- **Nécessité d'avoir des données labélisées de bonne qualité** : 129450 images labélisées selon 2032 classes dans ce cas.
- Apports de connaissances expertes : taxonomie hiérarchique des pathologies et constitution du jeu de données.
- Une expérience discutable (pas de collaboration entre les experts (décision individuelle ou moyenne des prédictions), tâche de classification en 2, 3 ou 9 classes

# Interprétation d'images médicales

Des succès récents avec l'apprentissage profond : **approches au niveau des experts?**

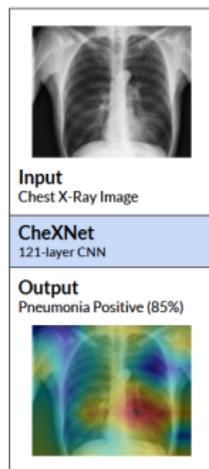
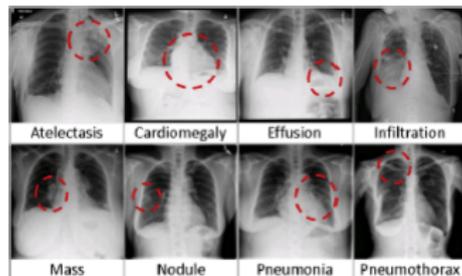


Figure 1. CheXNet is a 121-layer convolutional neural network that takes a chest X-ray image as input, and outputs the probability of a pathology. On this example, CheXnet correctly detects pneumonia and also localizes areas in the image most indicative of the pathology.

Chexnet : Radiologist-level pneumonia detection on chest x-rays with deep learning - Raipurkar et al [arxiv, 2017]



Source : Chestx-ray8 [CVPR-2017]

## Mais

Des approches *boîtes noires*, incapable d'expliquer leurs décisions de manière compréhensible et reconstructible (par un humain).

# Interprétation d'images médicales

## Le besoin d'explicabilité

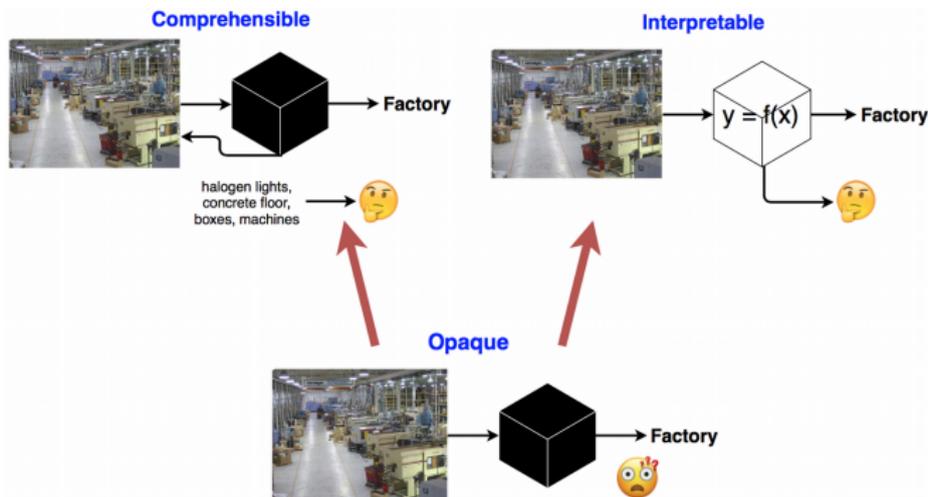
- La nature même de la tâche : **un élément de prise de décision.**  
Plus que la sortie d'une prédiction : fournir des éléments d'évidence, des éléments explicatifs.
- Aspects légaux : RGPD (**droit à l'explication**)
- Rendre la décision transparente, **compréhensible et explicable** : permettre l'interaction et la communication avec les utilisateurs.
- **Acceptation et confiance.**

Source : What do we need to build explainable AI systems for the medical domain? Holzinger et al, Arxiv 2017

# Interprétation d'images médicales

Explicabilité - Interprétabilité - Transparence

Des définitions diverses dans la littérature [Lipton,2016] [Besse]  
[Doran,2017]



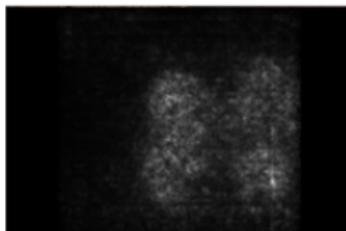
What Does Explainable AI Really Mean? A New Conceptualization of Perspectives - Doran et al - ArXiv- 2017

# Interprétation - Explication



It is a dog.

