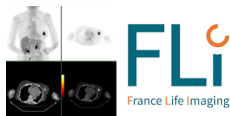


Approches hiérarchiques pour la segmentation des images TEP/TDM pour le lymphome

Eloïse Grossiord

Institut Universitaire du Cancer de Toulouse (IUCT) - Oncopôle

Workshop FLI
« Avancées récentes en analyse d'images
médicales multi-modales »



22 Mars 2018

Collaborations

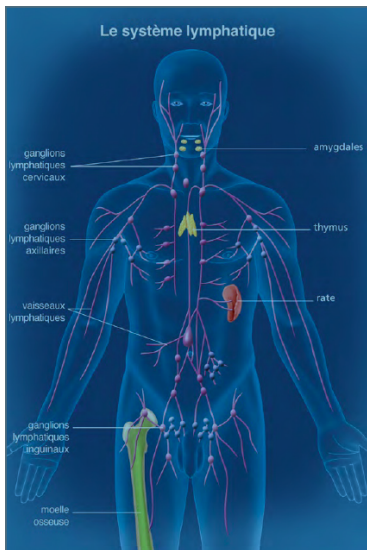
UNIVERSITÉ
— PARIS-EST

ESIEE
PARIS



- 1 Contexte et objectif
- 2 Interactivité et sélection sur critère simple en TEP
- 3 Apprentissage et critères multimodaux
- 4 DAG-shapings : Intégration de la multimodalité structurelle
- 5 Conclusion et perspectives

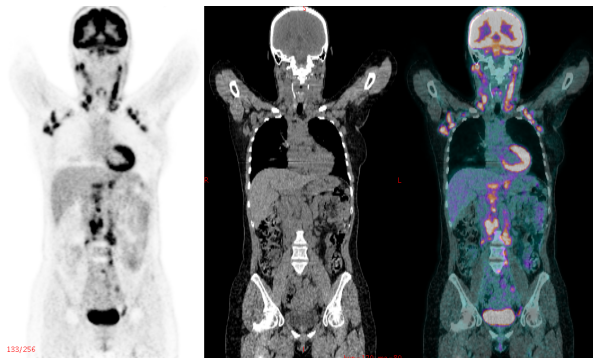
Le lymphome



- Cancer du système lymphatique, principal élément du système immunitaire de l'organisme
- 6^{ème} rang de cancer en France
- Présence de multiples lésions dans différentes localisations

L'imagerie pour le lymphome

- TEP au ^{18}F -FDG/TDM : **gold standard** pour le lymphome
- Utilisation massive de l'imagerie
 - Détection de tumeurs, diagnostic, bilan d'extension
 - Évaluation de la réponse thérapeutique (chimiothérapie)
 - Extraction de paramètres quantitatifs (activité métabolique, volume, etc.)

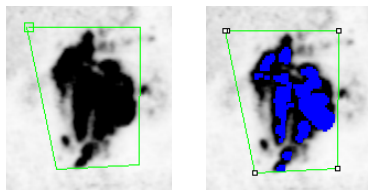


- Forte interaction (ROI, initialisation et paramètres à fixer)
- Variabilité inter-/intra-utilisateur/système
- Procédures longues et fastidieuses → utilisation clinique difficile
- Dépendance pré-/post-traitements

Référence pour la segmentation du lymphome

La méthode de référence pour la segmentation du lymphome reste le

seuillage à 2,5 de SUV ou 41% du SUV_{max} dans une ROI définie manuellement



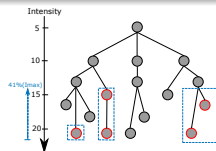
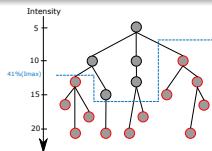
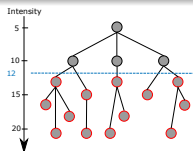
- Contrôle/validation/confiance du résultat pour le clinicien
- Procédure **laborieuse** pour le lymphome pour les cas complexes
 - Lymphome : Très nombreuses tumeurs, localisations multiples, variabilité de distribution d'intensité et de contraste

Objectif : Proposer une méthode de **détection automatique, facile d'utilisation et intuitive** de **toutes** les lésions dans le lymphome **dans le corps entier** avec **un seul** paramètre facile à tuner

Nous proposons l'utilisation de l'arbre de coupes, et en particulier du **max-tree**.

