



Rehaussement de vaisseaux sanguins appliqué aux images médicales 3D

Jonas Lamy

Jury

Erwan Kerrien

Sylvie le Hégarat

Laurent Najman

Antoine Vacavant

Julien Finet

Bertrand Kerautret

Nicolas Passat

Odyssée Merveille

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Invité

Directeur de thèse

Directeur de thèse

Co-encadrante de thèse

Inria Grand Est

Université Paris-Saclay

Université Gustave Eiffel

Université Clermont Auvergne

Kitware SAS

Université Lyon 2

Université Reims Champagne-Ardenne

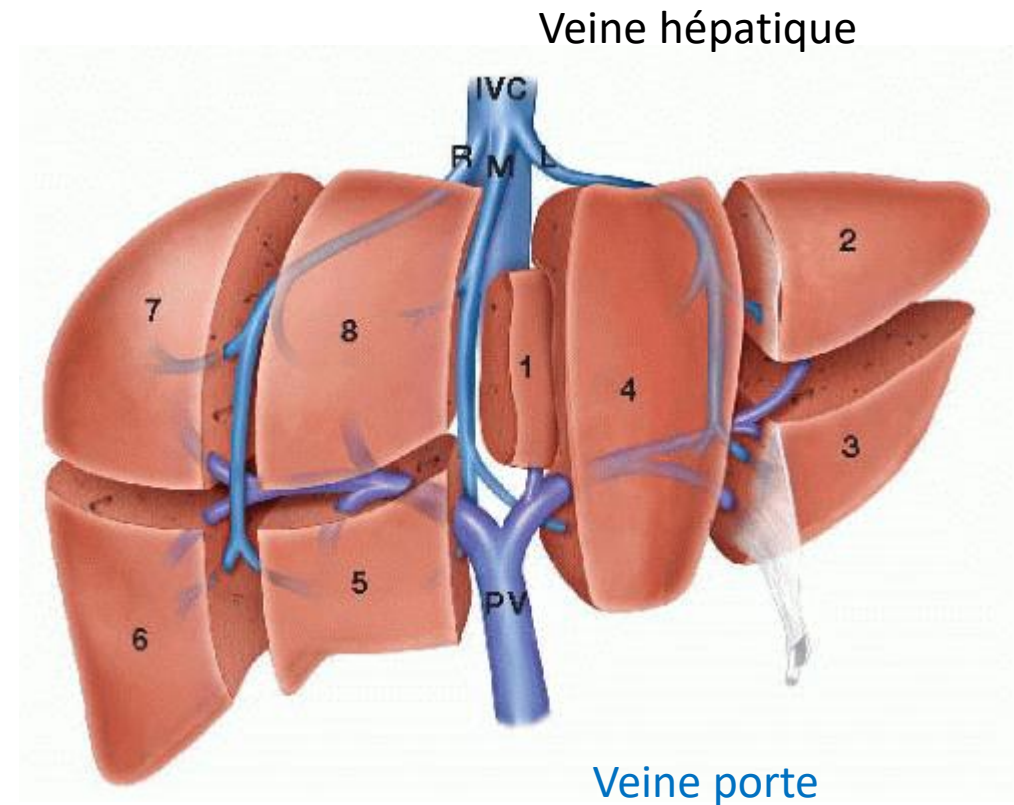
INSA Lyon

Contexte – Besoin clinique

R·Vessel·X

OBJECTIFS

- Identification et extraction des vaisseaux du foie
- Schéma de Couinaud
 - Planification opératoire
 - Extraction de tumeurs



Segments de Couinaud

Contexte – Besoin clinique

Focus du projet

- Tomodensitométrie (TDM)
 - Modalité courante
 - Comporte des risques (rayons X)

- Créer des algorithmes pour l'imagerie par résonance magnétique (IRM)
 - Utilisation de plus en plus fréquente



TDM



IRM

Contexte – Nouvelle modalité... nouveaux outils ?

Les outils d'extraction des vaisseaux en TDM sont-ils transposables en IRM ?

- Filtres de rehaussement de vaisseaux
 - Etape de filtrage qui est courante dans la littérature
 - Conditionne la suite des traitements
 - Méthodes adaptées aux données 3D
 - Ne nécessite pas de données annotées

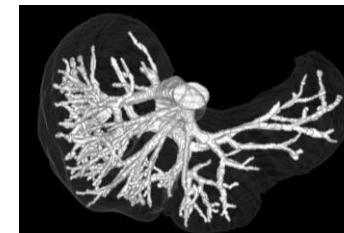
Image



Filtrage

Suppression
des petits
éléments

Segmentation



Contexte – Nouvelle modalité... nouveaux outils ?

- Filtres de rehaussement de vaisseaux
 - Nombreux filtres dans la littérature (TDM)
 - Rarement évalués seuls

Difficile de définir le filtre idéal pour le couplage IRM/foie

Contexte – Objectif de la thèse

Axes de travail - Propositions

- Jeux de données limités – Logiciel d'annotations
- Manque de lisibilité de la littérature – Banc de test reproductible
- Quels filtres utiliser pour notre contexte applicatif ? – Analyse des filtres

Contexte – Objectif de la thèse

Axes de travail - Propositions

- Jeux de données limités – Logiciel d'annotations
- Manque de lisibilité de la littérature – Banc de test reproductible
- Quels filtres utiliser pour notre contexte applicatif ? – Analyse des filtres

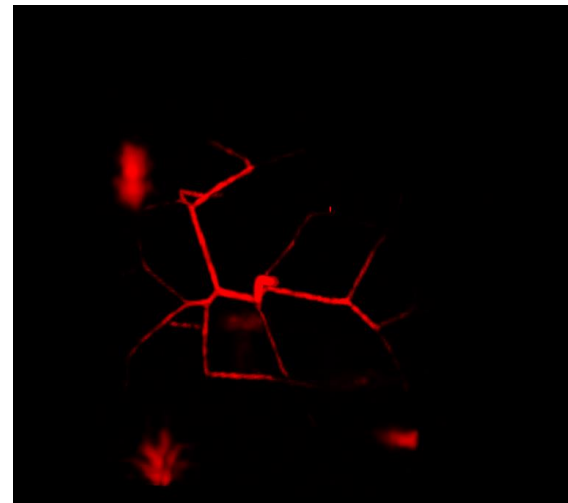
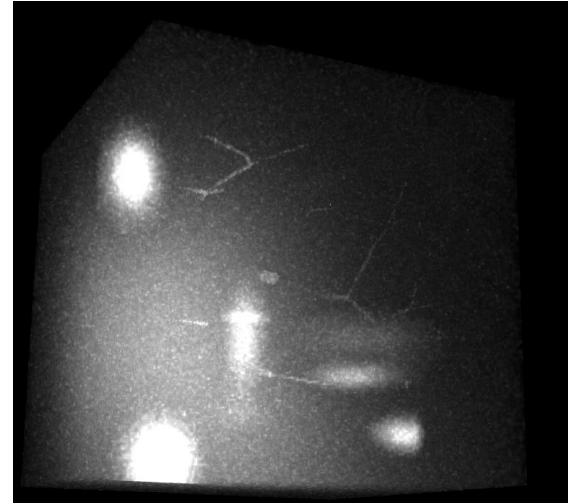
Contexte – Plan de la présentation

1. **Etat de l'art des filtres de rehaussement**
2. Description du banc de test
3. Analyse des filtres
4. Conclusion et perspectives

Rehaussement – Définition

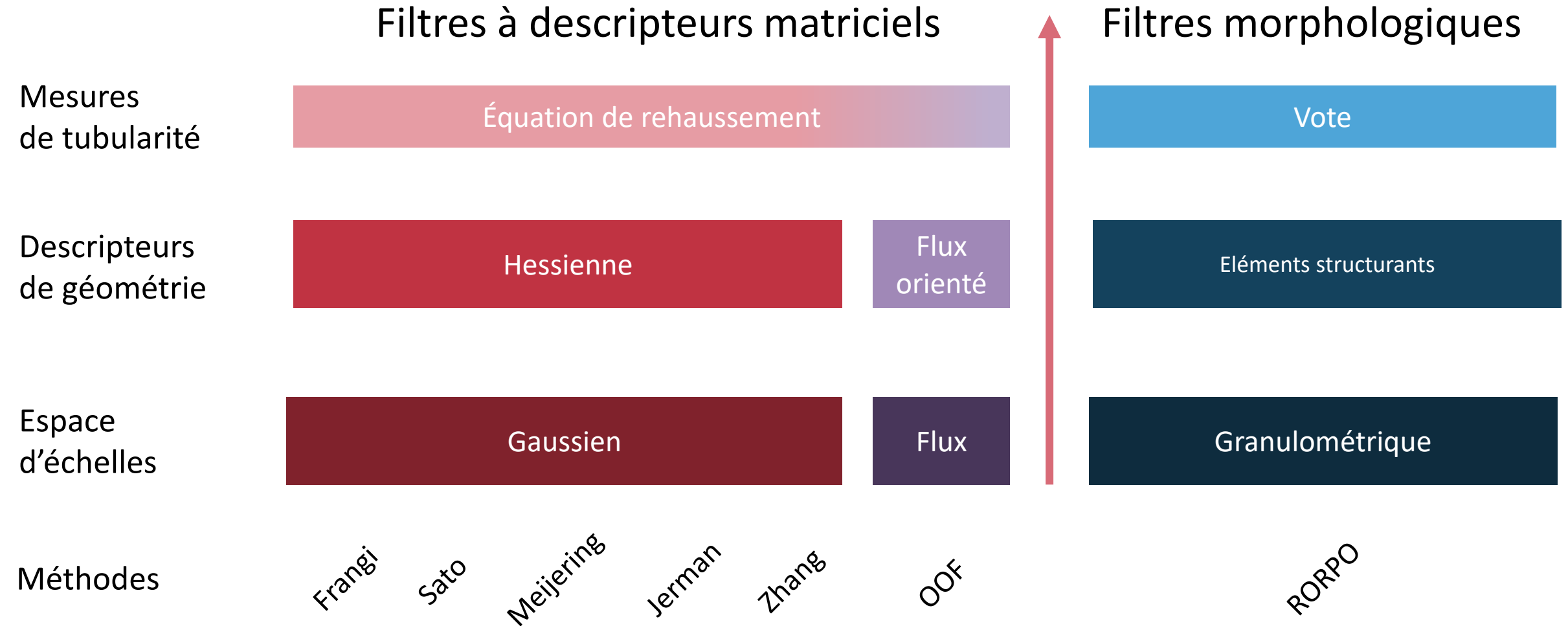
Propriétés désirées

- Détecte les structures tubulaires
- Améliore le signal des vaisseaux
- Filtre le signal des autres structures



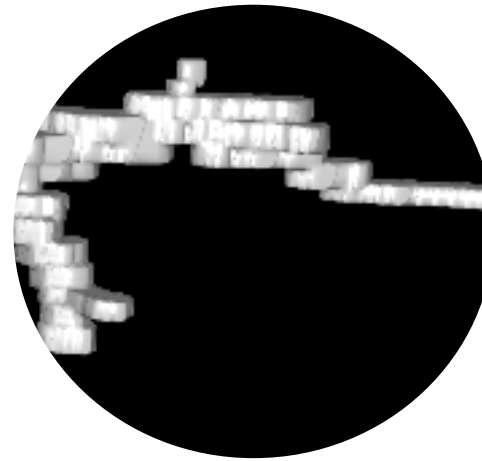
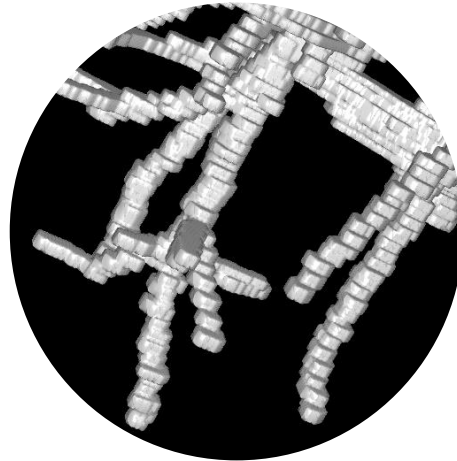
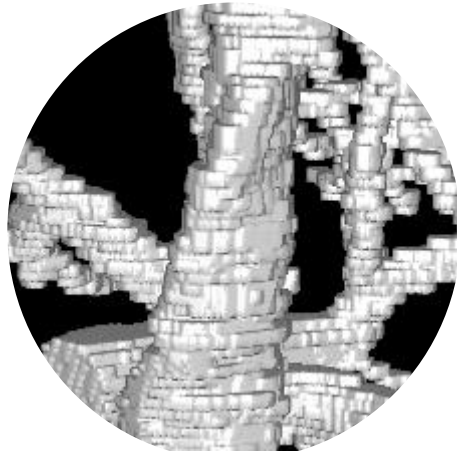
Filtre de Frangi

Rehaussement – Familles



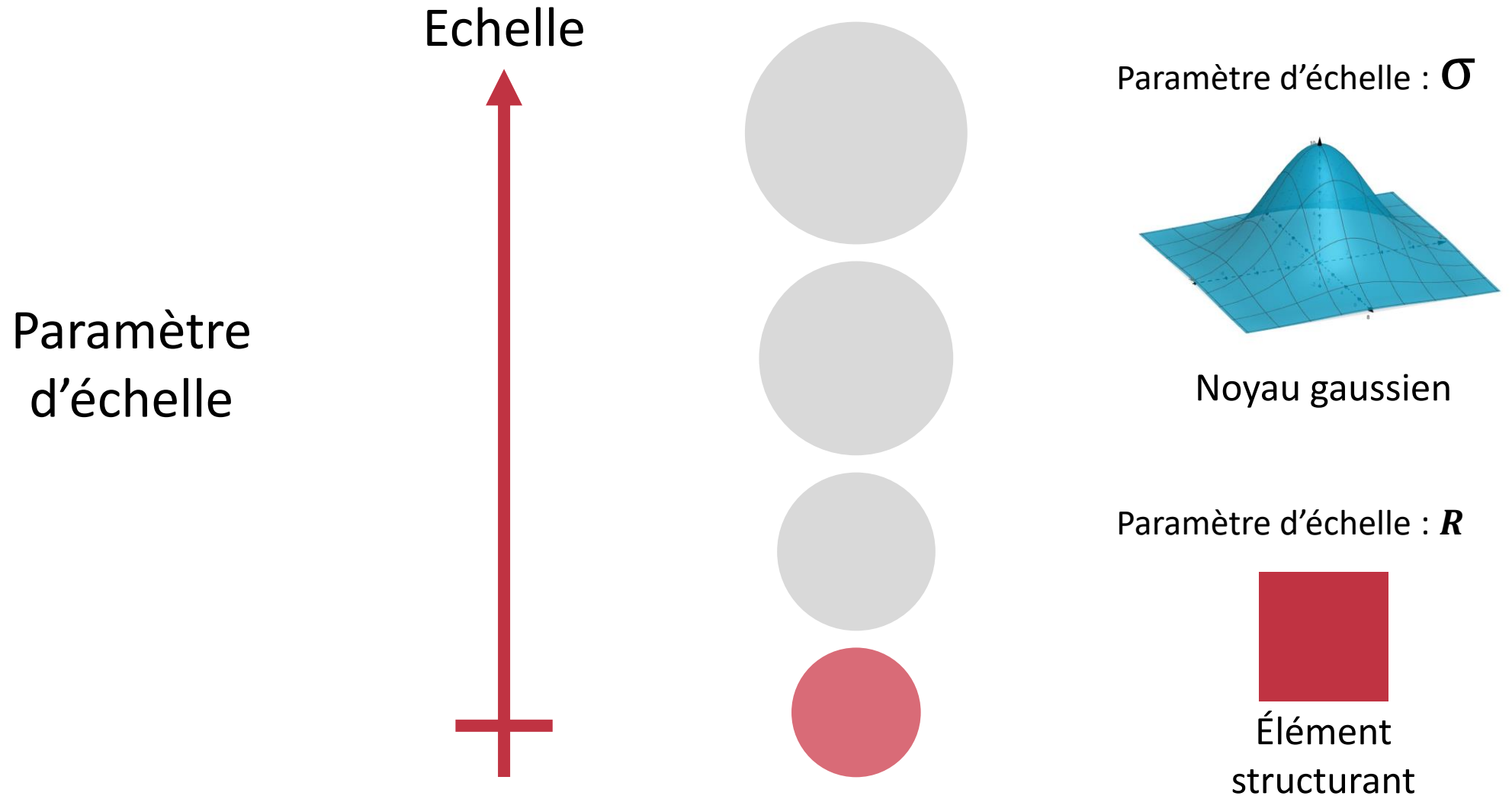
Rehaussement – Espace d'échelles

Comment appliquer un même algorithme à une variété de vaisseaux ?