INTERPRETATION



[Simonyan, 2013]

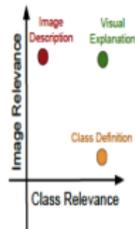
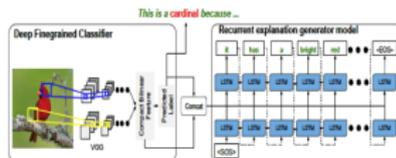
EXPLANATION

Because:

- it has fur,
- it has a tail,
- it has a **dog's nose**.

# Interprétation - Génération d'explications

Un domaine fertile.



	<b>Description:</b> This is a large bird with a white neck and a black back in the water. <b>Class Definition:</b> The Western Grebe is a waterbird with a yellow pointy beak, white neck and belly, and black back. <b>Explanation:</b> This is a Western Grebe because this bird has a long white neck, pointy yellow beak and red eye.
	<b>Description:</b> This is a large flying bird with black wings and a white belly. <b>Class Definition:</b> The Laysan Albatross is a large seabird with a hooked yellow beak, black back and white belly. <b>Visual Explanation:</b> This is a Laysan Albatross because this bird has a large wingspan, hooked yellow beak, and white belly.
	<b>Description:</b> This is a large bird with a white neck and a black back in the water. <b>Class Definition:</b> The Laysan Albatross is a large seabird with a hooked yellow beak, black back and white belly. <b>Visual Explanation:</b> This is a Laysan Albatross because this bird has a hooked yellow beak white neck and black back.

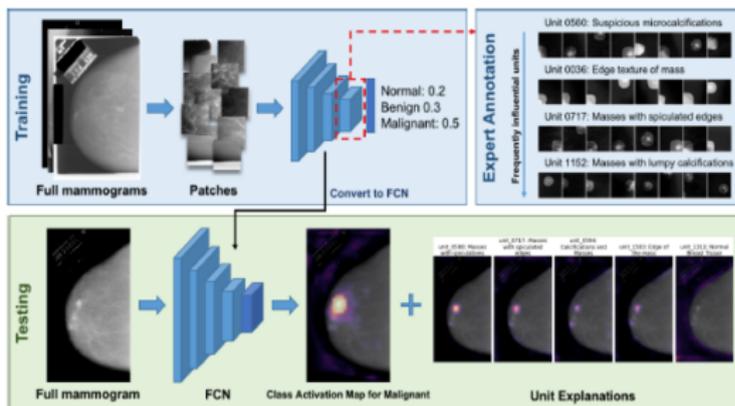
Hendricks et al - Generating visual explanations [ECCV,16] - Grounding visual explanations [ECCV,18]

Goyal et al- Counterfactual Visual explanations [ICML,19]

- Importance de la connaissance experte : terminologie du domaine d'application.
- Qualité du jeu de données : CUB dataset (200 classes, 60 images par classe, 10 phrases détaillées par image)

# Interprétation - Génération d'explications

Plusieurs travaux en interprétation d'images médicales (Workshop iMIMIC, MICCAI depuis 2018)