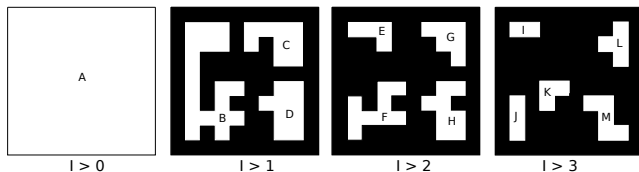
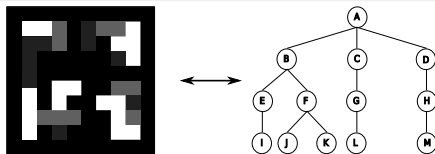
Critères de choix

- Adapté à la représentation d'objets d'intérêt correspondant à des maxima d'intensité
- Adapté au développement de méthodes de segmentation interactive et temps-réel
- Représentation basée sur une décomposition par seuillage de l'image
→ Intègre les principales stratégies de seuillage (fixe, adaptatif, boîtes englobantes)



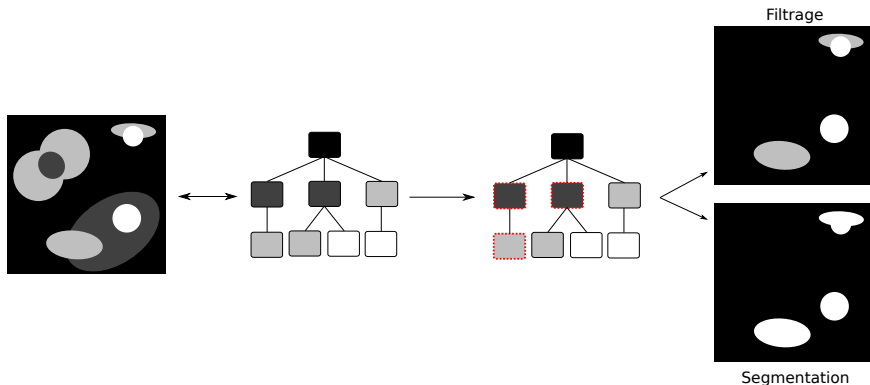
Max-tree : définitions

$\Gamma_v = \{x \in \Gamma \mid v \leq \mathcal{F}(x)\}$: seuillages successifs de \mathcal{I}



Max-tree $\mathcal{C}\mathcal{T}$: propriétés

- Des traitements d'images basiques peuvent être interprétés comme des opérations sur les noeuds de l'arbre
 - Segmentation, filtrage = sélection de noeuds d'intérêt basée sur attribut descriptif stocké en chaque noeud

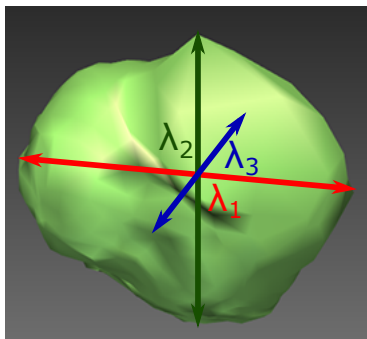


- 1 Contexte et objectif
- 2 Interactivité et sélection sur critère simple en TEP
- 3 Apprentissage et critères multimodaux
- 4 DAG-shapings : Intégration de la multimodalité structurelle
- 5 Conclusion et perspectives

- 1 Contexte et objectif
- 2 Interactivité et sélection sur critère simple en TEP**
- 3 Apprentissage et critères multimodaux
- 4 DAG-shapings : Intégration de la multimodalité structurelle
- 5 Conclusion et perspectives