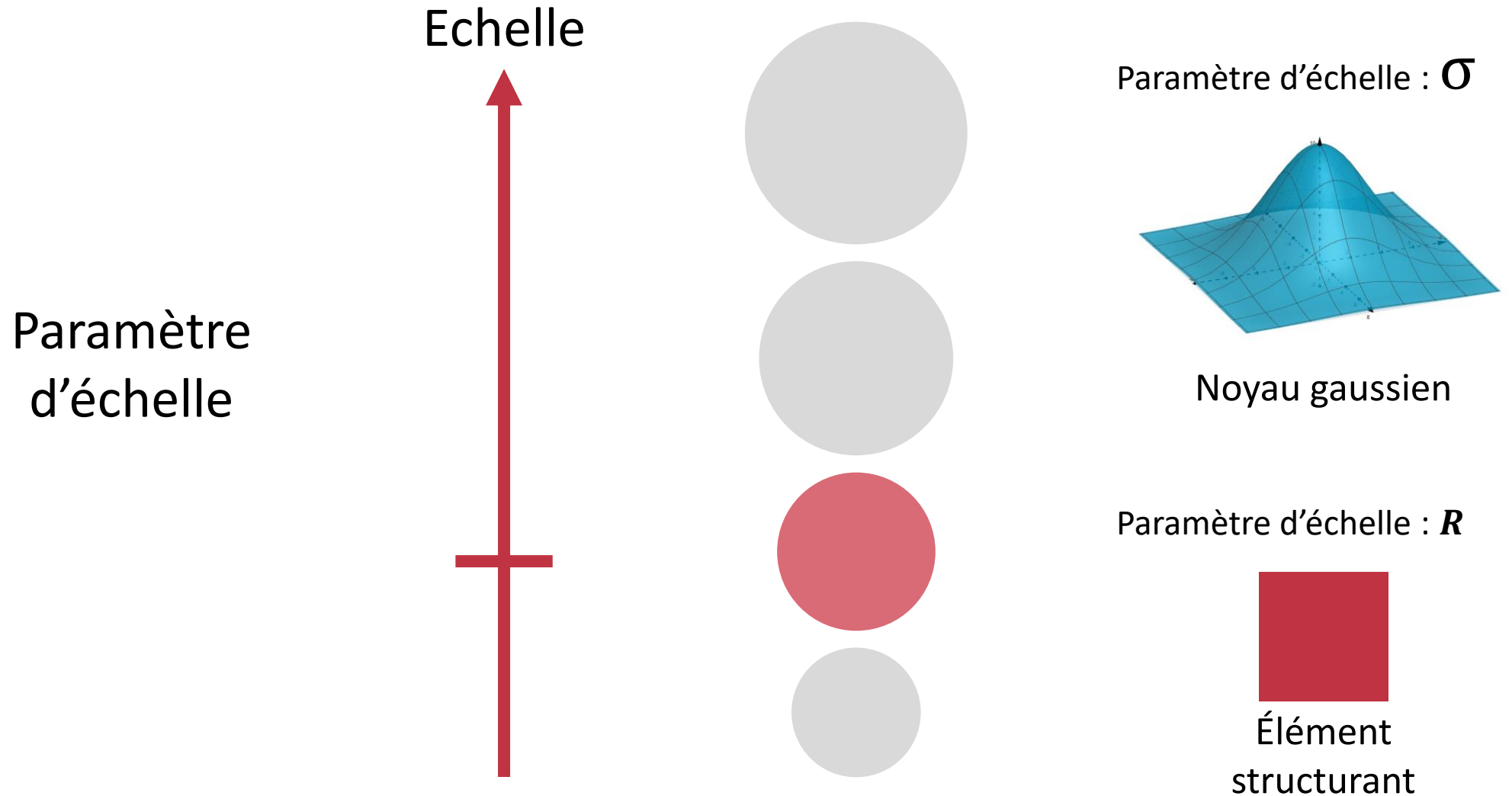


Unifier les traitements avec un espace d'échelles

Rehaussement – Espace d'échelles



Rehaussement – Espace d'échelles



Rehaussement – Espace d'échelles

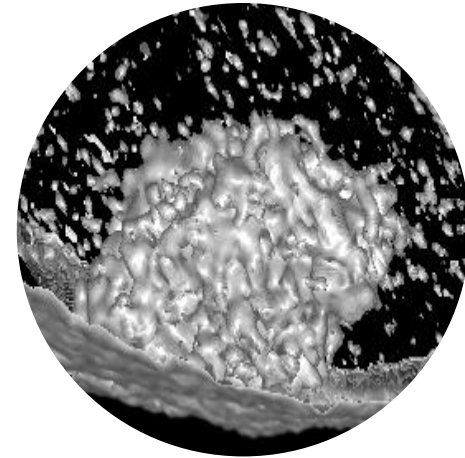
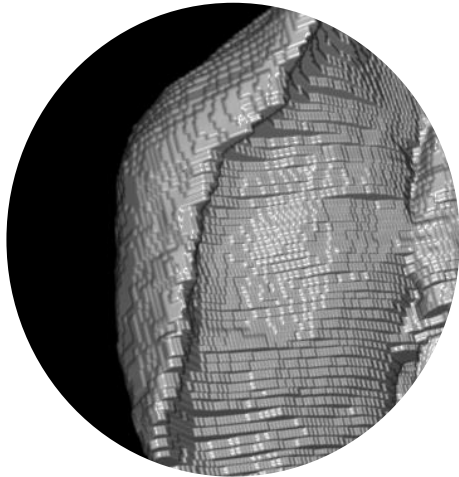
Intégrité des structures de l'image



Résistance au bruit

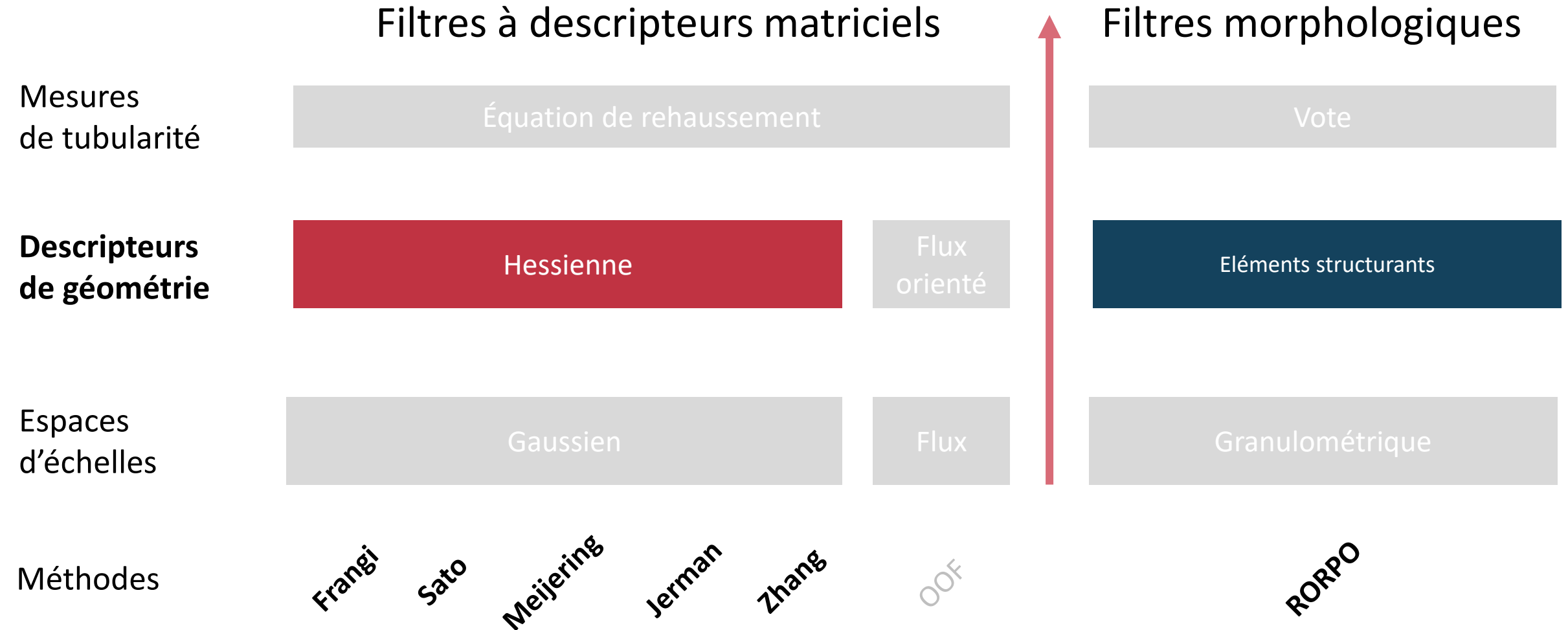
Rehaussement – Descripteur de géométrie

Comment caractériser la géométrie autour d'un point de l'image ?



Descripteur de géométrie

Rehaussement – Familles



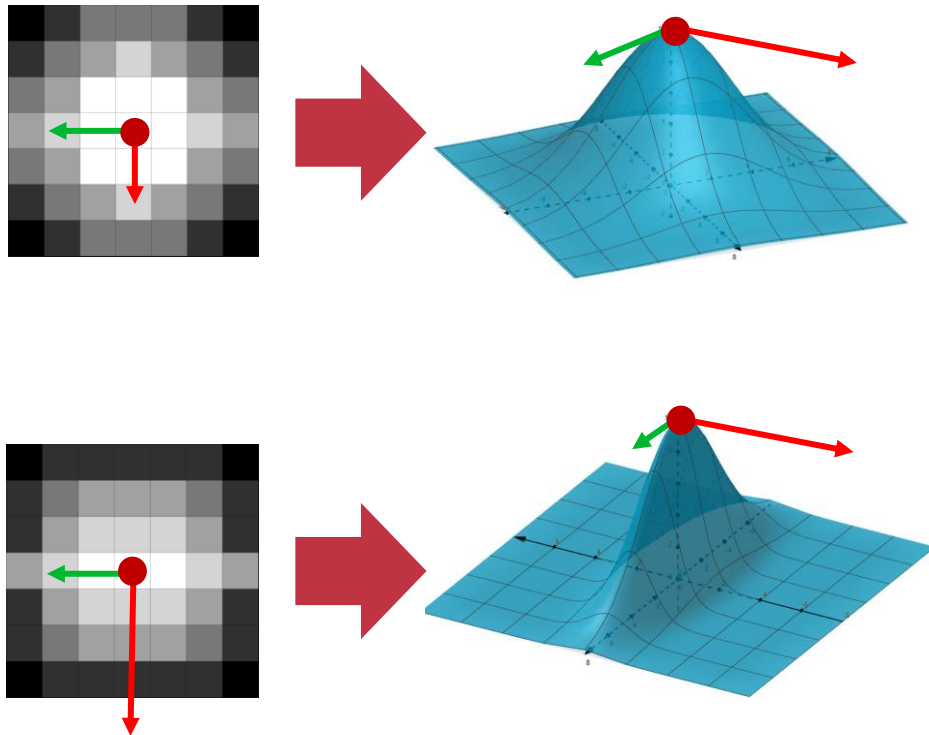
Rehaussement – Descripteurs matriciels hessiens

Descripteur dérivatif

- Matrice des dérivées partielles secondes de l'image

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}$$

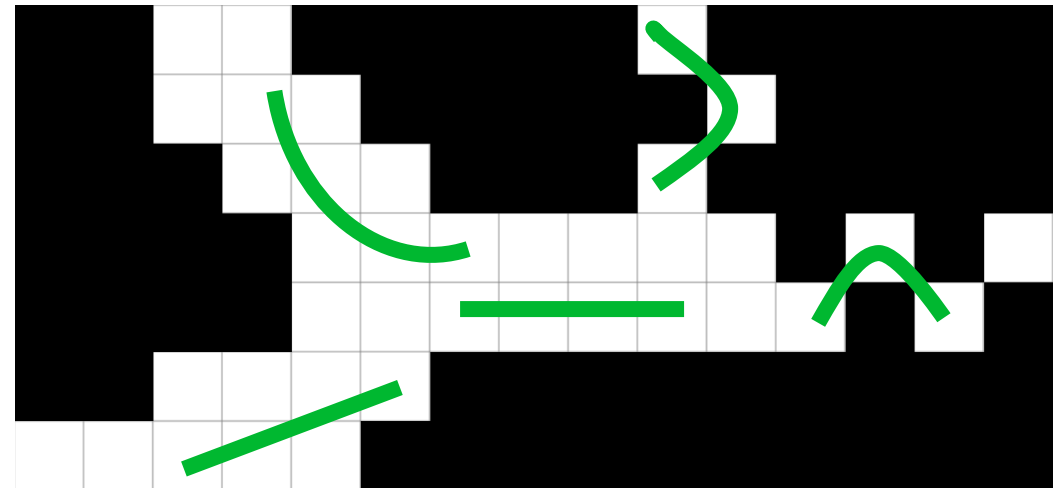
- Décrit la vitesse de variation des changements d'intensité (courbure)



Rehaussement – Descripteurs morphologiques

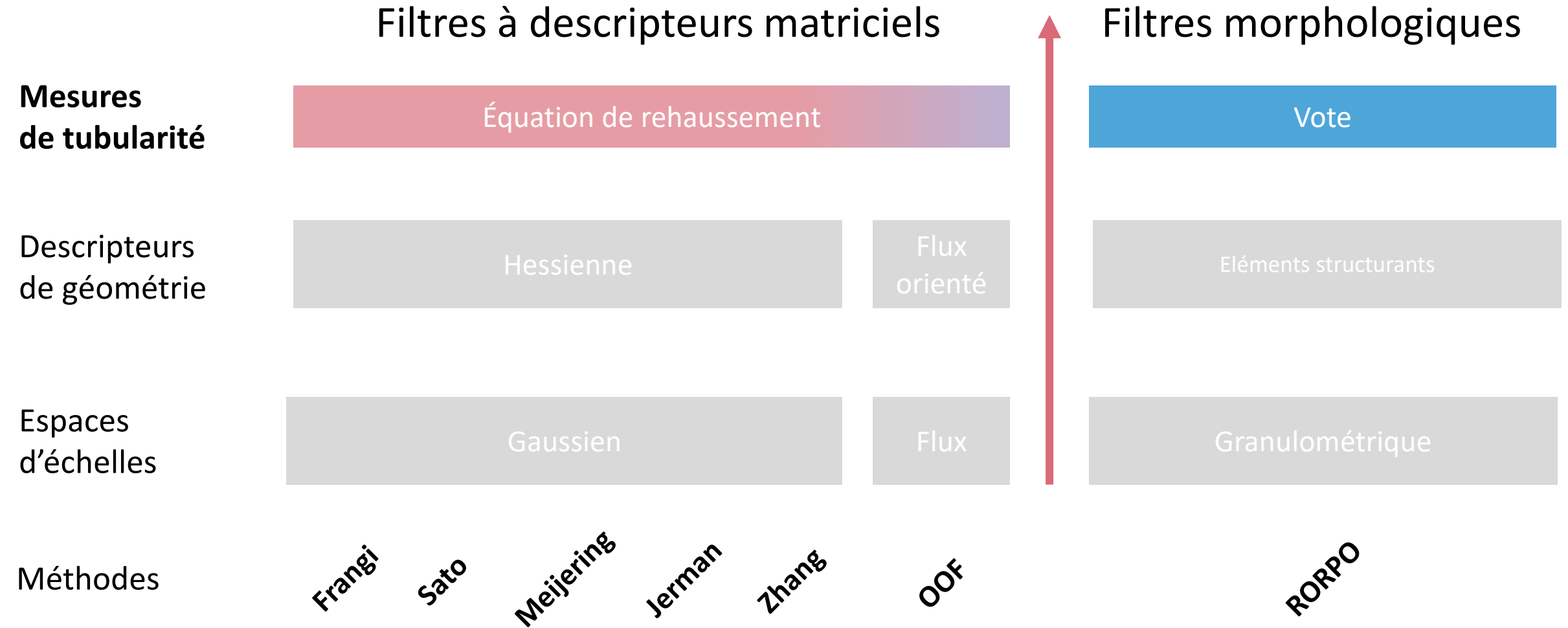
Élément structurant

- Géométrie de l'élément structurant
- Chemins flexibles
 - Prennent en compte les déformations de la géométrie



[Merveille et al, 2018]

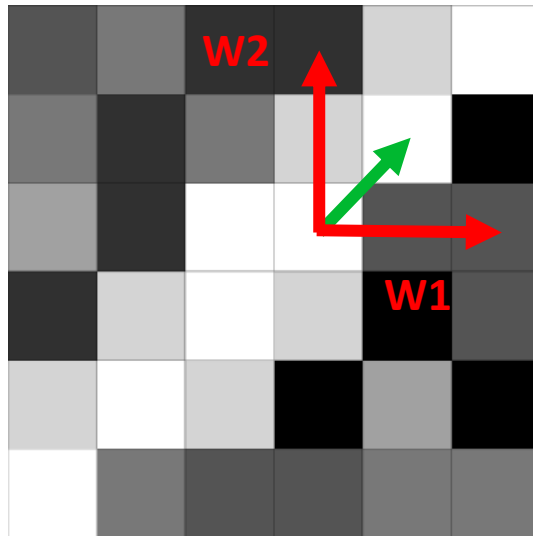
Rehaussement – Familles



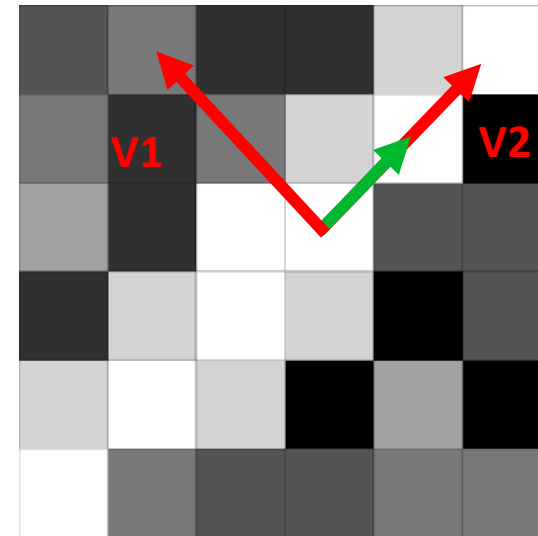
Rehaussement – Valeurs propres

Simplification de la matrice dans un repère local

- Vecteurs propres (V) : directions principales
- Valeurs propres (λ) : Intensité des variations



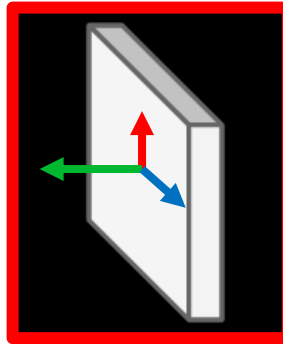
Repère de l'image



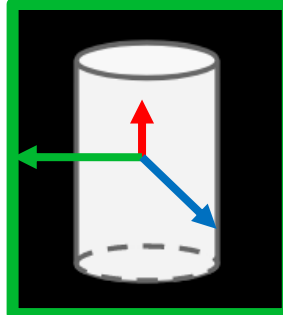
Repère local orienté
Dans le sens principal de variation

Rehaussement – Valeurs propres

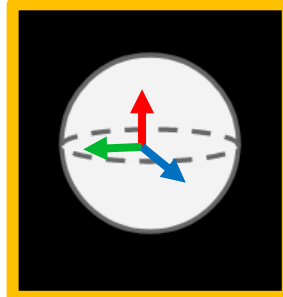
- Bords d'organes



- Majorité du système vasculaire



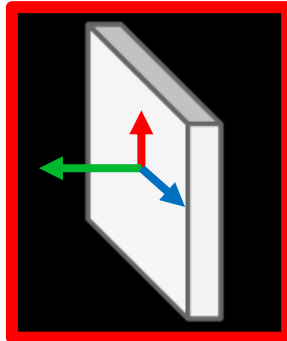
- Embranchements
- Bruit
- Tumeurs



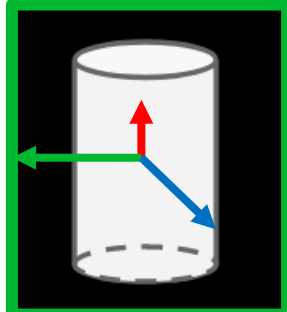
λ_1	λ_2	λ_3
Faible	Faible	Large
Faible	Large	Large
Egale	Egale	Egale