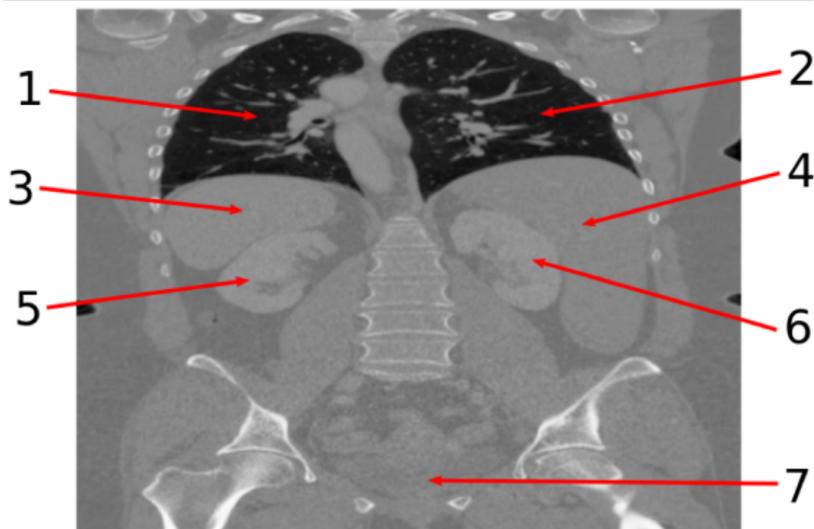
Unit ID	BI-RADS Lexicon	Expert Annotation	Top Activated Images
1814	Mass, Associated Features	Edge of a mass with circumscribed margins	
1152	Calcification	Malignant pleomorphic calcifications	
860	Calcification	Benign vascular calcifications	
1299	Associated Features	Spiculation	
1468	Mass	Masses with smooth edges	

DeepMiner : Discovering Interpretable Representations for Mammogram Classification and Explanation - Wu et al - arXiv 2018

# Nos travaux en explicabilité

- Apprentissage de représentations universelles pour l'apprentissage par transfert
  - Travaux en collaboration avec Y. Tamaazousti et H. Le Borgne, CEA LIST.
  - Importance de la connaissance experte dans le processus d'apprentissage.
  - Collaboration de réseaux (experts à différents niveaux)
- **Génération d'explications pour expliquer la décision** : Apprentissage de contraintes spatiales floues pour la classification d'images médicales avec explication.
  - Travaux en collaboration avec R. Pierrard et J.P. Poli (CEA LIST).
  - Importance de l'information spatiale - Génération d'explication avec peu de données.
- L'interprétation comme un processus explicatif : Interprétation d'images comme un problème d'abduction.
  - Travaux en collaboration avec I. Bloch (Télécom ParisTech) et J. Atif (Lamsade, Dauphine) -ANR. LOGIMA.
  - Importance de la connaissance et du raisonnement.

# Classification d'images médicales avec explication



Organ 1 is the left lung **because** it is *to the right of* the right lung (organ 2), it is *symmetrical* to organ 2 and it is *above* the spleen (3).

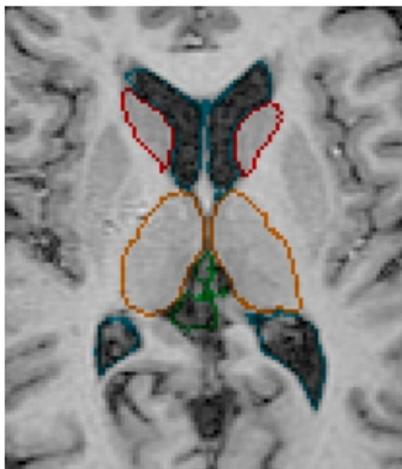
Organ 7 is the bladder **because** it is *stretched*, it is *below* the right kidney (6) and *below* the left kidney (5).

Organ 4 is the liver **because...**

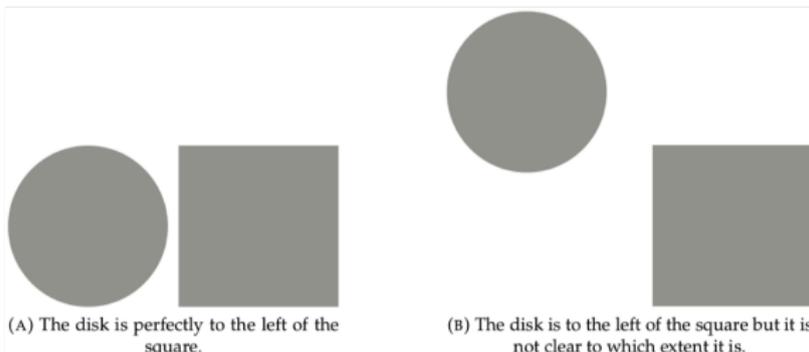
# Importance de l'information spatiale pour l'interprétation d'images

[Freeman,75] [Biederman,81]

- Plus stables et plus fiables que les autres caractéristiques visuelles.
- Portent une information structurelle importante.
- Raisonnement spatial.