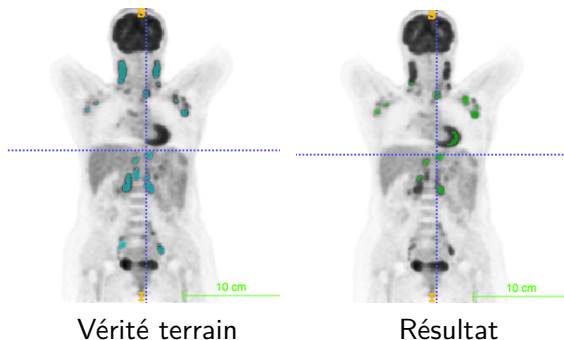
Objectif : Sélection interactive et temps réel des régions d'intérêt sur un critère scalaire simple

Description des régions par un attribut de compacité



$$\text{compacité} = \left| \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \right|$$

- attribut non monotone
- **Shapings** [Xu et al., PAMI, 2016]
- Interactivité (recherche linéaire du seuil)



- Détection automatique de la majorité des sites tumoraux
- Faux négatifs : compacité non représentative de toutes les lésions
- Faux positifs, hyperfixations physiologiques (coeur)

Intégration industrielle : Viewer Keosys

KEOSYS Medical Imaging Keosys
11007101072006 ID1/01/1900
--- (07/21/2008)

BL - GENERAL BL - TRANSV -1 BL - TRANSV -2 BL - MPR -1 BL - MPR -2 BL - ALL -1 BL - ALL -2 BL - CORONAL BL - ALL FUSION + MIP BL - Fusion/CT/PET - MPR Default

Allegro Body(C)
Ex ID: 8972
p761550_BOU_dta...resamp.imp: 3D-RAM...

01/01/1900 - F - 057Y Ex ID: 8972
p761550_BOU_dta... Ser: 308741
09:55

01/01/1900 - F - 0
Ex ID: 8972
p761550_BOU_dta... Ser: 308741
09:56

01/01/1900 - F - 0
Ex ID: 8972
p761550_BOU_dta... Ser: 308741
09:56

Segmentation VCI
Segmentation type: K3D_PET-SGM-L8T-GGR
Search area: Load Background
Threshold: 50