Rehaussement – Valeurs propres

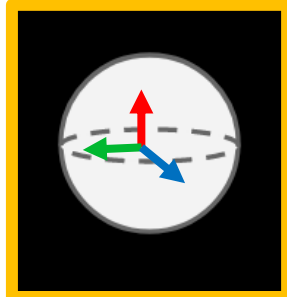
- Bords d'organes



- Majorité du système vasculaire



- Embranchements
- Bruit
- Tumeurs



λ_1	λ_2	λ_3
Faible	Faible	Large
Faible	Large	Large
Egale	Egale	Egale

$$\text{Rehaussement} = F(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$$

$$R_a = \frac{|\lambda_2|}{|\lambda_3|} \quad \text{plateaux}$$

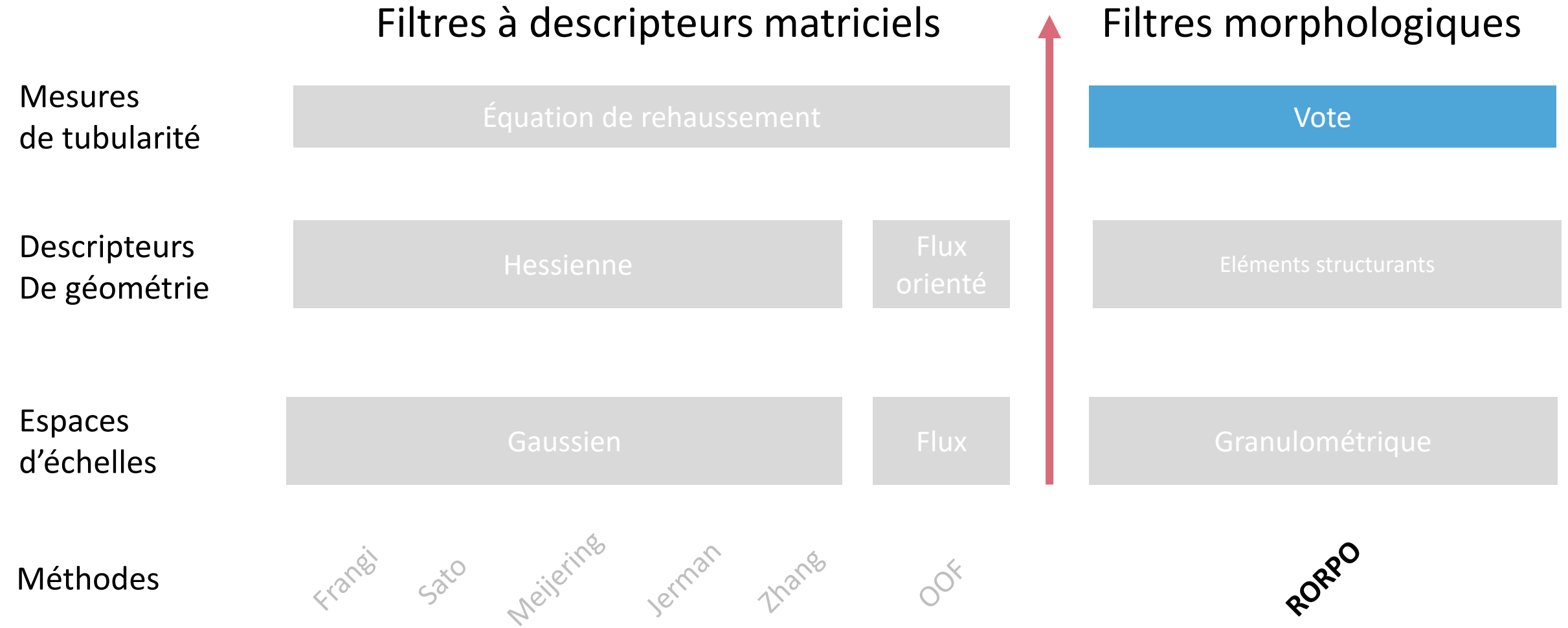
$$R_b = \frac{|\lambda_1|}{\sqrt{(\lambda_2 \lambda_3)}} \quad \text{blobs}$$

$$S = \|\mathbf{H}\|_F = \sqrt{\sum_{j \leq D} \lambda_j^2} \quad \text{bruit}$$

$$F = \begin{cases} 0 & \text{si } \lambda_2 > 0 \text{ ou } \lambda_3 > 0 \text{ avec } |\lambda_1| \leq |\lambda_2| \leq |\lambda_3| \\ (1 - \exp(-\frac{R_a^2}{2\alpha})) \exp(-\frac{R_b^2}{2\beta^2}) (1 - \exp(-\frac{S^2}{2c^2})) & \text{sinon} \end{cases}$$

[Frangi et al, 1998]

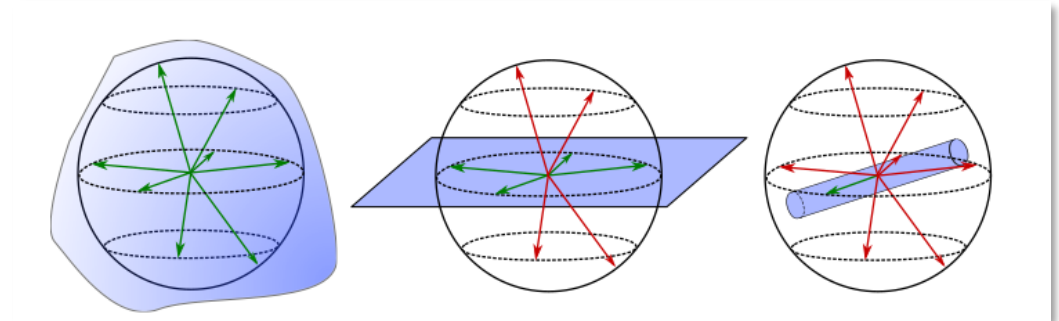
Rehaussement – Familles



Rehaussement – Vote

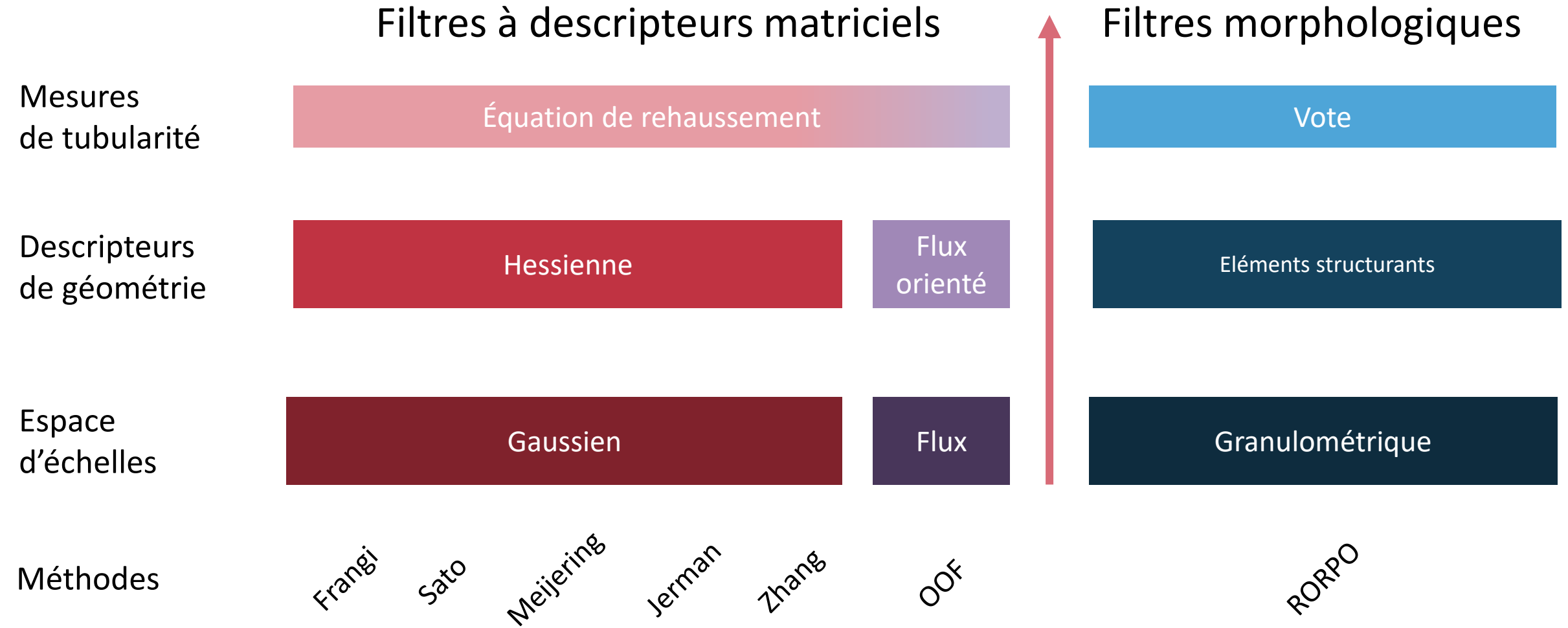
Éléments structurants en forme de chemins détectent les trois types de structures :

- Plateaux
 - Tubes
 - Sphères
-
- Sélection des tubes par analyse combinatoire des orientations des chemins



[Merveille et al, 2018]

Rehaussement – Familles



Rehaussement – Récapitulatif

- Sélection de filtres représentatifs de la littérature
- Ré-implémentés pour l'analyse dans un cadre commun

Nom	Date de publication	Espace d'échelles	Descripteur	Mesure de tubularité
Sato [Sato et al]	1997	Gaussien	Hessienne	Valeurs propres
Frangi [Frangi et al]	1998	Gaussien	Hessienne	Valeurs propres
Meijering [Meijering et al]	2004	Gaussien	Hessienne	Valeurs propres
OOF [Law et al]	2010	Flux	Flux orienté	Valeurs propres
Jerman [Jerman et al]	2015	Gaussien	Hessienne	Valeurs propres
Zhang [Zhang et al]	2018	Gaussien	Hessienne	Valeurs propres
RORPO [Merveille et al]	2018	Granulométrie	Chemins	Vote

Contexte – Plan de la présentation

1. Etat de l'art des filtres de rehaussement
2. **Description du banc de test**
3. Analyse des filtres
4. Conclusion et perspectives

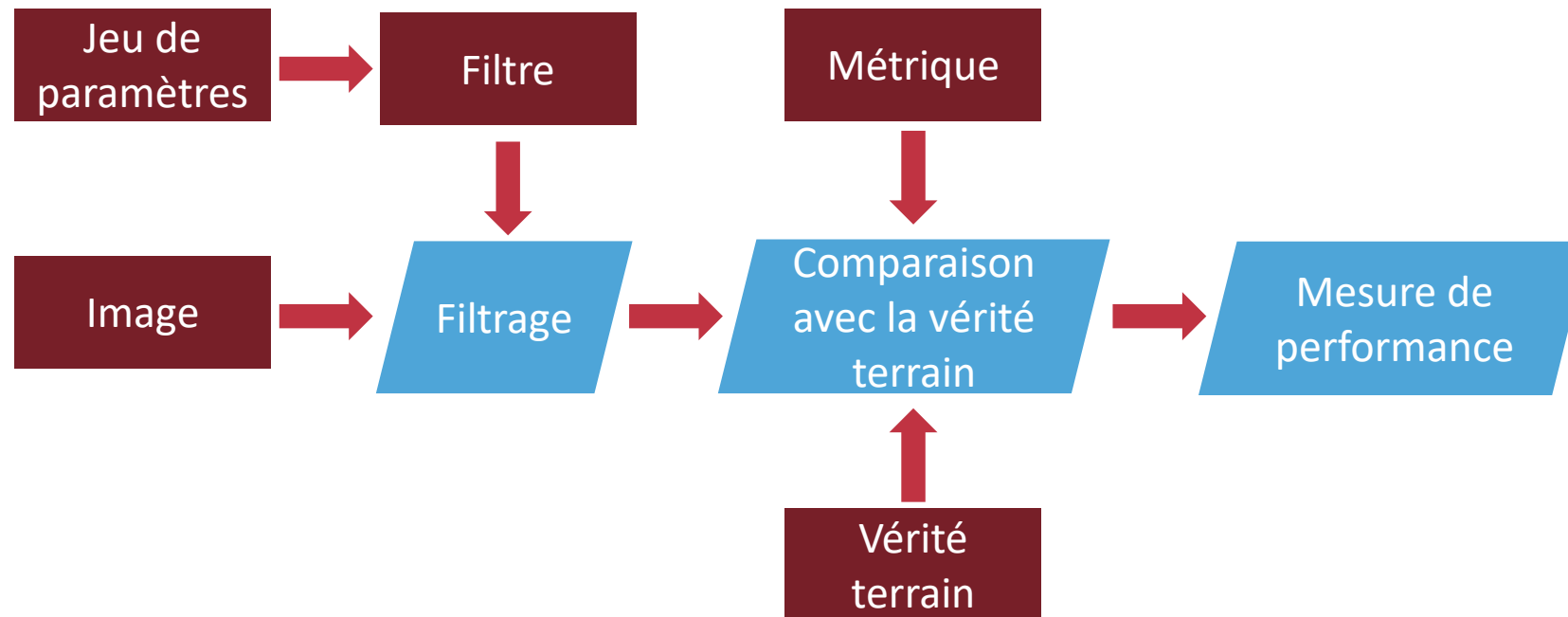
Banc de test – Comparaison des filtres

Définition : Outil de comparaison d'un système

Trois éléments sont nécessaires à la comparaison des filtres :

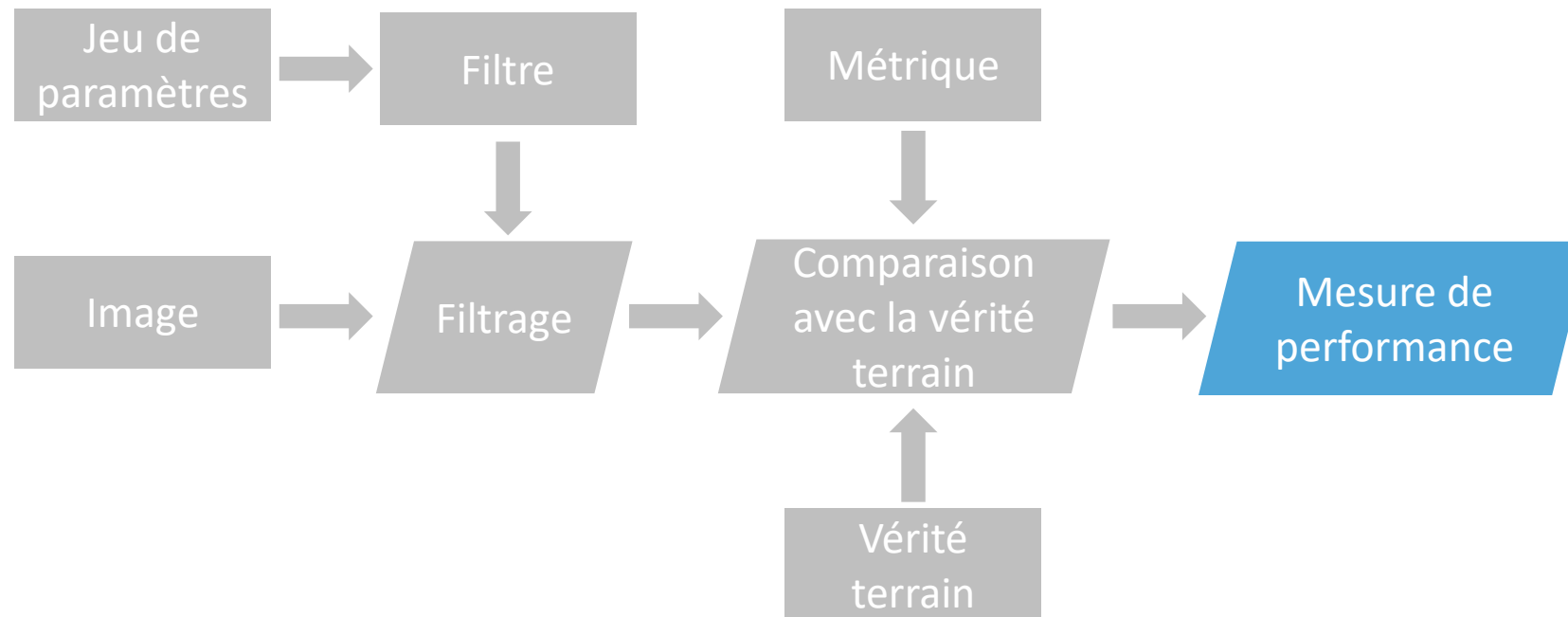
- Un ensemble de métriques de comparaison
- Une méthodologie de comparaison
- Un ensemble de jeux de données annotées

Banc de test – Méthodologie de comparaison

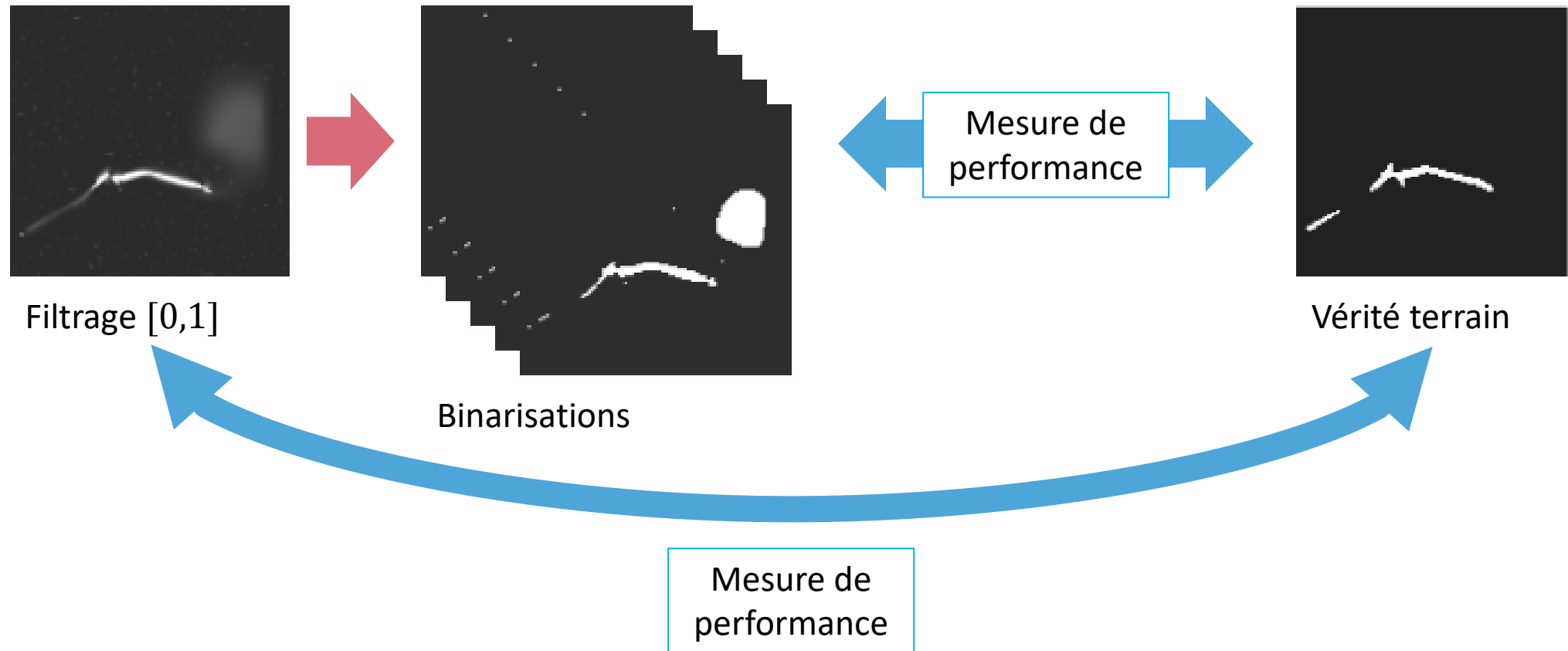


[Lamy et al, RRPR 2020]

Banc de test – Méthodologie de comparaison



Banc de test – Mesures de performance



Banc de test – Mesures de performance

	Mesures binaires			Mesures non binaires	
Nom	Dice	Coefficient de corrélation de Matthews (MCC)	Précision, Sensibilité, Spécificité, Justesse	Courbe ROC	Rapport signal sur bruit maximal (PSNR)
Intérêt	Mesure phare de la littérature	Métrique stable pour les classes non équilibrées	Spécifique d'un type d'erreur	Dynamique de la classification en fonction du seuillage	Mesure indépendante du seuil