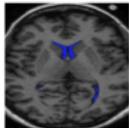


# Cadre flou pour la prise en compte de l'imperfection



## Imperfection

### Objets



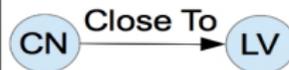
**TAGS**  
Zoo  
Animal  
**Cat**  
...

### Relations

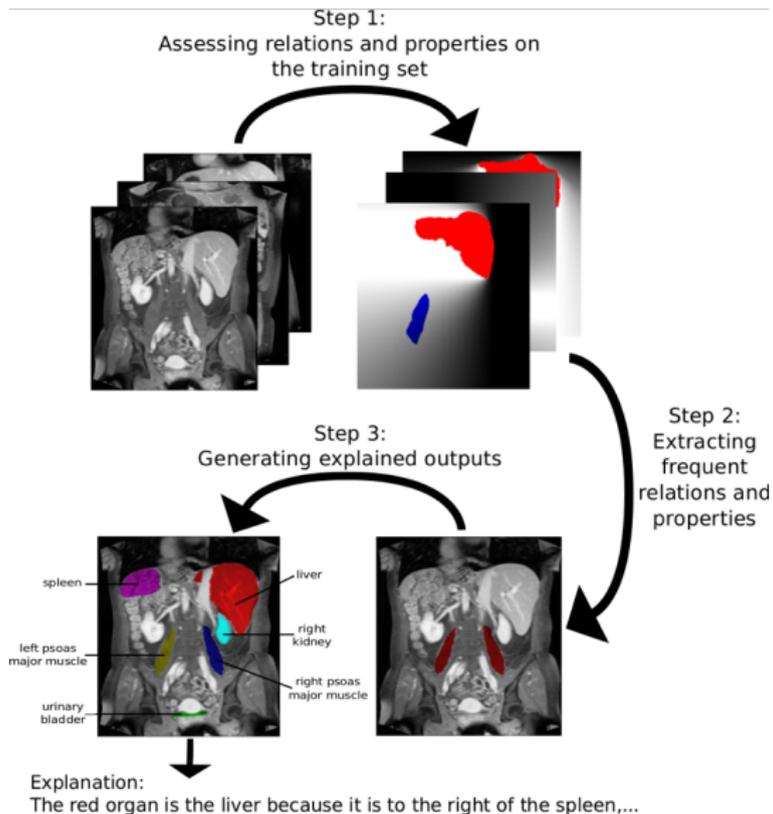


**A droite**

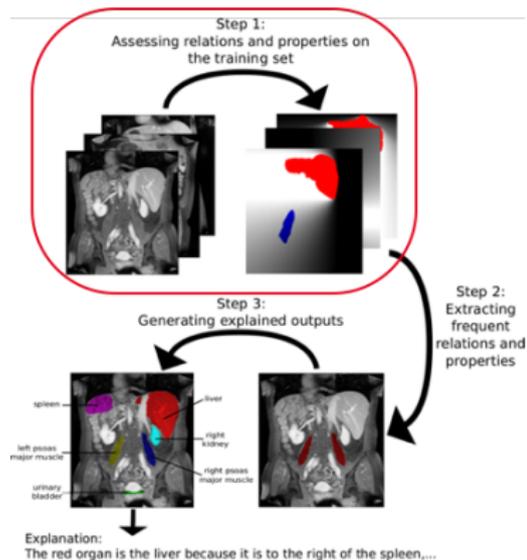
### Connaissance



# Approche proposée : en 3 étapes



# Etape 1 : apprentissage de relations floues



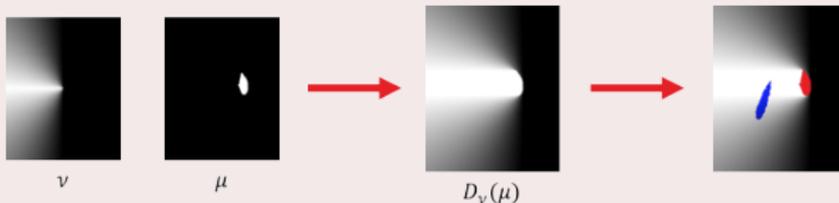
- Définition d'un catalogue de relations et de propriétés.
- Calcul de toutes les relations n-aires pour tous les possibles n-tuples.
- Proposition avec L. Cabaret d'une optimisation bas niveau et parallélisation du calcul des dilatations floues.