Recon: 3D-RAMLA
Recon Q: 600 mm
150 x 150

Isotope: Fluoro
LL: 0.0 ULI: 5.0
Thk: 4.00 mm

DUAL GS
Ex ID: 8972

PET-CT STANDARD/Body/Hx
Ser: 9269

50 mm

Recon: 3D-RAMLA
Recon Q: 600 mm
512 x 512

Isotope: Fluoro
LL: 0.0 ULI: 5.0

Recon: 3D-RAMLA
Recon Q: 600 mm
150 x 229

Isotope: Fluoro
LL: 0.0 ULI: 5.0

01/01/1900 - F - 0
Ex ID: 8972
p761550_BOU_dta... Ser: 308741
09:56

MIP p761550_BOU_dta... H

20 cm

Recon: 3D-RAMLA
Recon Q: 600 mm
150 x 229

Isotope: Fluoro
LL: 0.0 ULI: 5.0

01/01/1900 - F - 0
Ex ID: 8972
p761550_BOU_dta... Ser: 308741
09:56

50 mm

Kernel: S
Recon Q: 600 mm
512 x 512

Thk: 1.17 mm
312 x 383

Thk: 1.17 mm
312 x 383

LL: -130.0 ULI: 21.0

LL: -130.0 ULI: 21.0

Loop Angular

Intégration industrielle : PET/CT ImageJ viewer

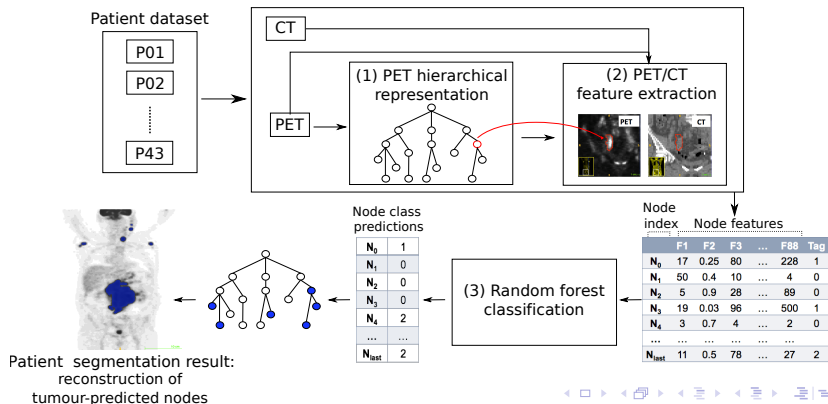
The screenshot displays the ImageJ Pet-Ct viewer interface. The title bar shows the file path: "Pet-Ct: 11007101142002-pre 108y 11007101142002pre Dec 29, 2008 null p10754s0_rie_ctac.img: 3d-ramla". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Window", and "Help". The toolbar shows various icons, including a magnifying glass and a MIP (Maximum Intensity Projection) button. The main window displays three views: a PET image on the left, a CT image in the center, and a fused PET/CT image on the right. A blue segmentation mask is overlaid on the PET and fused images. A green rectangular box highlights the region of interest in all three views. A red "82/144" label is visible in the bottom left corner of the PET view. A dialog box titled "Brown fat volume" is open in the foreground, with tabs for "ROI", "follow up", "3D", "mask", "nifti", and "other". The dialog prompts the user to "Please define where the NIFTI data will be stored." and shows the path: "J:/MICCAI/Exams_MONDOR_Lymphom/TheShire/P14563/test_Fiji". A text field contains the coordinates "30 2 500 0 90 0 256". There are checkboxes for "Use the axial and coronal views to define limits for the search" and "use Nifti in external programs". The dialog also includes buttons for "Done 0:03", "About", "Experimental grow", and "make 4 Nifti files", along with a checkbox for "use grown mask".

Détection des tumeurs sur critère simple de compacité via le max-tree

- + **Détection automatisée** des sites tumoraux potentiels
- + **Reproductibilité**
- + **Disponibilité** de la méthode au sein de logiciels propriétaire et open source
- + **Gain en temps** : surtout pour les patients les plus complexes (qques min à qques h)
- + Utilisation clinique (corrélation de 0.9)
- **Compacité non représentative** de toutes les lésions
- Présence de **faux positifs** physiologiques
- **Précision** à améliorer

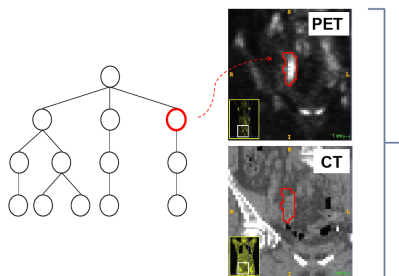
- 1 Contexte et objectif
- 2 Interactivité et sélection sur critère simple en TEP
- 3 Apprentissage et critères multimodaux**
- 4 DAG-shapings : Intégration de la multimodalité structurelle
- 5 Conclusion et perspectives

Principe : Utilisation de **critères multimodaux** TEP/TDM par **apprentissage supervisé** (forêts aléatoires) pour **automatiser** la détection des lésions dans le lymphome



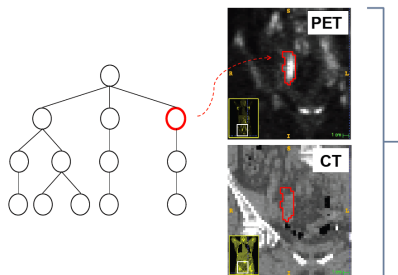
Caractérisation multimodale TEP/TDM

- ◆ Caractérisation de chaque noeud par un ensemble de descripteurs calculés sur les modalités TEP et TDM



Caractérisation multimodale TEP/TDM

- ◆ Caractérisation de chaque noeud par un ensemble de descripteurs calculés sur les modalités TEP et TDM

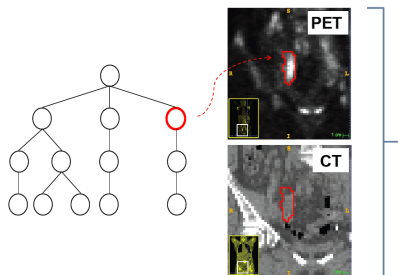


33 descripteurs

- Attributs d'intensité et dérivés de l'histogramme
 - max
 - moyenne
 - skewness
 - kurtosis
 - etc.
- Descripteurs de forme
 - compacité
 - flatness
 - sphéricité
 - etc.
- Attributs de texture d'Haralick, à partir de la GLCM
 - énergie
 - entropie
 - etc.