Banc de test – Mesures de performance

	Mesures binaires			Mesures non binaires	
Nom	Dice	Coefficient de corrélation de Matthews (MCC)	Précision, Sensibilité, Spécificité, Justesse	Courbe ROC	Rapport signal sur bruit maximal (PSNR)
Intérêt	Mesure phare de la littérature	Métrique stable pour les classes non équilibrées	Spécifique d'un type d'erreur	Dynamique de la classification en fonction du seuillage	Mesure indépendante du seuil

Vaisseaux représentent 5% des images

Banc de test – MCC

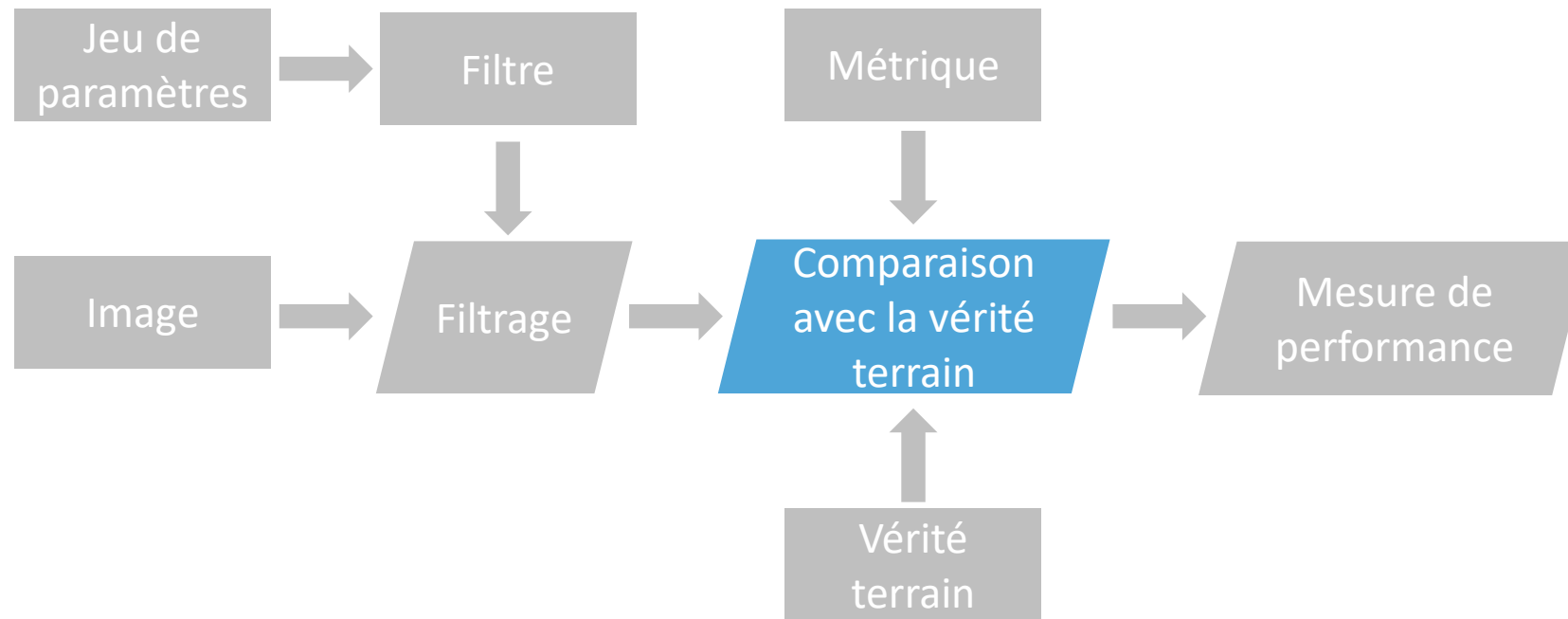
Métrique définie sur [-1,1]

- 1 : classification parfaite
- 0 : hasard
- -1 : classification inversée

		Vérité terrain	
		1	0
Volume binaire	1	Vrai positif (VP)	Faux positif (FP)
	0	Faux négatif (FN)	Vrai négatif (VN)

$$MCC = \frac{TP * TN - FP * FN}{\sqrt{(TP + FN) * (TP + FN) * (TN + FP) * (TN + FN)}}$$

Banc de test – Méthodologie de comparaison



Banc de test – Méthodologie de comparaison

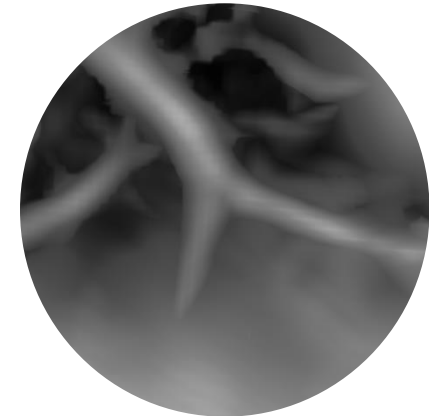
RORPO



Global

Local

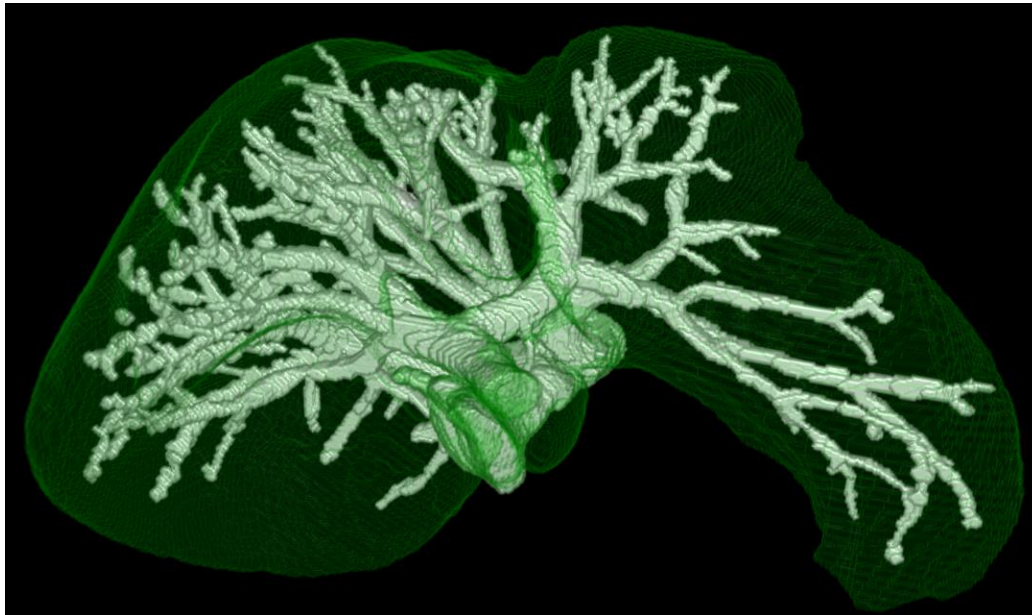
Meijering



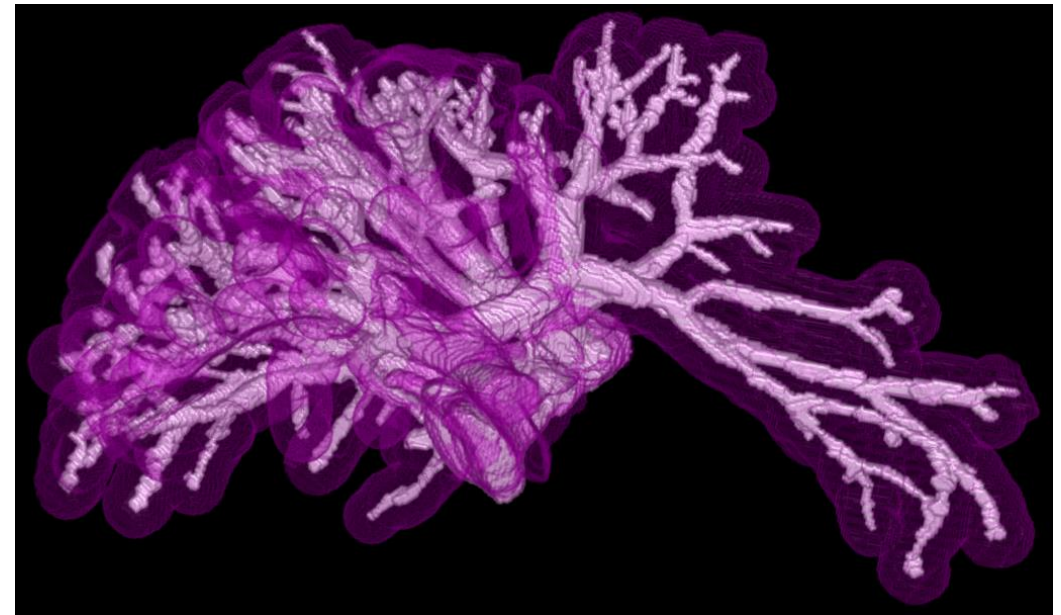
Objectif : Pouvoir évaluer les filtres globalement et localement

Banc de test – Zones d'intérêt (ZI)

ZI de l'organe



ZI - Voisinage des vaisseaux



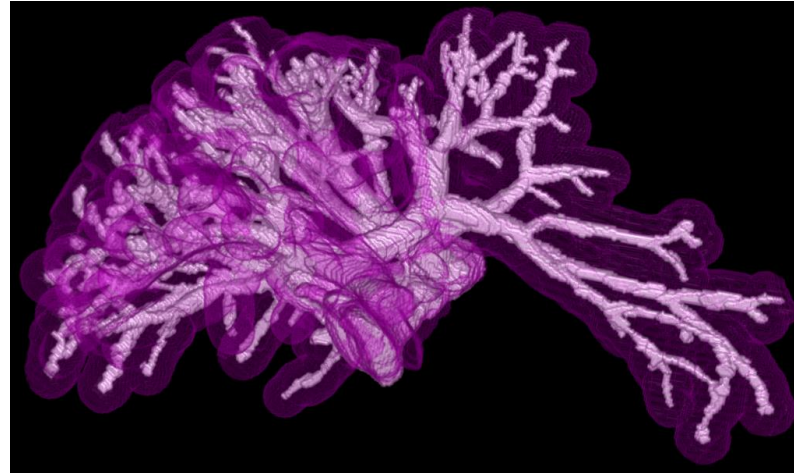
Vaisseaux de l'Ircad

[Lamy et al, TMI 2022]

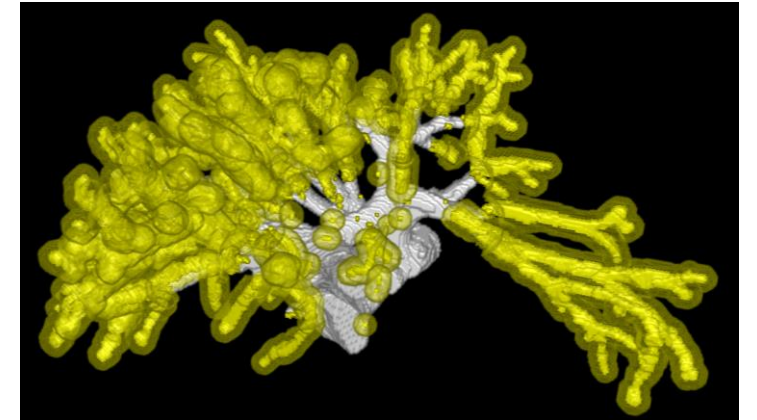
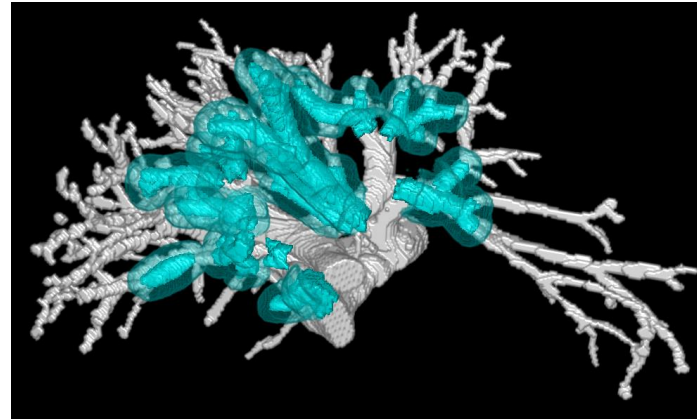
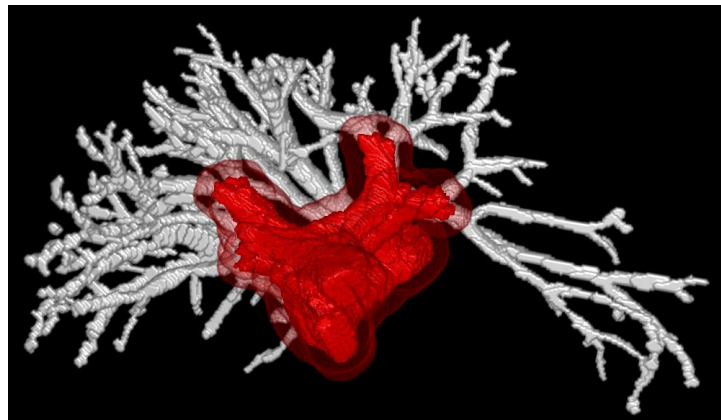
Banc de test – Zones d'intérêt (ZI)

ZI - Voisinage des vaisseaux

- Vaisseaux larges
- Vaisseaux moyens
- Vaisseaux petits



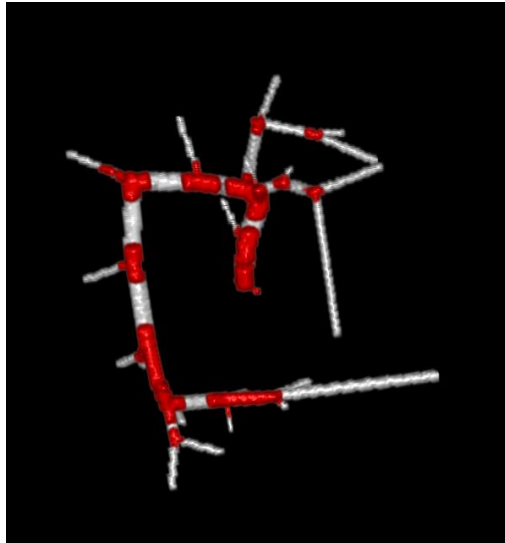
Zones d'intérêt disjointes



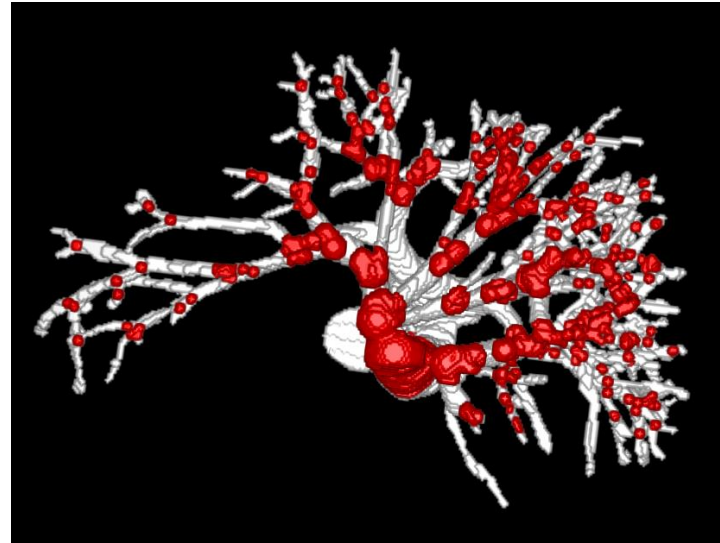
[Lamy et al, TMI 2022]

Banc de test – Zones d'intérêt (ZI)

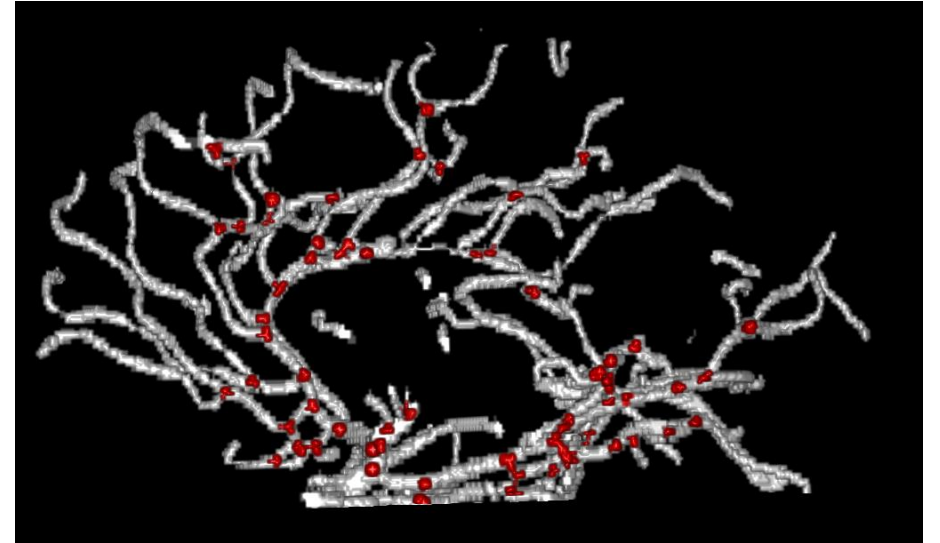
ZI - Bifurcations



VascuSynth



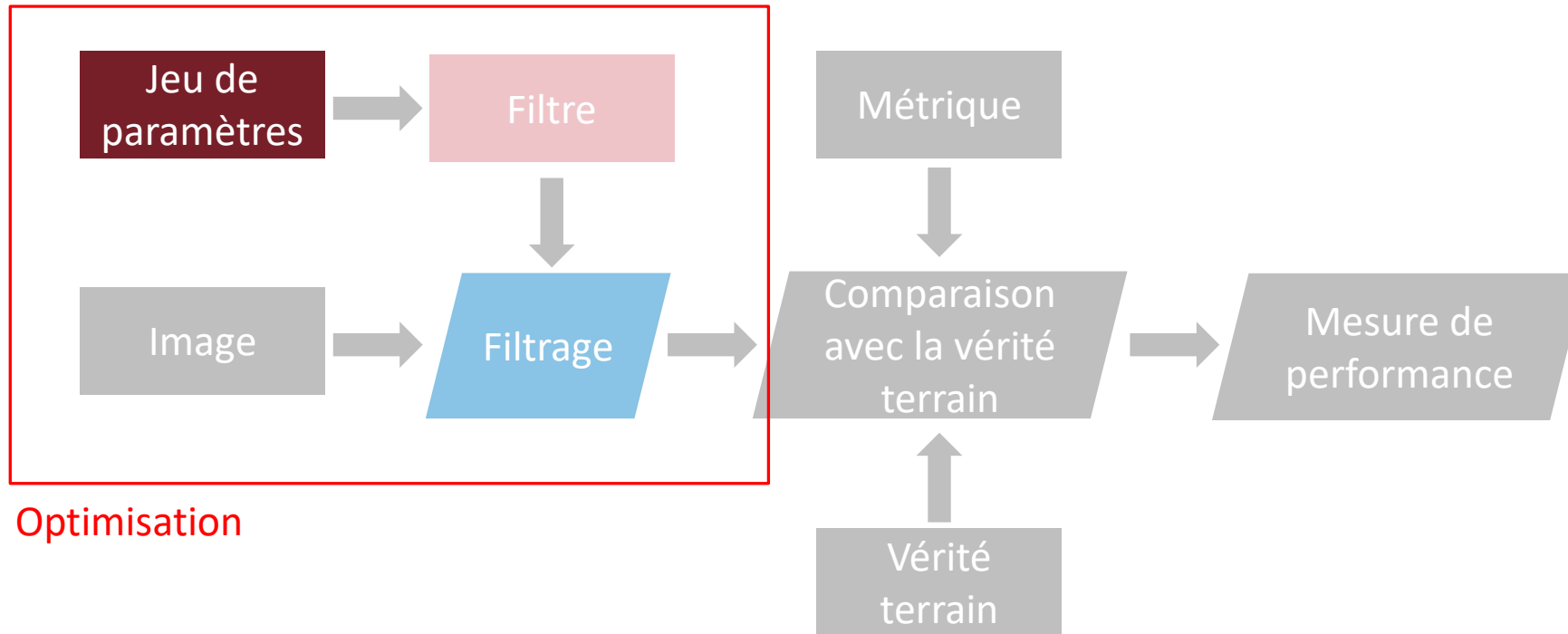
Ircad



Bullitt

[Lamy et al, TMI 2022]