# Etape 1 : apprentissage de relations floues

Représentations floues des relations spatiales [Bloch,05]

Deux questions :

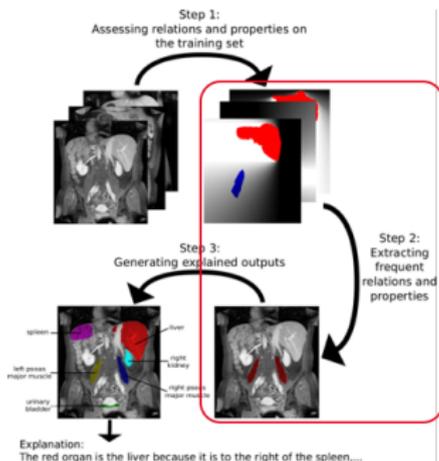
- Etant donné deux objets (flous ou non), quel est le degré avec lequel une relation est satisfaite entre ces deux objets ?
- Etant donné un objet de référence, quelle est la région de l'espace dans laquelle une relation à cet objet est satisfaite (à un certain degré) : paysage flou ?



$$\mu_{int}(\mu, \nu) = \frac{V(\min(\mu, \nu))}{\min(V(\mu), V(\nu))} \text{ with } V(\mu) = \sum_{x \in S} \mu(x) \text{ and } S \text{ the domain of the image [Bloch, 2005]}$$

Toutes les relations sont calculées

# Etape 2 : Extraction des relations pertinentes



- Hypothèse : **pertinence = fréquence.**
- Problème d'extraction de motifs fréquents.

# Etape 2 : Extraction des relations pertinentes

## Point de départ : Algorithme CLOSE [Pasquier,99]

- Opérateur de fermeture :

- 1  $\forall I \subset A, I \subset h(I)$

- 2  $\forall I \subset A, h(h(I)) = h(I)$

- 3  $\forall I, J \subset A, I \subset J \Rightarrow h(I) \subset h(J)$

- Ensemble fermé :  $I = h(I)$

- Ensemble fréquent :  $\text{support}(I) > \text{minimum support}$

- Deux étapes :

- 1 Génération de tous les ensembles fréquents fermés.

- 2 Dédution de tous les ensembles fréquents.

# Etape 2 : Extraction des relations pertinentes

## Fuzzification de l'algorithme CLOSE

### [Pierrard, 2018 - FUZZ IEEE]

- Introduction d'un nouvel opérateur de fermeture pour gérer les relations floues à partir des opérateurs  $\uparrow$  et  $\downarrow$  de [Belohlavek, 2004]. Soit  $\langle \mathcal{O}, \mathcal{A}, \mathcal{R} \rangle$  un contexte formel flou,  $X$  un ensemble flou d'objets et  $Y$  un ensemble flou d'attributs :

$$\forall a \in \mathcal{A}, \mu_{X\uparrow}(a) = \bigwedge_{o \in \mathcal{O}} (\mu_X(o) \rightarrow \mathcal{R}(o, a)) , \quad (1)$$

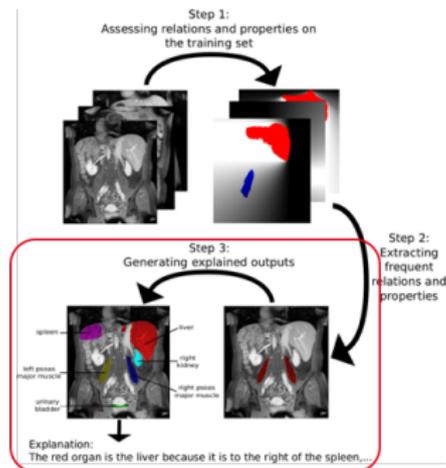
$$\forall o \in \mathcal{O}, \mu_{Y\downarrow}(o) = \bigwedge_{a \in \mathcal{A}} (\mu_Y(a) \rightarrow \mathcal{R}(o, a)) . \quad (2)$$