Caractérisation multimodale TEP/TDM

- ◆ Caractérisation de chaque noeud par un ensemble de descripteurs calculés sur les modalités TEP et TDM



33 descripteurs

- Attributs d'intensité et dérivés de l'histogramme
 - max
 - moyenne
 - skewness
 - kurtosis
 - etc.
- Descripteurs de forme
 - compacité
 - flatness
 - sphéricité
 - etc.
- Attributs de texture d'Haralick, à partir de la GLCM
 - énergie
 - entropie
 - etc.

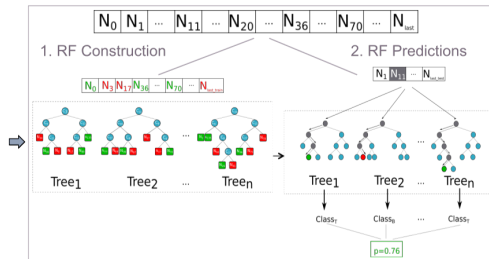
→ Un noeud = 33 descripteurs + classification tumeur/pas tumeur

Apprentissage supervisé par forêts aléatoires

Input :

Nodes index	Nodes characteristics						
	P1	P2	P3	...	P33	Tag	
N_0	17	0.25	80	...	228	1	
N_1	50	0.4	10	...	4	0	
N_2	5	0.9	28	...	89	2	
N_3	19	0.03	96	...	500	1	
N_4	3	0.7	4	...	2	0	
...	
N_{last}	11	0.5	78	...	27	1	

Random Forest



Output : Class predictions

Tumour membership probabilities

N_0	0.92
N_1	0.08
N_2	0.27
N_3	0.78
N_4	0.13
...	...
N_{last}	0.53

Forêts aléatoires

- Modèle d'apprentissage supervisé
- Agrégation d'arbres de décisions
- Bonne gestion corrélation des attributs/surapprentissage

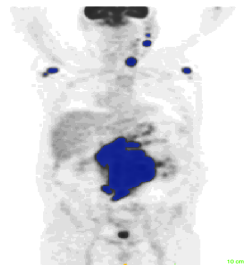
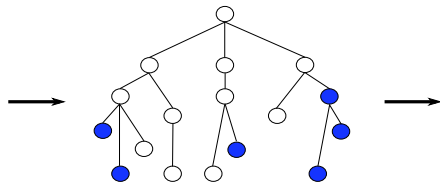
De la classification à la segmentation

Notre méthode de segmentation consiste à conserver les noeuds dont la probabilité d'appartenance à la classe tumeur est plus grande que pour les autres classes :

Class predictions

Tumour membership probabilities

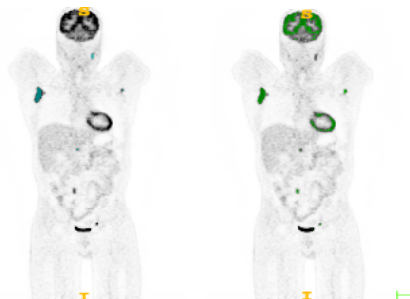
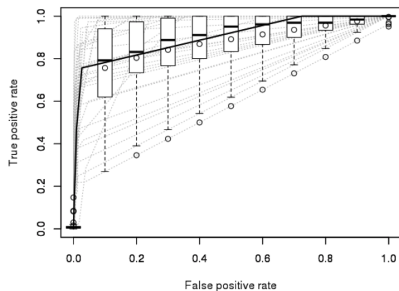
N_0	0.92
N_1	0.08
N_2	0.27
N_3	0.78
N_4	0.13
...	...
N_{last}	0.53



Segmentation

Résultats : 2 classes Tumeur/Non tumeur

47 patients = 47 ROC curves (leave-one-patient-out)