Banc de test – Méthodologie de comparaison



Banc de test – Optimisation

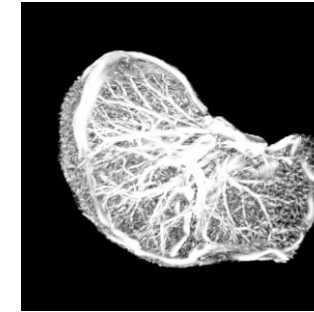
Jeu de paramètres

Paramètres intrinsèques	Mesure de tubularité
	Descripteur de géométrie
Paramètres d'échelles	Espace d'échelles

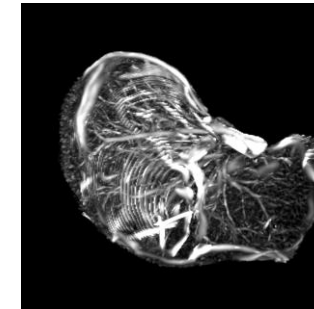
Banc de test – Optimisation

Paramètres à optimiser

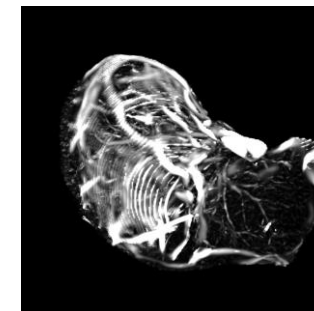
Nom	Paramètres d'échelles	Paramètres intrinsèques
Sato [Sato et al]	3	2
Frangi [Frangi et al]	3	3
Meijering [Meijering et al]	3	-
OOF [Law et al]	3	1
Jerman [Jerman et al]	3	1
Zhang [Zhang et al]	3	1
RORPO [Merveille et al]	3	-



Tau = 0,1



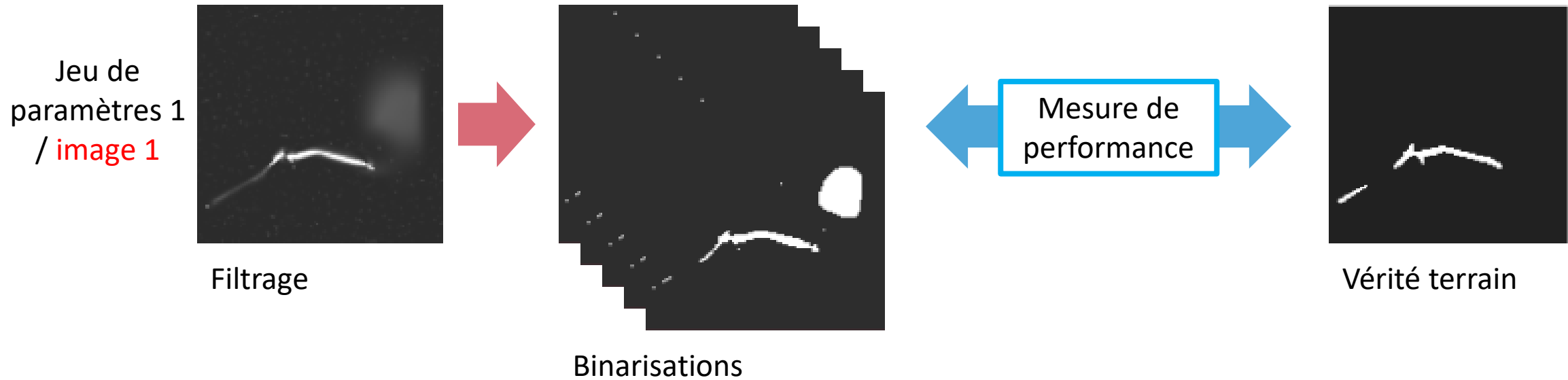
Tau = 0,4



Tau = 1

Variation du paramètre intrinsèque de Jerman

Banc de test – Optimisation



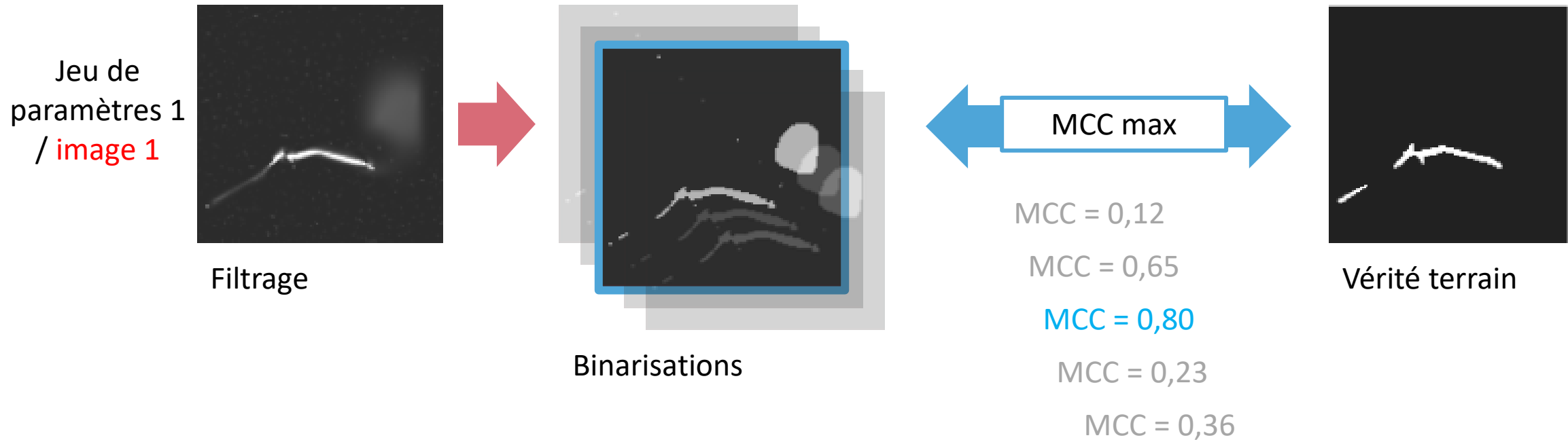
Zone d'intérêt : Organe
Métrique d'optimisation : MCC

Banc de test – Optimisation



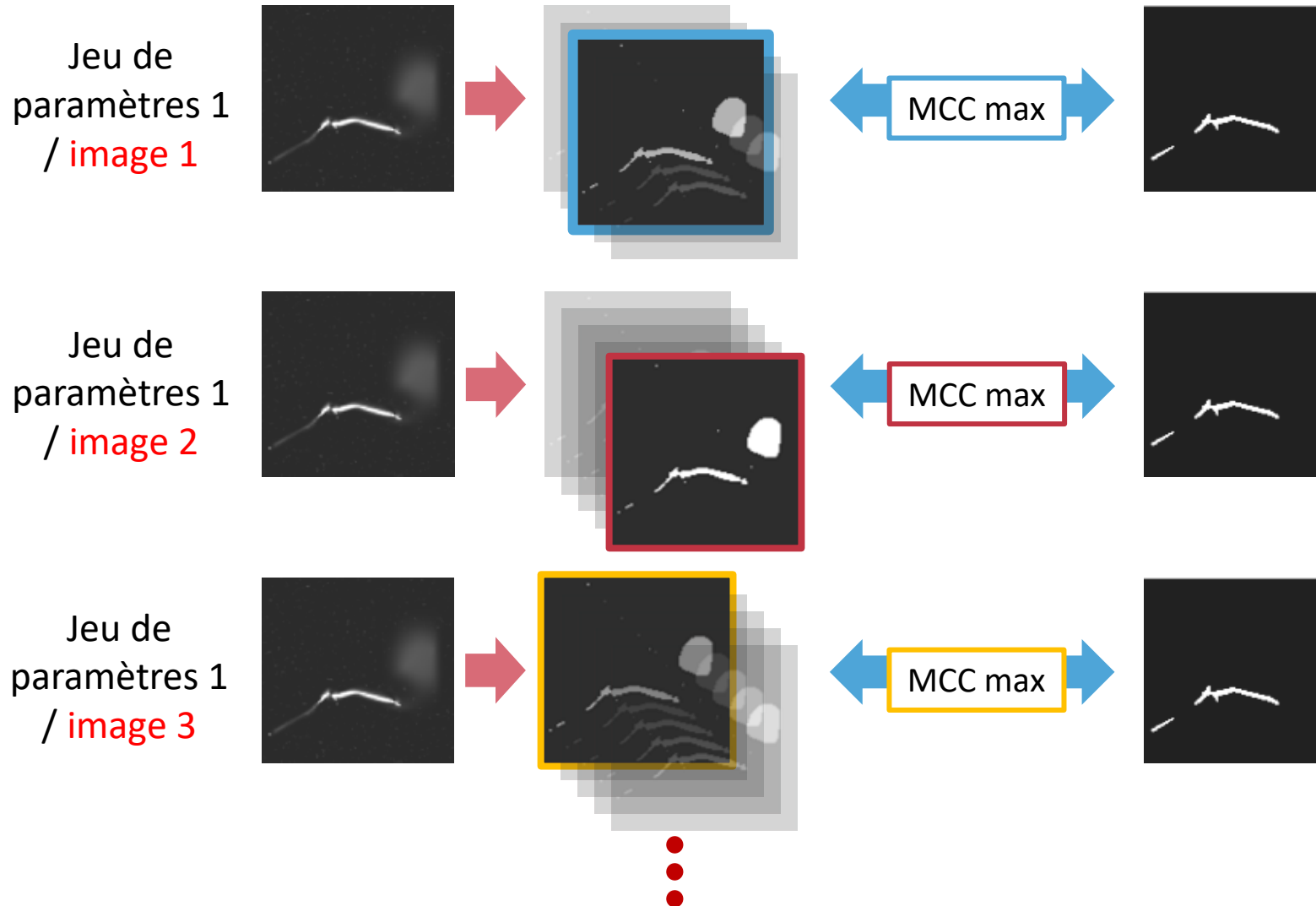
Zone d'intérêt : Organe
Métrique d'optimisation : MCC

Banc de test – Optimisation



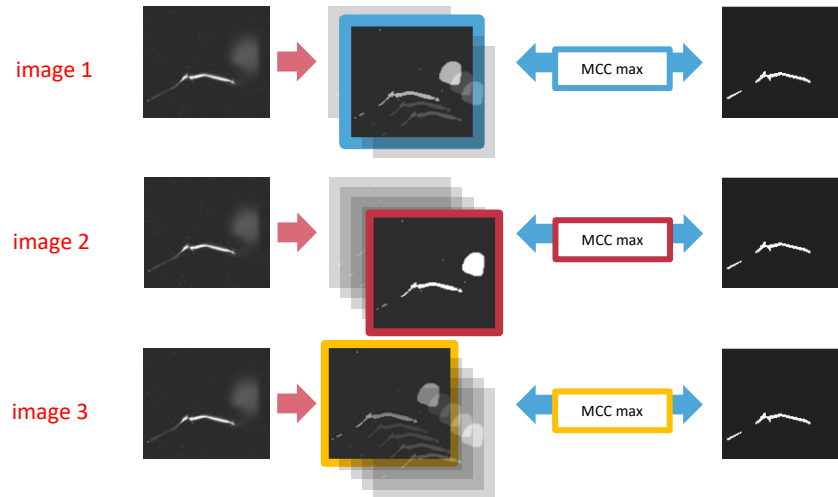
Zone d'intérêt : Organe
Métrique d'optimisation : MCC