- Fermeture floue de  $Y$  :  $Y^{\uparrow\downarrow}$  (ensemble flou d'attributs) [Belohlavek, 2001].
- Dans notre cas, en entrée un ensemble net et on le transforme selon

$$\forall a \in \mathcal{A}, \mu_I(a) = \begin{cases} 1, & \text{if } a \in I \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} . \quad (3)$$

- On obtient un ensemble flou, on le transforme en ensemble net selon  $h(Y) = \text{core}(Y^{\uparrow\downarrow})$  : ensemble d'attributs qui sont partagés par tous les objets qui ont tous les attributs de  $Y$ .

# Etape 3 : Génération des explications



- Génération de règles ou de contraintes.
- Problème de satisfaction de contraintes.

## Etape 3 : Génération des explications

- Toutes les relations dans  $I_{(1,k)}, \dots, I_{(n,k)}$ , avec  $I_{(1,k)}$  le sous-ensemble fréquent maximal de relations pour la classe  $k$ , sont traduites en contraintes.

$$C_i = ((\nu_1, \nu_2), R_i)$$

- Modélisation comme un problème de satisfaction de contraintes floues [Dubois,96]

$$X = \{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_{n_X}\}$$

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{n_X}\}$$

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_{n_C}\}$$

- Résolution en 2 étapes :
  - Elagage de l'espace de recherche avec l'algorithme FAC-3 [Dubois,96; Vanegas,16].
  - Backtracking.
- Les explications sont générées à partir des contraintes.

# Etape 3 : Génération des explications

Plus précisément, on a le FCSP suivant

$$X = \{o_{i,1}, \dots, o_{i,K}\} \quad (4)$$

$$D = \{D_j \mid D_j = \mathcal{Y}, 1 \leq j \leq K\} \quad (5)$$

$$C = \{c_{\mathcal{R}}(f(o_{i,v}), f(o_{i,w})) \mid \mathcal{R}(f(o_{i,v}), f(o_{i,w})) \in U \text{ such as } U \subseteq \bigcup_{y \in \mathcal{Y}} F_y^{\max}\} \quad (6)$$

Chaque contrainte  $C$  est évaluée, le FCSP résolu et les labels sont renvoyés.

On obtient  $f_x$  tel que :

$$f_i : \{o_{i,1}, \dots, o_{i,K}\} \rightarrow \mathcal{Y} \quad (7)$$

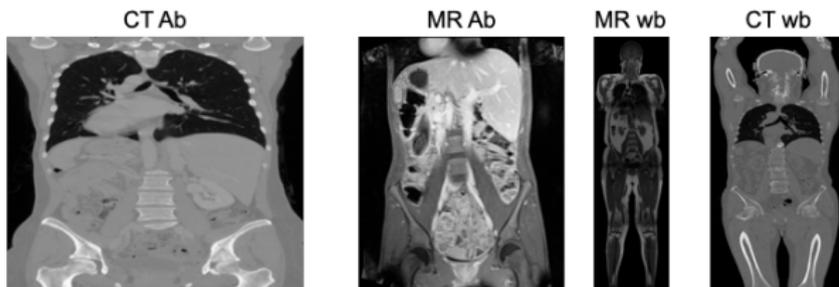
$$o_i \quad \mapsto y_j$$

Pour chaque variable  $o_{i,j} \in X$ , une explication est générée grâce aux contraintes  $C$  (avec les variables linguistiques)

# Exemple d'application à l'annotation d'images avec explication

Jeu de données provenant du projet VISCERAL

- Images CT et MR.
- Corps complet et abdomen.
- 39 images.
- 7 organes à annoter sur chaque image