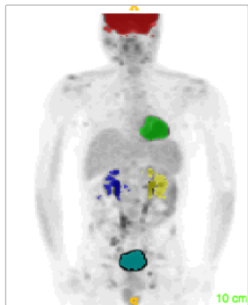


Vérité terrain

Résultat

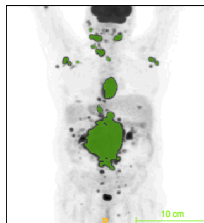
- Résultats encourageants pour 47 patients
- **Détection automatique** de **70%** des foyers tumoraux sans faux positifs
- Au delà -> apparition de faux positifs, incluant des hyperfixations physiologiques

Enrichissement du modèle avec 3 classes

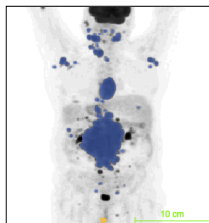


- 3 classes : Tumeurs/Organes/Non pertinent
 - Ajout d'attributs anatomiques :
 - Position anatomique
 - Distance relative par rapport à 6 organes hyperfixants en TEP (au sein de 10 examens de référence = "atlas anatomique")
- Un noeud = 88 descripteurs + classification tumeur/organe/non-pertinent

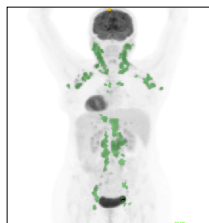
Résultats avec 3 classes



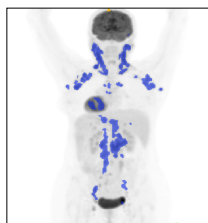
Vérité terrain



Résultat



Vérité terrain



Résultat

- Validation de la RF : **Taux de classification** de **81%** sur l'ensemble des classes
- Détection **automatique** de **92%** des sites tumoraux
- $Sensibilité_{moy} = 0.74$, and $Spécificité_{moy} = 0.99$
- **Surestimation** du volume tumorale de 35 %
- Coefficient de corrélation de Matthew = 0.66

- Les approches hiérarchiques, combinées à des descripteurs multimodaux et une procédure d'apprentissage, sont efficaces pour la détection automatique des foyers tumoraux
- + **Amélioration** de la **précision** par rapport à l'approche compacité
- **Surestimation** volumique à éliminer
 - Procédure d'apprentissage sur une plus large bdd (→ à venir !)
 - Sélection des descripteurs d'importance
 - Élimination préliminaire des organes hyperfixants par un atlas anatomique

- 1 Contexte et objectif
- 2 Interactivité et sélection sur critère simple en TEP
- 3 Apprentissage et critères multimodaux
- 4 DAG-shapings : Intégration de la multimodalité structurelle**
- 5 Conclusion et perspectives

Objectif : **Intégrer** la multimodalité TEP/TDM au sein de la structure hiérarchique

- Image $\mathcal{I} = (\text{TEP}, \text{TDM})$ multivaluée $\rightarrow v = (v_{\text{TEP}}, v_{\text{TDM}})$
- Si (\mathbb{V}, \leq) n'est plus équipé d'un ordre total, la structure hiérarchique associée **n'est plus un arbre**.

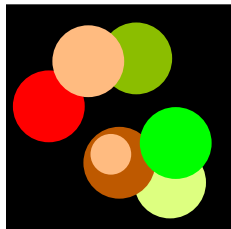
\Rightarrow Utilisation du **component-graph** $\mathcal{C}_{\mathcal{G}}$ pour représenter les images TEP/TDM au sein d'une même structure hiérarchique

Component-graph : définitions

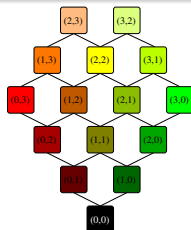
Component-graphs [Passat,Naegel, JMIV, 2014] : Extension de l'arbre de coupes aux images multivaluées

- Extension de la notion de composante connexe à **composante connexe valuée** : $\Theta = \bigcup_{v \in \mathbb{V}} \mathcal{C}[\mathcal{G}_v] \times \{v\}$
- Définition d'une **relation d'ordre** \trianglelefteq sur Θ as

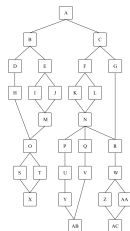
$$(X_1, v_1) \trianglelefteq (X_2, v_2) \Leftrightarrow \begin{cases} (X_1 \subset X_2) \vee \\ (X_1 = X_2 \wedge v_2 \leq v_1) \end{cases}$$