Banc de test – Optimisation



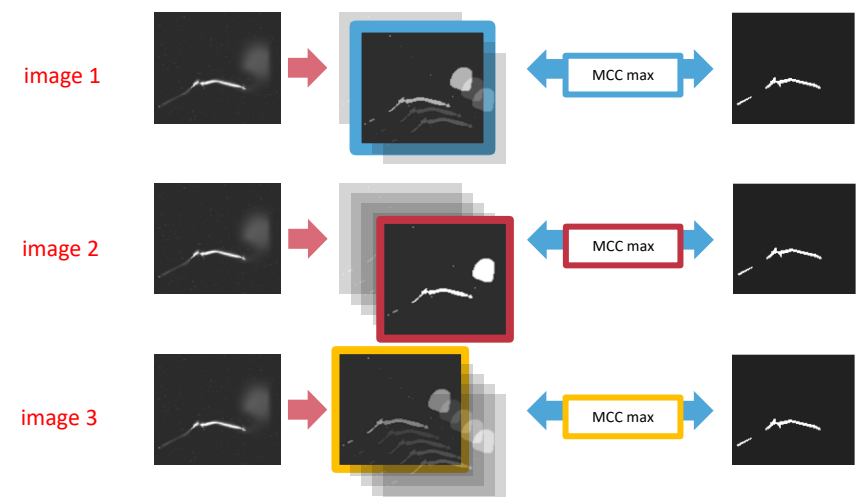
Banc de test – Optimisation

Jeu de paramètres 1



MCC max moyen
Jeu de paramètres 1

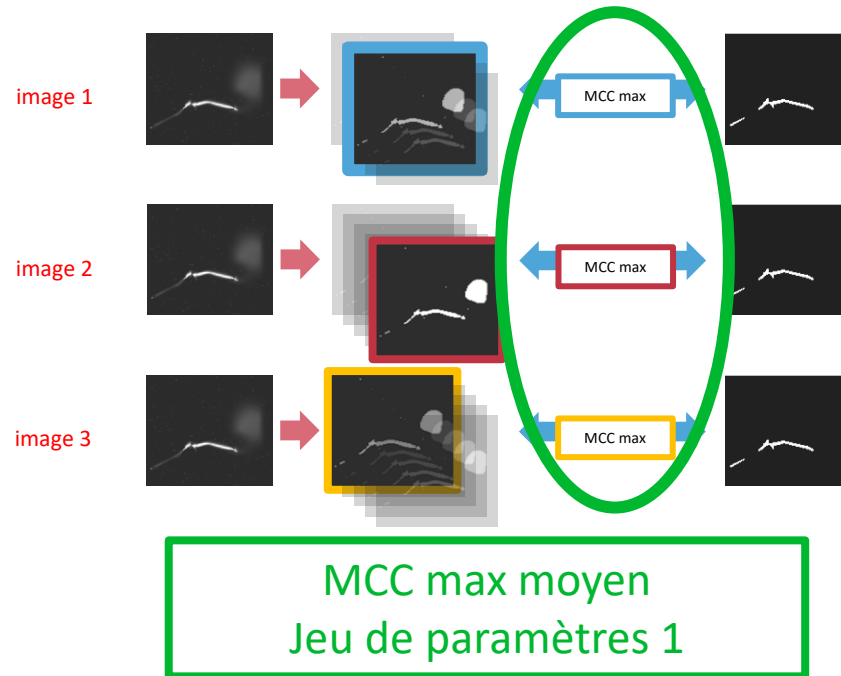
Jeu de paramètres 2



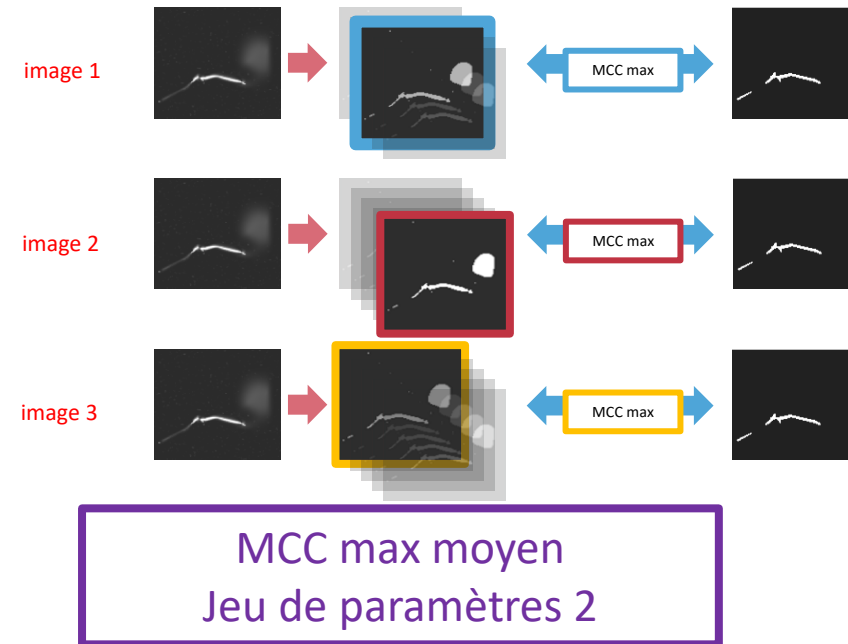
MCC max moyen
Jeu de paramètres 2

Banc de test – Optimisation

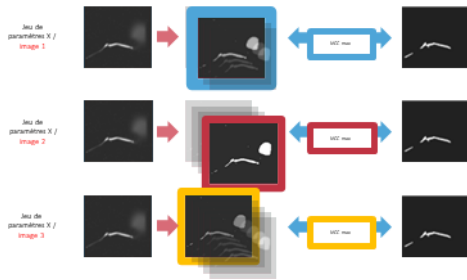
Jeu de paramètres 1



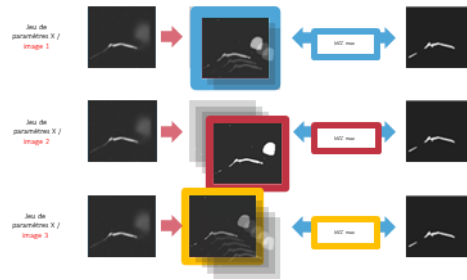
Jeu de paramètres 2



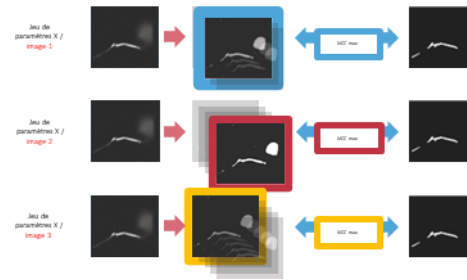
Banc de test – Optimisation



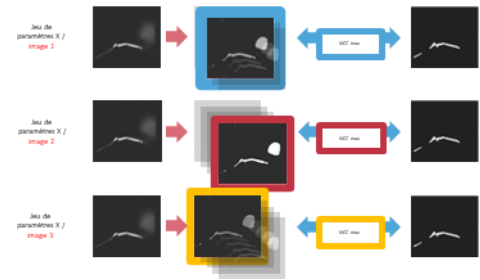
MCC max moyen
Jeu de paramètres 1



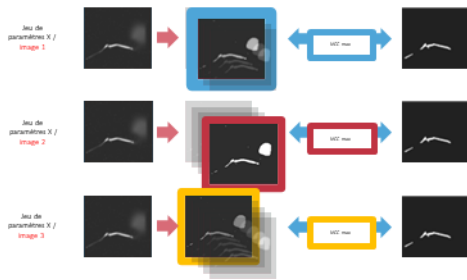
MCC max moyen
Jeu de paramètres 2



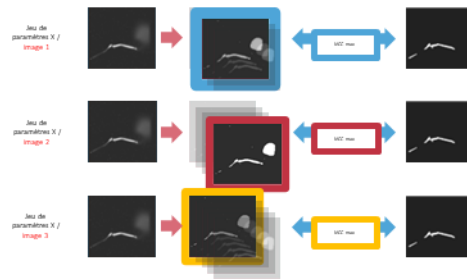
MCC max moyen
Jeu de paramètres 3



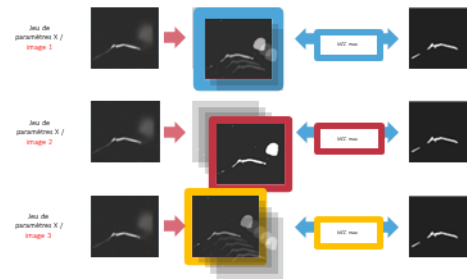
MCC max moyen
Jeu de paramètres 4



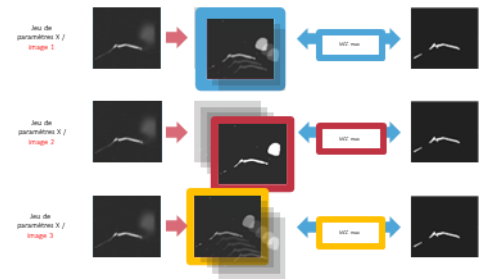
MCC max moyen
Jeu de paramètres 5



MCC max moyen
Jeu de paramètres 6



MCC max moyen
Jeu de paramètres 7



MCC max moyen
Jeu de paramètres N

Banc de test – Optimisation



Paramètre optimal
Frangi



Paramètre optimal
Sato



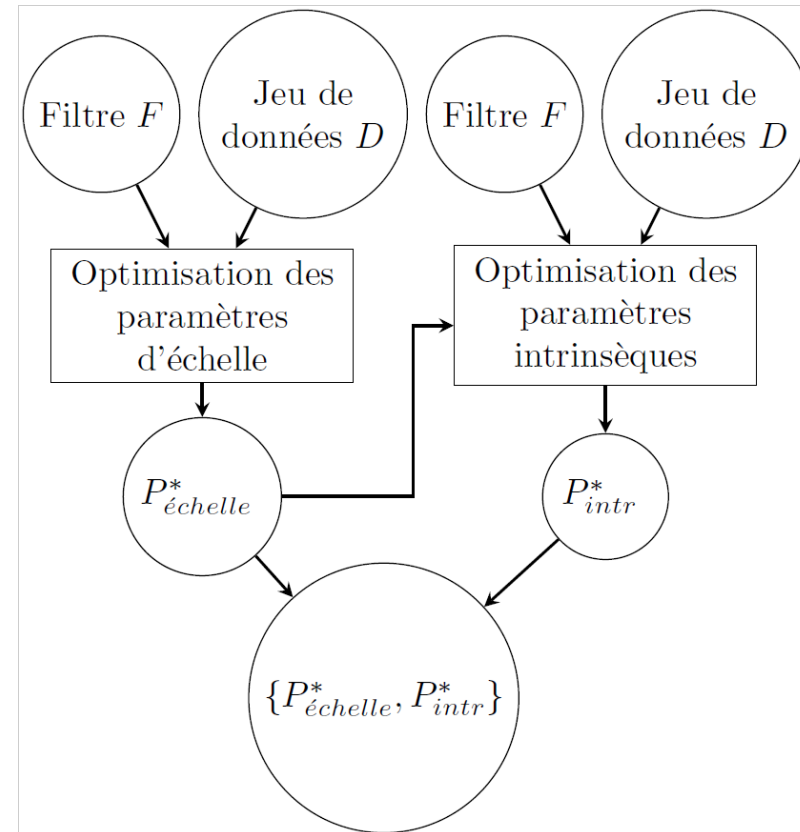
Paramètre optimal
RORPO



Banc de test – Optimisation

Optimisation en 2 temps

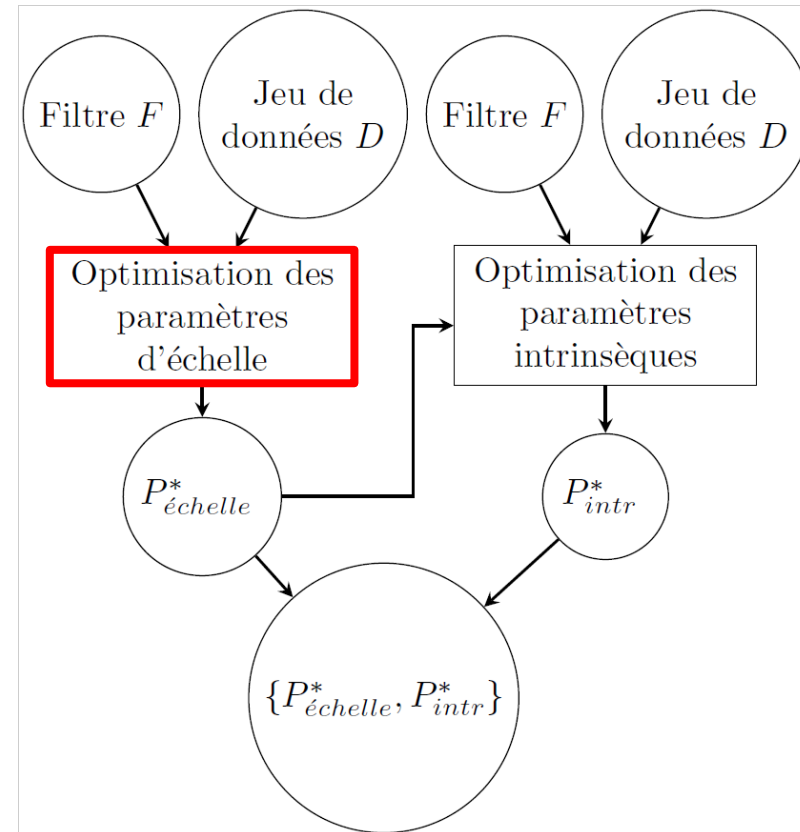
- Recherche semi-exhaustive
 - Permet d'analyser les performances des meilleurs paramètres et des moins bons
- Bornes de l'espace de recherche définies expérimentalement



Banc de test – Optimisation

Optimisation en 2 temps

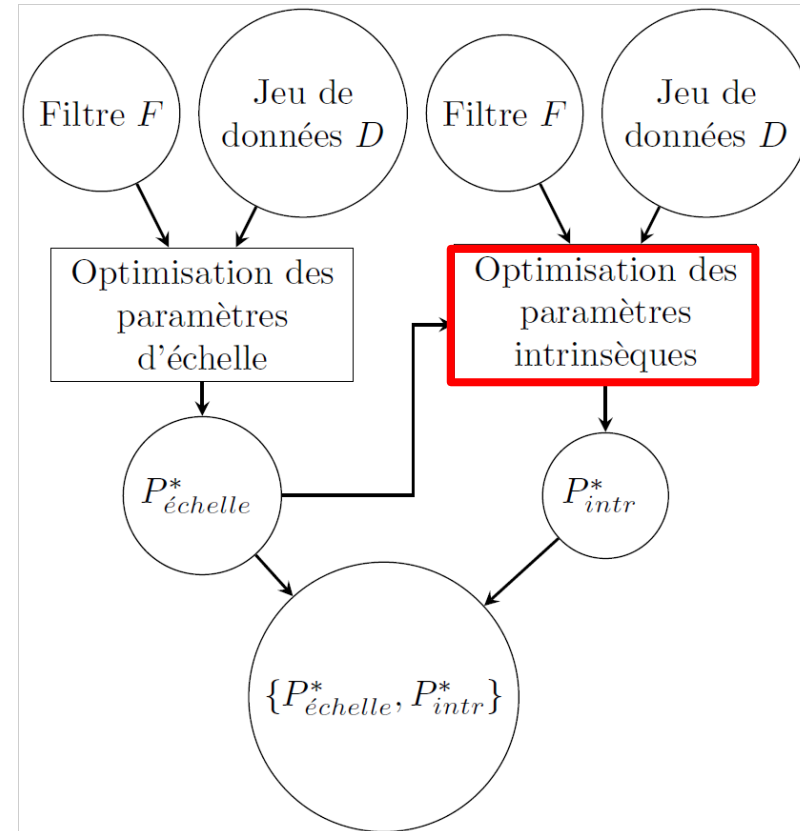
- Recherche semi-exhaustive
 - Permet d'analyser les performances des meilleurs paramètres et des moins bons
- Bornes de l'espace de recherche définies expérimentalement



Banc de test – Optimisation

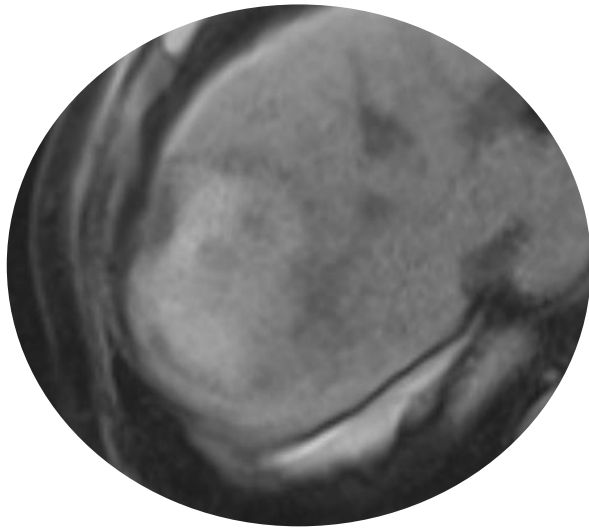
Optimisation en 2 temps

- Recherche semi-exhaustive
 - Permet d'analyser les performances des meilleurs paramètres et des moins bons
- Bornes de l'espace de recherche définies expérimentalement



Rehaussement – Jeux de données

Quel est le comportement des filtres selon les modalités ?

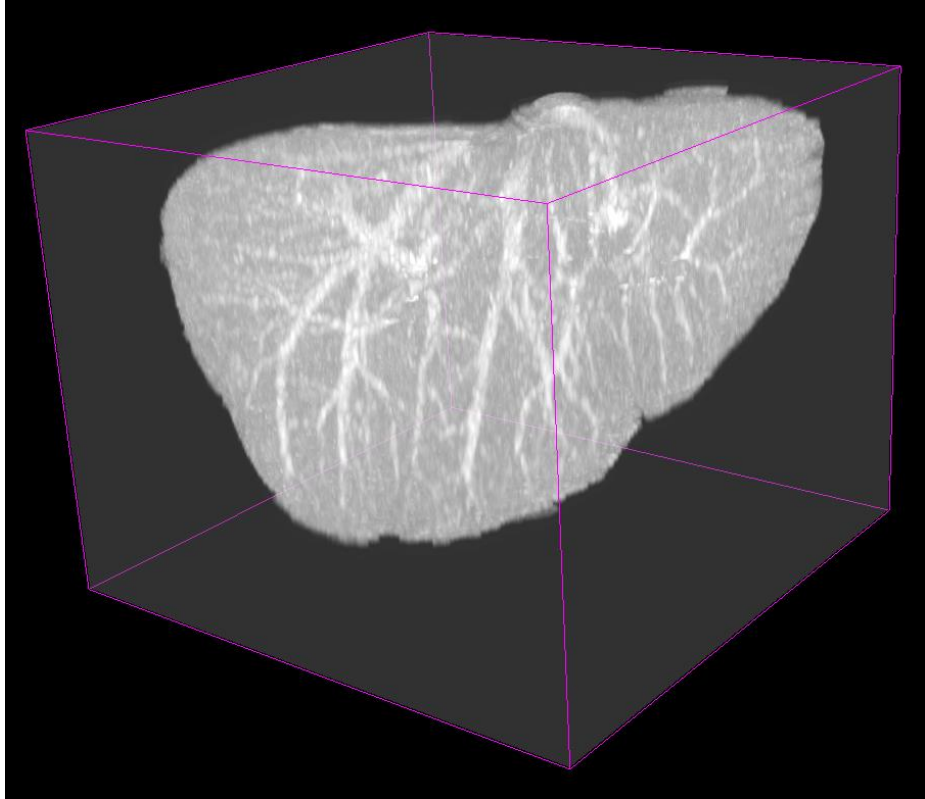


Jeux de données multiples et publiques

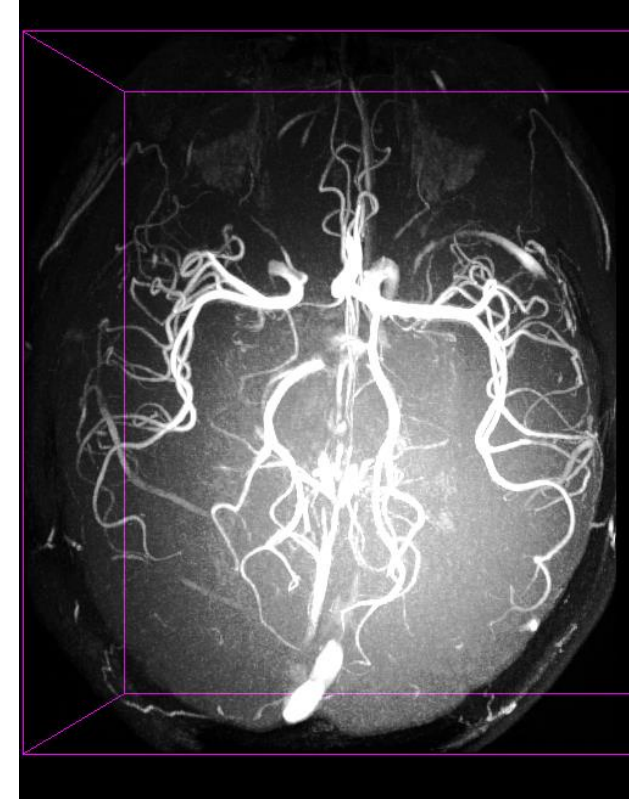
Rehaussement – Jeux de données

	Nombre de volumes	Organe	Modalité	Artefacts	Vaisseaux	Vérité terrain
Ircad	20	Foie	TDM	Contraste local	Hétérogènes	Imparfaite
Bullitt	33	Cerveau	IRM	Contraste local	Fins et homogènes	Imparfaite
VascuSynth 2 <i>bruit faible</i>	120	Synthétique	IRM simulée (foie)	Contraste global et local	Hétérogènes et droits	Parfaite
VascuSynth 4 <i>bruit moyen</i>	120					
VascuSynth 6 <i>bruit fort</i>	120					

Banc de test – Jeux de données réelles



Ircad
[Soler et al, 2010]

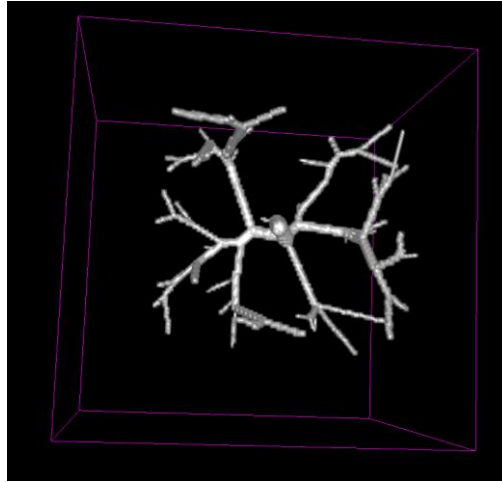


Bullitt
[Bullitt et al, 2008]

Rehaussement – Jeux de données

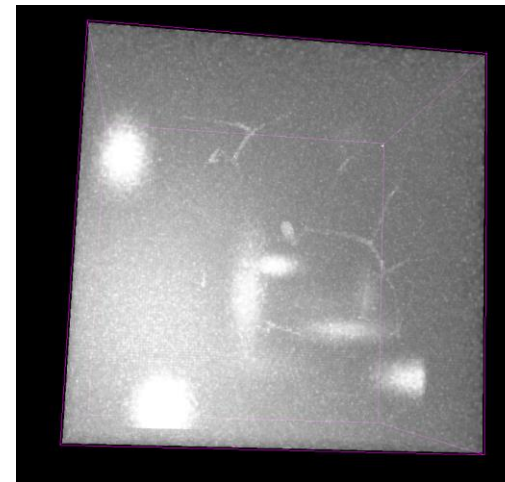
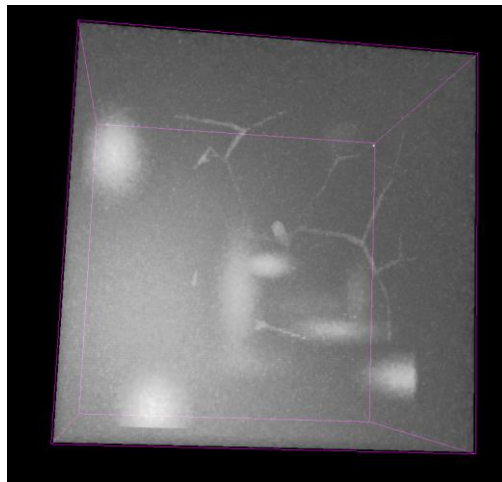
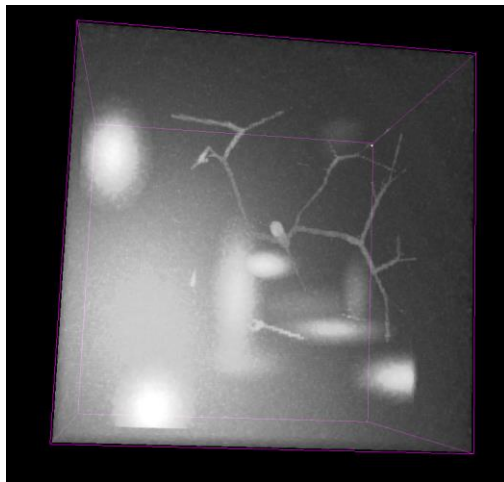
	Nombre de volumes	Organe	Modalité	Artefacts	Vaisseaux	Vérité terrain
Ircad	20	Foie	TDM	Contraste local	Hétérogènes	Imparfaite
Bullitt	33	Cerveau	IRM	Contraste local	Fins et homogènes	Imparfaite
VascuSynth 2 <i>bruit faible</i>	120	Synthétique	IRM simulée (foie)	Contraste global et local	Hétérogènes et droits	Parfaite
VascuSynth 4 <i>bruit moyen</i>	120					
VascuSynth 6 <i>bruit fort</i>	120					