Ab = Abdomen  
wb = whole body

Mid-thesis defense | 29/11/2018 | Régis Pierrard

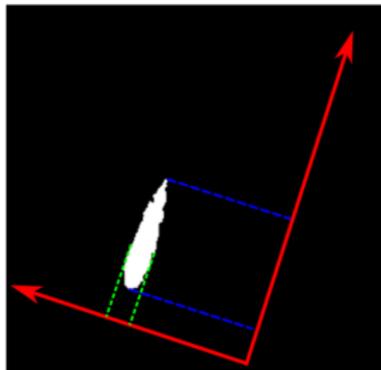
# Exemple d'application à l'annotation d'images avec explication

## CSP

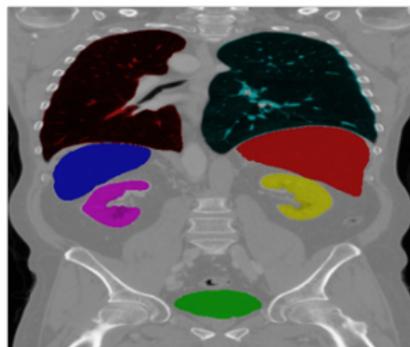
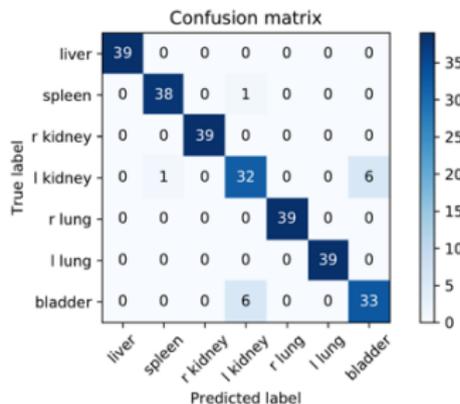
- Un ensemble de variables  $X$  : les regions de l'image obtenues après segmentation.
- Un ensemble de domaines  $D$  : les organes
- Un ensemble de contraintes  $C$  : les relations et propriétés floues.

## Relations spatiales floues

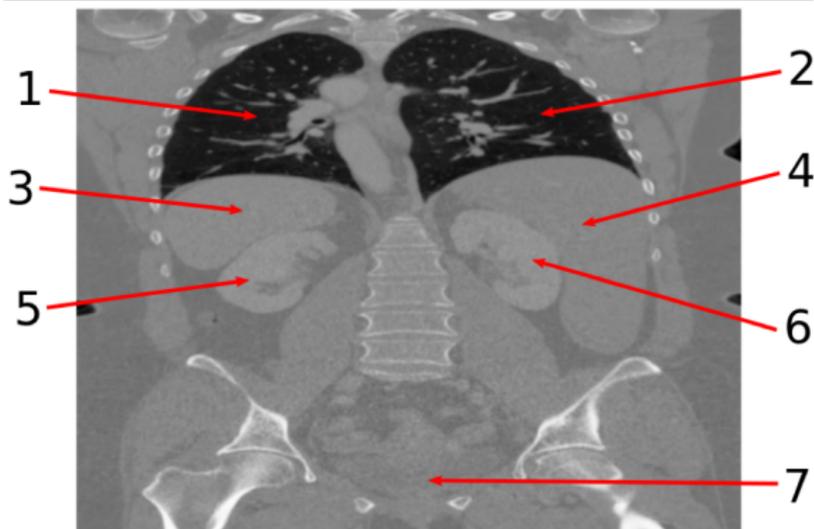
- Au dessus [Bloch,99]
- En dessous [Bloch,99]
- A gauche [Bloch,99]
- A droite [Bloch,99]
- Symétrique [Colliot,04]
- Etiré



# Exemple d'application à l'annotation d'images avec explication



# Classification d'images médicales avec explication



Organ 1 is the left lung **because** it is *to the right of* the right lung (organ 2), it is *symmetrical* to organ 2 and it is *above* the spleen (3).

Organ 7 is the bladder **because** it is *stretched*, it is *below* the right kidney (6) and *below* the left kidney (5).

Organ 4 is the liver **because...**

# Conclusion

- Quelques contributions pour l'interprétation d'images avec explication.
  - Importance de la connaissance experte : sous forme d'annotations, sous forme de bases de connaissances.
  - Importance du raisonnement.
  - Nécessité de tirer partie des différentes familles d'approches.
  - Problème de l'évaluation de l'explication.