\mathcal{I}



(\mathbb{V}, \prec)



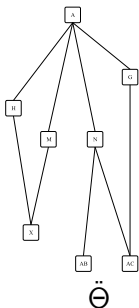
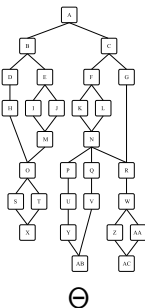
Θ

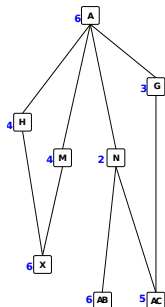
Component-graph : définitions

Différentes versions du component-graph

Possibilité de définir différents sous-ensembles de Θ , menant à différentes versions du component-graph plus ou moins riches

- $\dot{\Theta}$: éléments maximaux vis à vis de \trianglelefteq
- $\ddot{\Theta}$: sup-generateurs de \mathcal{I} (i.e. les composantes qui forment le support spectral de l'image \mathcal{I})





Graphe de coupes $\mathcal{C}\mathcal{G}$

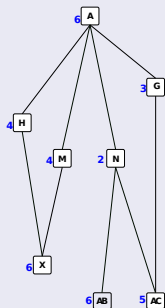
- construit sur les niveaux d'intensité de \mathcal{I}
- valué par l'attribut \mathcal{V}

Problématique : Coût important de sélection des noeuds d'intérêt au sein du graphe de coupes

- Combinaison du graphe de coupe avec le shapings [Xu *et al.*, PAMI, 2016]
 - Développement d'opérateurs connexes applicables aux images multivaluées
 - Propriété du shapings : sélection de noeud interactive et temps-réel

DAG-shapings : fonctionnement

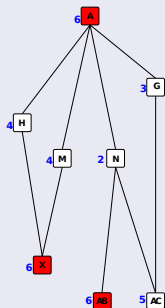
→ Construction du \mathcal{CT} de \mathcal{CQ} à partir des valeurs de \mathcal{V}



$$\{\Theta \in \mathcal{CQ} \mid \mathcal{V}(\Theta) \geq v\}$$

DAG-shapings : fonctionnement

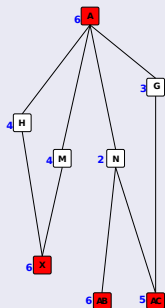
→ Construction du \mathcal{CT} de \mathcal{CQ} à partir des valeurs de \mathcal{V}



$$\{\theta \in \mathcal{CQ} \mid \mathcal{V}(\theta) \geq 6\}$$

DAG-shapings : fonctionnement

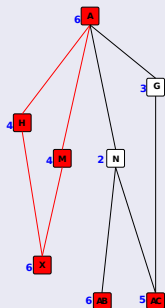
→ Construction du \mathcal{CT} de \mathcal{CQ} à partir des valeurs de \mathcal{V}



$$\{\theta \in \mathcal{CQ} \mid \mathcal{V}(\theta) \geq 5\}$$

DAG-shapings : fonctionnement

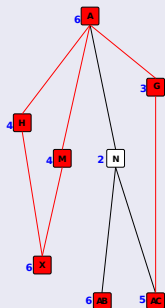
→ Construction du \mathcal{CT} de \mathcal{CQ} à partir des valeurs de \mathcal{V}



$$\{\theta \in \mathcal{CQ} \mid \mathcal{V}(\theta) \geq 4\}$$

DAG-shapings : fonctionnement

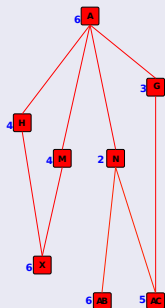
→ Construction du \mathcal{CT} de \mathcal{CQ} à partir des valeurs de \mathcal{V}



$$\{\theta \in \mathcal{CQ} \mid \mathcal{V}(\theta) \geq 3\}$$

DAG-shapings : fonctionnement

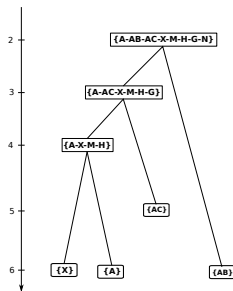
→ Construction du \mathcal{CT} de \mathcal{CQ} à partir des valeurs de \mathcal{V}



$$\{\theta \in \mathcal{CQ} \mid \mathcal{V}(\theta) \geq 2\}$$

DAG-shapings : fonctionnement

→ Construction du \mathcal{CT} de \mathcal{CG} à partir des valeurs de \mathcal{V}