Banc de test – Jeux de données synthétiques



VascuSynth

[Hamarneh et al, 2008]



VascuSynth,
IRM du foie simulée
[Lamy et al, ICPR 2020]
[Lamy et al, TMI 2022]

Analyse des filtres

- 413 volumes
- 50 jeux de paramètres en moyenne
- 7 filtres
- Seuillés 200 fois
- Calcul des métriques dans 6 zones d'intérêt

- Temps de calcul ~5,000H CPU (heures réelles)

Plan de la présentation

1. Etat de l'art des filtres de rehaussement
2. Description du banc de test
3. **Analyse des filtres**
4. Conclusion et perspectives

Analyse des filtres

- Quels filtres sont les plus performants ?
 - Résultats quantitatifs et qualitatifs
 - Organe et voisinage des vaisseaux
- L'optimisation des paramètres est-elle pertinente ?
 - Différentiel entre meilleur et moins bon jeu de paramètres



Analyse des filtres

- **Quels filtres sont les plus performants ?**
 - Résultats quantitatifs et qualitatifs
 - Organe et voisinage des vaisseaux
- L'optimisation des paramètres est-elle pertinente ?
 - Différentiel entre meilleur et moins bon jeu de paramètres

































[Lamy et al, TMI 2022]

Analyse des filtres – Résultats quantitatifs

Nom	Ircad		Bullitt		VascuSynth Bruit faible		VascuSynth Bruit moyen		VascuSynth Bruit fort	
	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage
Sato [Sato et al]		0,508	0,475	0,435	0,618			0,663		
Frangi [Frangi et al]		0,535	0,474	0,415	0,634	0,700	0,577	0,739	0,500	0,729
Meijering [Meijering et al]					0,627	0,725	0,603	0,687	0,565	0,642
OOF [Law et al]										
Jerman [Jerman et al]	0,382					0,710	0,565		0,501	
Zhang [Zhang et al]	0,432	0,535								0,634
RORPO [Merveille et al]	0,475		0,543	0,506						

MCC optimisé sur l'organe

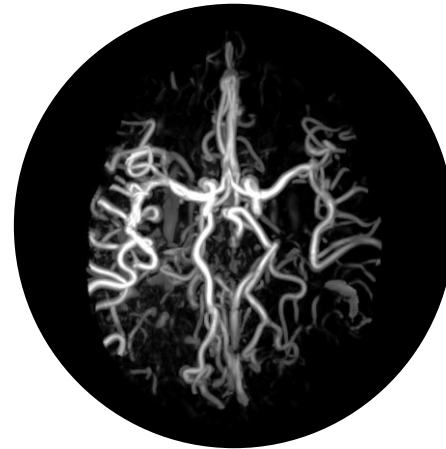
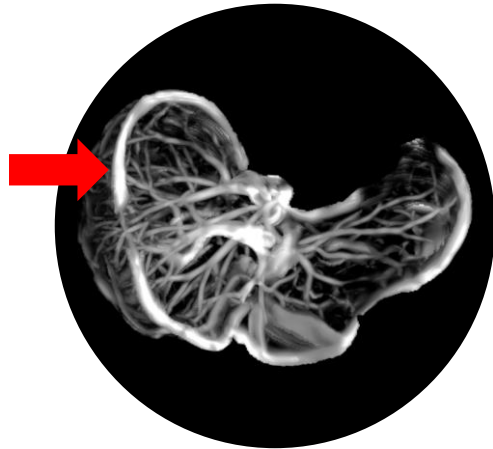
Analyse des filtres – Résultats quantitatifs

Nom	Ircad		Bullitt		VascuSynth Bruit faible		VascuSynth Bruit moyen		VascuSynth Bruit fort	
	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage
Sato [Sato et al]		 0,508	 0,475	 0,435	 0,618			 0,663		
Frangi [Frangi et al]		 0,535	 0,474	 0,415	 0,634	 0,700	 0,577	 0,739	 0,500	 0,729
Meijering [Meijering et al]					 0,627	 0,725	 0,603	 0,687	 0,565	 0,642
OOF [Law et al]										
Jerman [Jerman et al]	 0,382					 0,710	 0,565		 0,501	
Zhang [Zhang et al]	 0,432	 0,535								 0,634
RORPO [Merveille et al]	 0,475		 0,543	 0,506						

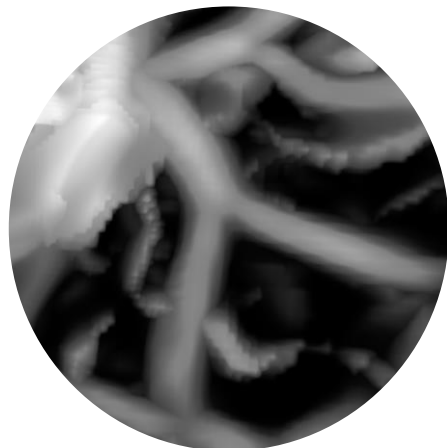
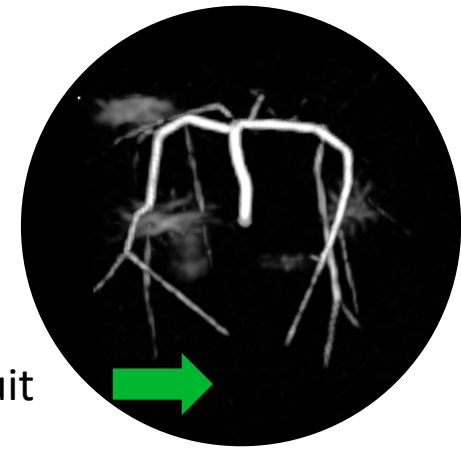
MCC optimisé sur l'organe

Analyse des filtres – Frangi

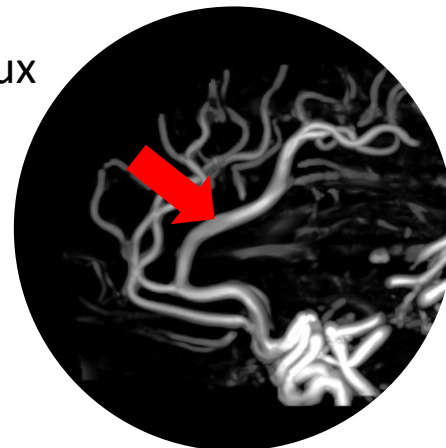
Bords



Bruit



Vaisseaux
voisins



Bifurcation

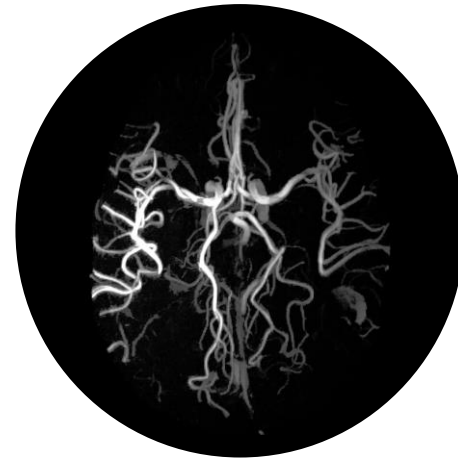
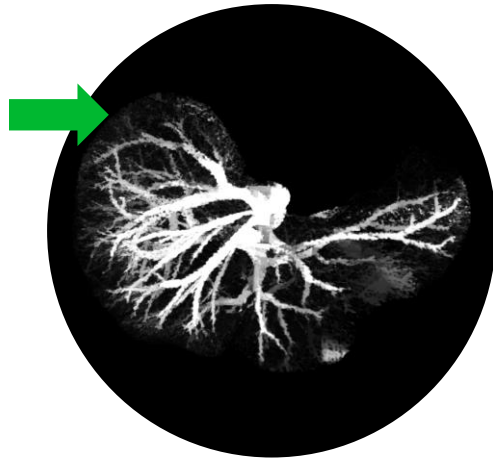
Analyse des filtres – Résultats quantitatifs

Nom	Ircad		Bullitt		VascuSynth Bruit faible		VascuSynth Bruit moyen		VascuSynth Bruit fort	
	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage
Sato [Sato et al]		0,508	0,475	0,435	0,618			0,663		
Frangi [Frangi et al]		0,535	0,474	0,415	0,634	0,700	0,577	0,739	0,500	0,729
Meijering [Meijering et al]					0,627	0,725	0,603	0,687	0,565	0,642
OOF [Law et al]										
Jerman [Jerman et al]	0,382					0,710	0,565		0,501	
Zhang [Zhang et al]	0,432	0,535								0,634
RORPO [Merveille et al]	0,475		0,543	0,506						

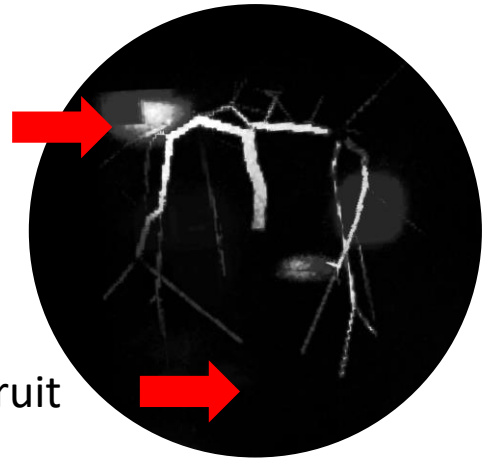
MCC optimisé sur l'organe

Analyse des filtres – RORPO

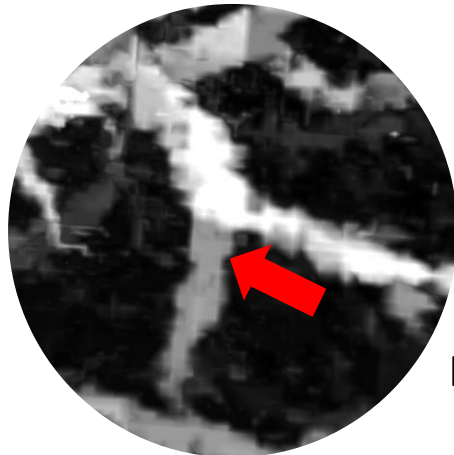
Bords



Artefacts

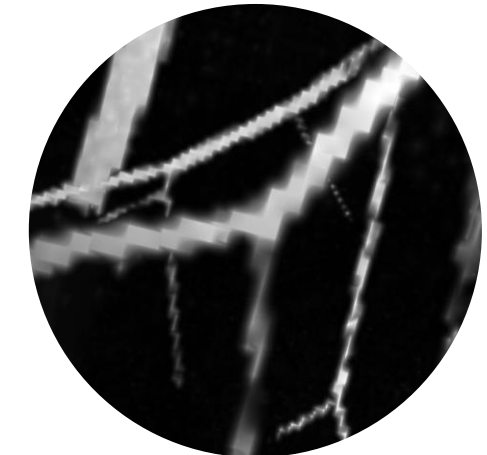
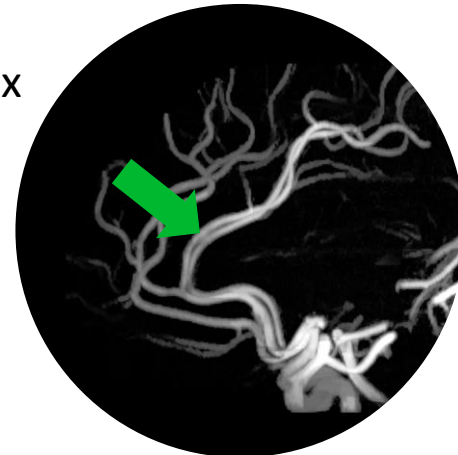


Bruit



Profil

Vaisseaux voisins



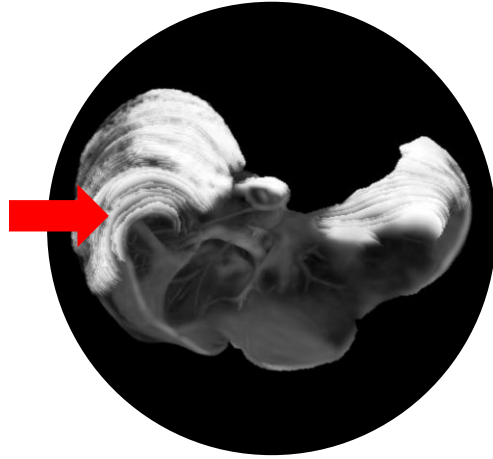
Analyse des filtres – Résultats quantitatifs

Nom	Ircad		Bullitt		VascuSynth Bruit faible		VascuSynth Bruit moyen		VascuSynth Bruit fort	
	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage
Sato [Sato et al]		0,508	0,475	0,435	0,618			0,663		
Frangi [Frangi et al]		0,535	0,474	0,415	0,634	0,700	0,577	0,739	0,500	0,729
Meijering [Meijering et al]					0,627	0,725	0,603	0,687	0,565	0,642
OOF [Law et al]										
Jerman [Jerman et al]	0,382					0,710	0,565		0,501	
Zhang [Zhang et al]	0,432	0,535								0,634
RORPO [Merveille et al]	0,475		0,543	0,506						

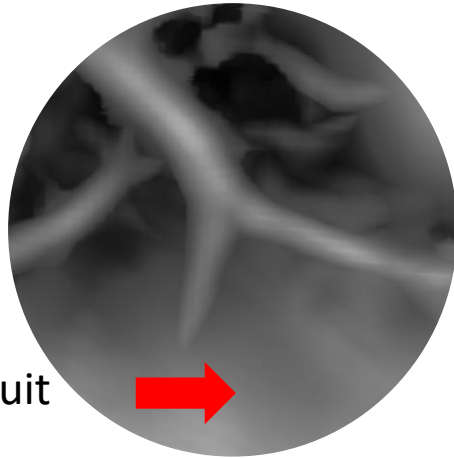
MCC optimisé sur l'organe

Analyse des filtres – Meijering

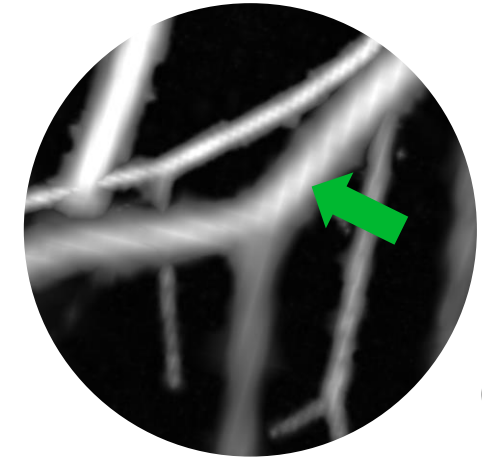
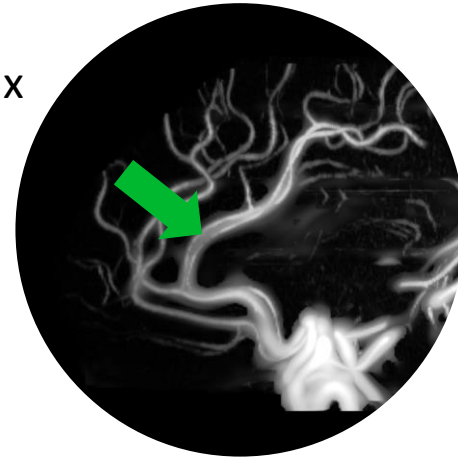
Bords



Bruit



Vaisseaux
voisins



Profil
(Vaisseaux droits)

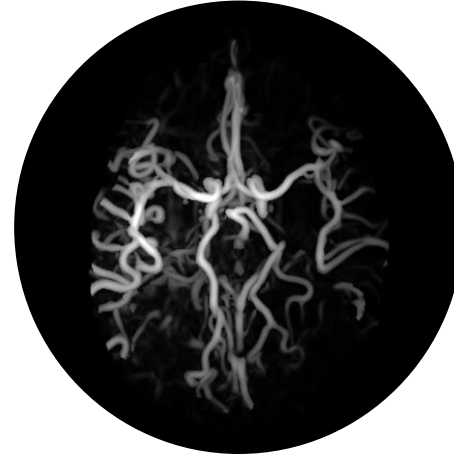
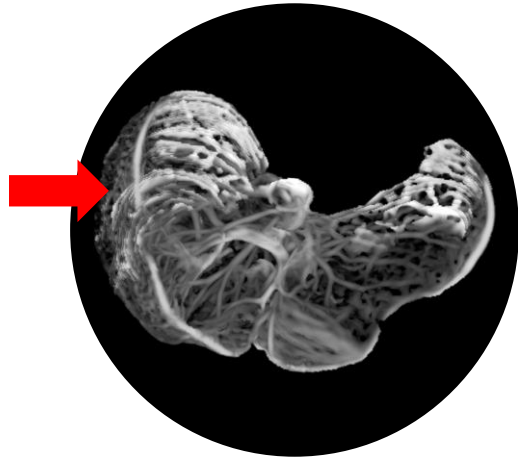
Analyse des filtres – Résultats quantitatifs

Nom	Ircad		Bullitt		VascuSynth Bruit faible		VascuSynth Bruit moyen		VascuSynth Bruit fort	
	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage
Sato [Sato et al]		0,508	0,475	0,435	0,618			0,663		
Frangi [Frangi et al]		0,535	0,474	0,415	0,634	0,700	0,577	0,739	0,500	0,729
Meijering [Meijering et al]					0,627	0,725	0,603	0,687	0,565	0,642
OOF [Law et al]										
Jerman [Jerman et al]	0,382					0,710	0,565		0,501	
Zhang [Zhang et al]	0,432	0,535								0,634
RORPO [Merveille et al]	0,475		0,543	0,506						

MCC optimisé sur l'organe

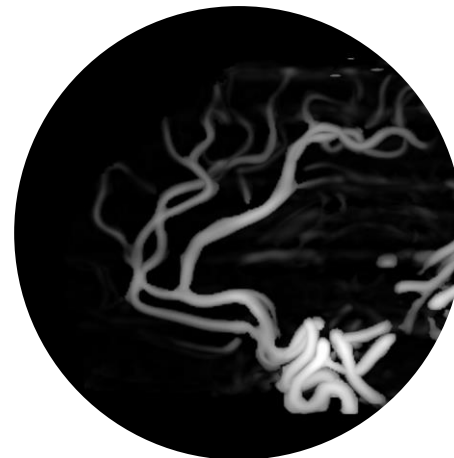
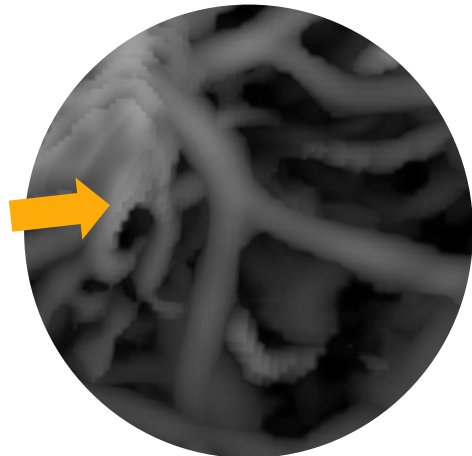
Analyse des filtres – OOF