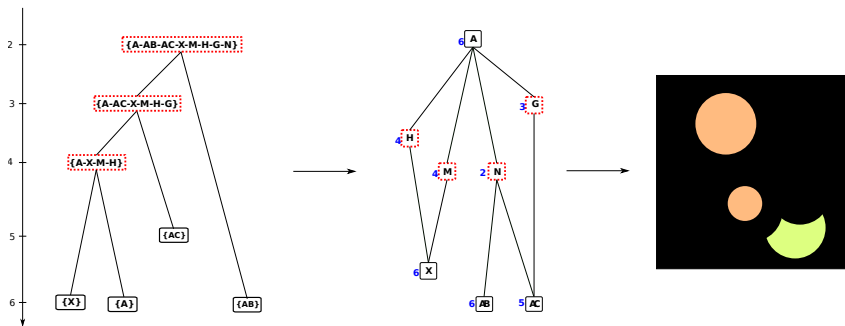


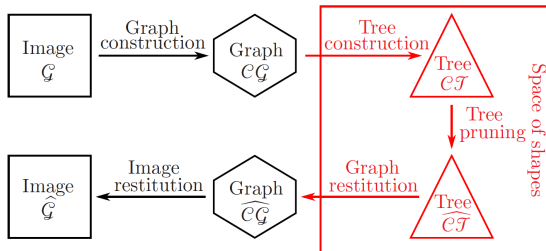
→ \mathcal{V} se retrouve monotone dans \mathcal{CT}

→ Permet une sélection de noeuds interactive et temps réel sur \mathcal{V} dans \mathcal{CT}

DAG-shapings : fonctionnement

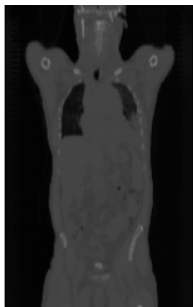
→ \mathcal{CT} filtré → \mathcal{CQ} filtré → \mathcal{I} filtrée



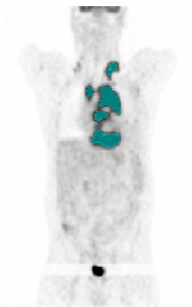


- Construction d'un **arbre sur un graphe**
- Sélection des noeuds au sein de l'arbre de coupes $\mathcal{C}\mathcal{T}$ plutôt que dans le graphe de coupes $\mathcal{C}\hat{\mathcal{G}}$.
- Sélection interactive et online à un niveau sémantique supérieur.
- **Extension** de l'approche du shapings pour les images multivaluées.

Filtrage des images TEP/TDM avec attribut de compacité



TDM



TEP + Vérité terrain



Résultat de filtrage

- Discrimination des hyperfixations physiologiques des pathologiques
- Temps de calcul long (complexité combinatoire)

- + Moins de faux positifs physiologiques qu'avec l'approche compacité
- + Preuve de concept
- Temps de calcul long (complexité combinatoire)

- 1 Contexte et objectif
- 2 Interactivité et sélection sur critère simple en TEP
- 3 Apprentissage et critères multimodaux
- 4 DAG-shapings : Intégration de la multimodalité structurelle
- 5 Conclusion et perspectives

- Premières applications des approches hiérarchiques, en particulier du max-tree, pour la segmentation TEP
 - Segmentation et analyse automatique généralisé au corps entier
 - Traitement interactif et temps réel
- Combinaison d'informations multimodalités → amélioration de la précision
 - Description des régions
 - Construction des noeuds de la hiérarchie
- Considérer des attributs multimodaux au sein du component-graph : extension du DAG-shapings aux attributs multivaluées (graphe sur un graphe)

Merci de votre attention !

Des questions ?

contact : *eloise.grossiord@gmail.com*