Bords

































Bruit

Mesure de tubularité simple



Mesure de tubularité simple

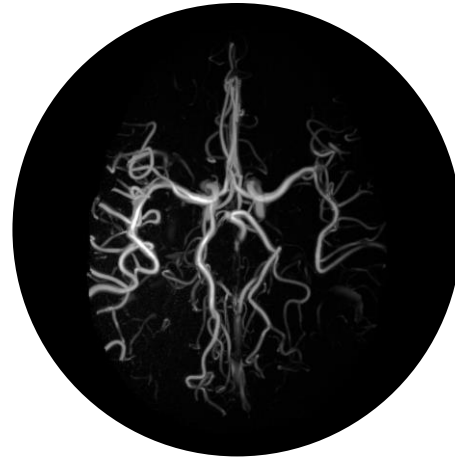
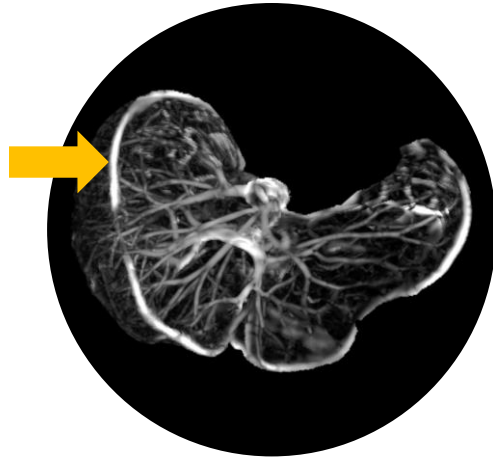
Analyse des filtres – Résultats quantitatifs

Nom	Ircad		Bullitt		VascuSynth Bruit faible		VascuSynth Bruit moyen		VascuSynth Bruit fort	
	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage	Organe	Voisinage
Sato [Sato et al]		 0,508	 0,475	 0,435	 0,618			 0,663		
Frangi [Frangi et al]		 0,535	 0,474	 0,415	 0,634	 0,700	 0,577	 0,739	 0,500	 0,729
Meijering [Meijering et al]					 0,627	 0,725	 0,603	 0,687	 0,565	 0,642
OOF [Law et al]										
Jerman [Jerman et al]	 0,382					 0,710	 0,565		 0,501	
Zhang [Zhang et al]	 0,432	 0,535								 0,634
RORPO [Merveille et al]	 0,475		 0,543	 0,506						

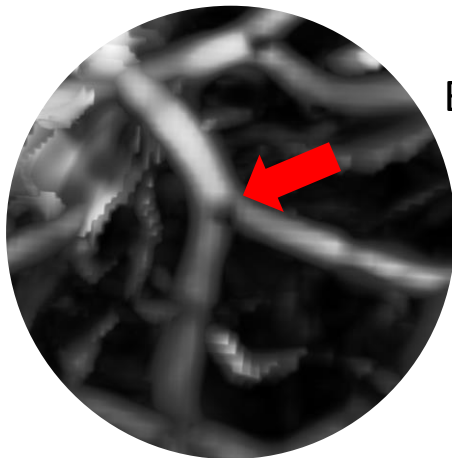
MCC optimisé sur l'organe

Analyse des filtres – Sato

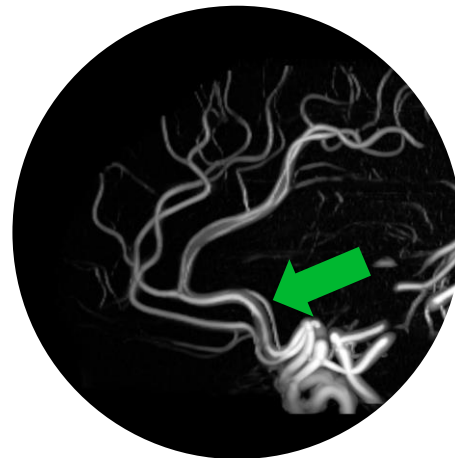
Bords



Bifurcation



Vaisseaux
voisins

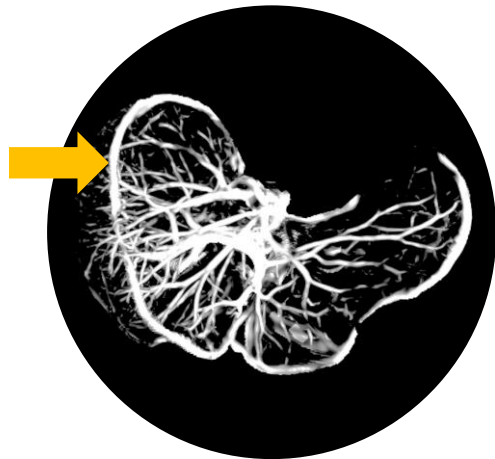


Bifurcation

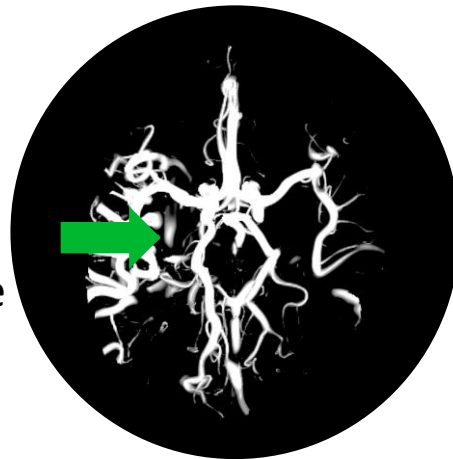


Analyse des filtres – Jerman

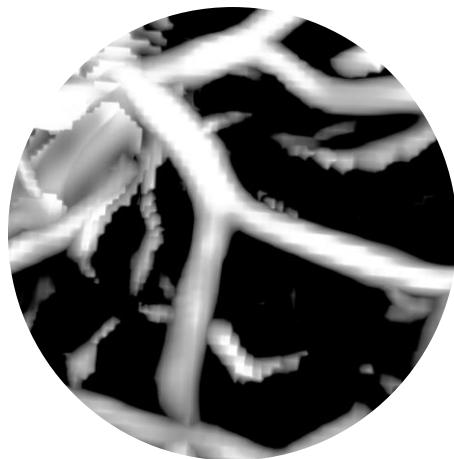
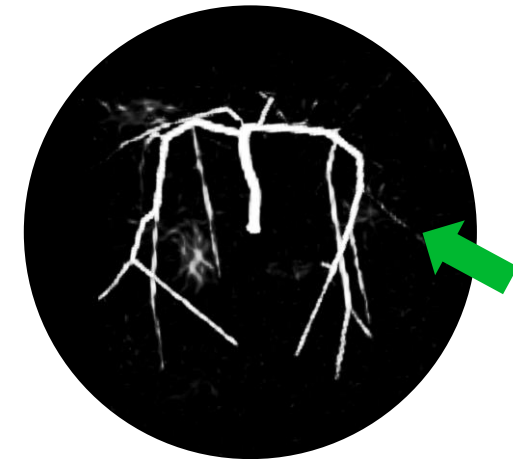
Bords



Profil
homogène



Petits
vaisseaux



Vaisseaux
voisins

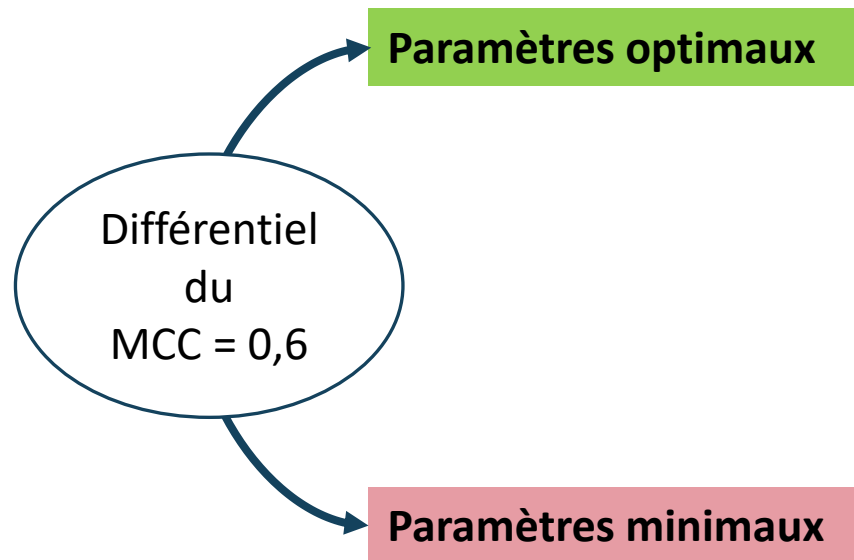


Analyse des filtres

- Quels filtres sont les plus performants ?
 - Résultats quantitatifs et qualitatifs
 - Organe et voisinage des vaisseaux
- **L'optimisation des paramètres est-elle pertinente ?**
 - Différentiel entre meilleur et moins bon jeu de paramètres



Analyse des filtres – Différentiel entre paramètres



Jeu de paramètres 1 MCC moyen = 0,3

Jeu de paramètres 2 MCC moyen = 0,2

Jeu de paramètres 3 MCC moyen = 0,7

Jeu de paramètres 4 MCC moyen = 0,6

Jeu de paramètres 5 MCC moyen = 0,5

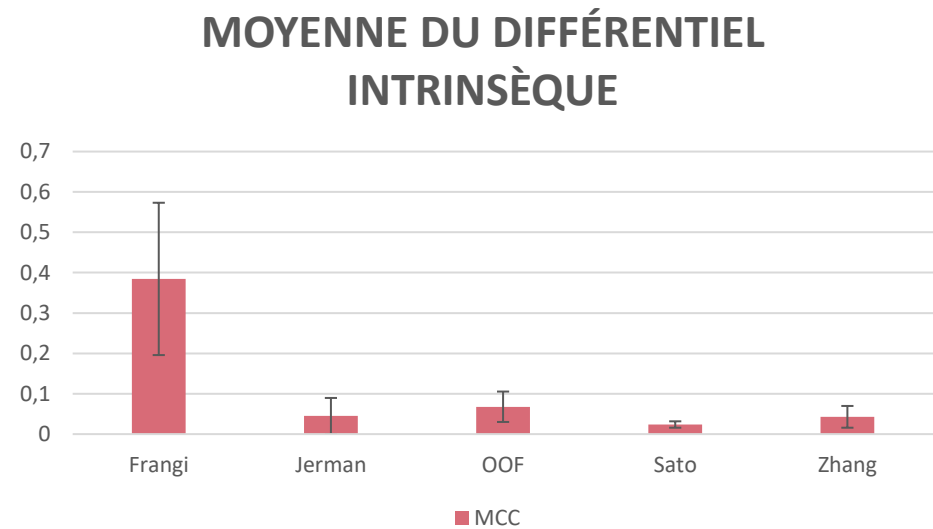
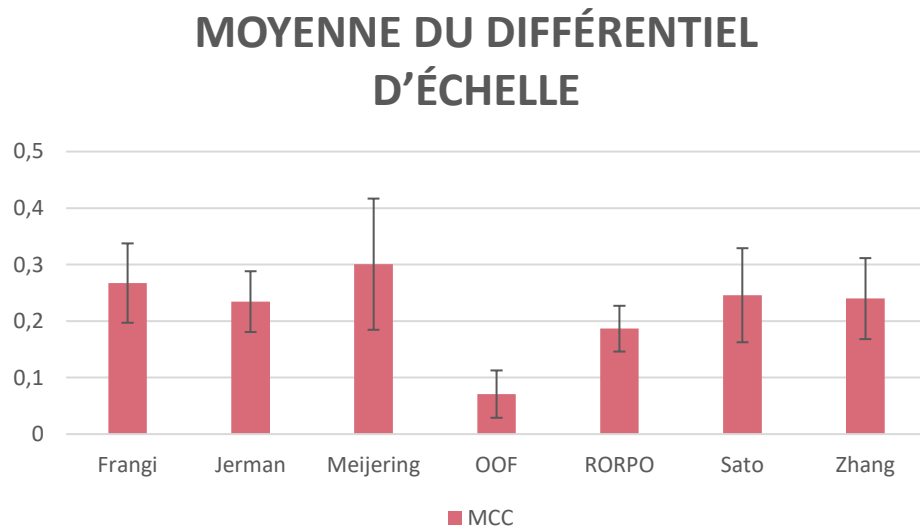
Jeu de paramètres 6 MCC moyen = 0,3

Jeu de paramètres 7 MCC moyen = 0,1

Jeu de paramètres 8 MCC moyen = 0,2

Analyse des filtres – Différentiel entre paramètres

Différentiel des paramètres les moins performants vs. paramètres optimaux
(Moyenne effectuée sur tous les jeux de données)



- Nécessité d'optimiser les paramètres d'échelles
- Optimisation des paramètres intrinsèques optionelle sauf pour Frangi

Analyse des filtres – Conclusion

Quels filtres pour l'IRM du foie ?

- Exclusion de Meijering (vaisseaux droits non réalistes)
- Masque des organes
 - Disponible : Frangi, Sato
 - Indisponible : RORPO
- Bruit
 - IRM peu bruitée : RORPO, Sato, Frangi
 - IRM bruitée : Frangi, Jerman/Sato

Analyse des filtres – Conclusion

Quels filtres pour l'IRM du foie ?

- Exclusion de Meijering (vaisseaux droits non réalistes)
- Masque des organes
 - Disponible : Frangi, Sato
 - Indisponible : RORPO
- Bruit
 - IRM peu bruitée : RORPO, Sato, Frangi
 - IRM bruitée : Frangi, Jerman/Sato

Quelle facilité de paramétrisation ?

1. RORPO (3 param éch + 0 param intra)
2. Jerman (3 param éch + 1 param intra)
3. Sato (3 param éch + 2 param intra)
4. Frangi (3 param éch + 3 param intra)

Analyse des filtres – Conclusion

Quels filtres pour l'IRM du foie ?

- Exclusion de Meijering (vaisseaux droits non réalistes)
- Masque des organes
 - Disponible : Frangi, Sato
 - Indisponible : RORPO
- Bruit
 - IRM peu bruitée : RORPO, Sato, Frangi
 - IRM bruitée : Frangi, RORPO, Jerman /Sato

Quelle facilité de paramétrisation ?

1. RORPO (3 param éch + 0 param intra)
 - Implémentation mise à jour avec un paramètre supplémentaire de gestion du bruit
2. Jerman (3 param éch + 1 param intra)
3. Sato (3 param éch + 2 param intra)
4. Frangi (3 param éch + 3 param intra)

Conclusion

Contributions

[Lamy et al, ICPR 2020], [Lamy et al, TMI 2022]

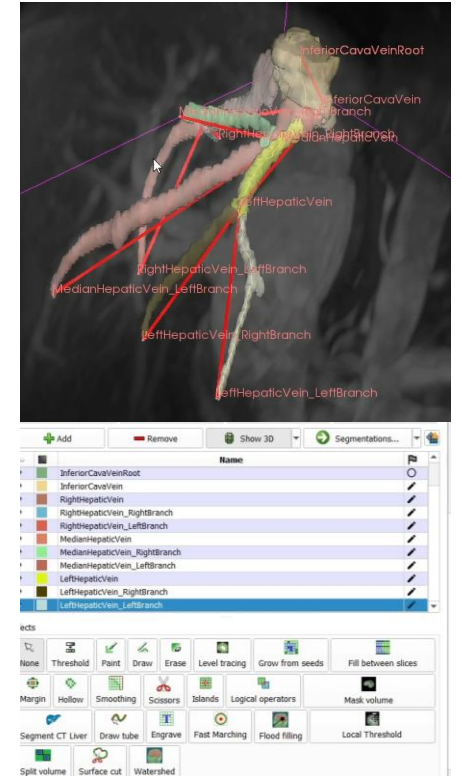
- Guide des filtres de rehaussement
- Implémentation unifiée en C++ des 7 filtres de rehaussement
- Filtres distribués sous 3DSlicer

[Lamy et al, ICPR 2020], [Lamy et al, TMI 2022], [Lamy et al, RRPR 2021]

- Mise en place d'un banc de test « universel » pour les filtres 3D
 - Banc de test extensible et démonstrateur
 - Disponible en ligne
 - Analyse quantitative et qualitative avec expériences reproductibles

[Lamy et al, JOSS 2022], [Lamy et al, EASL 2022], [Lamy et al, RRPR 2021]

- Logiciel d'annotations
 - Distribué sous 3DSlicer



Plugin 3DSlicer
d'annotation



JonasLamy/LiverVesselness

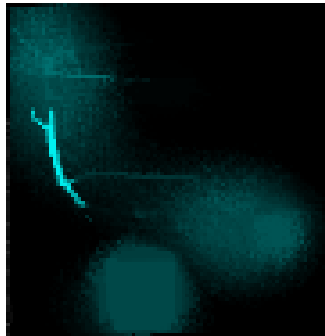
Conclusion – Perspectives

Quel avenir pour le rehaussement ?

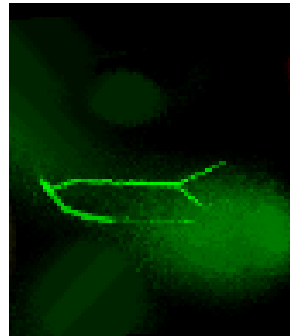
- Couplage rehaussement et apprentissage profond
 - Données filtrées comme données d'entraînement [Affane, Lamy et al, IMU 2022]
 - Données multi-spectrales
- Développer des méthodes nécessitant un minimum d'annotations
 - Limiter les annotations aux bifurcations
 - Coupler le rehaussement pour les parties tubulaires + une méthode de détection des bifurcations seules.
 - Deep learning
 - Rehaussement de bifurcations

Conclusion – Perspectives

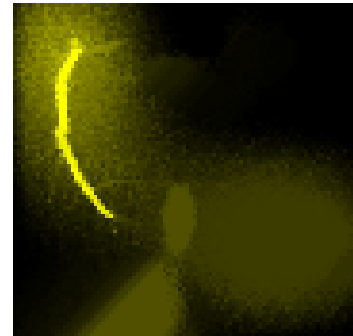
Intersection de chemins 3 à 3



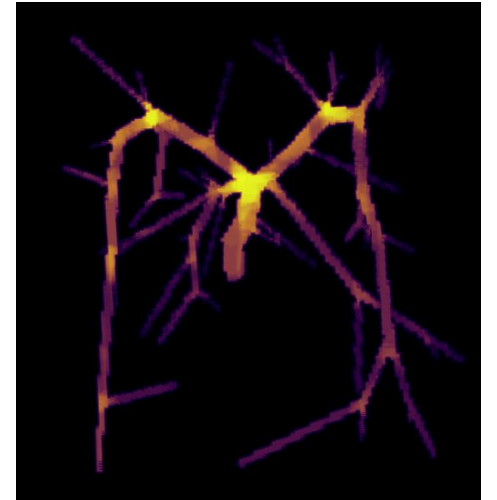
\cap



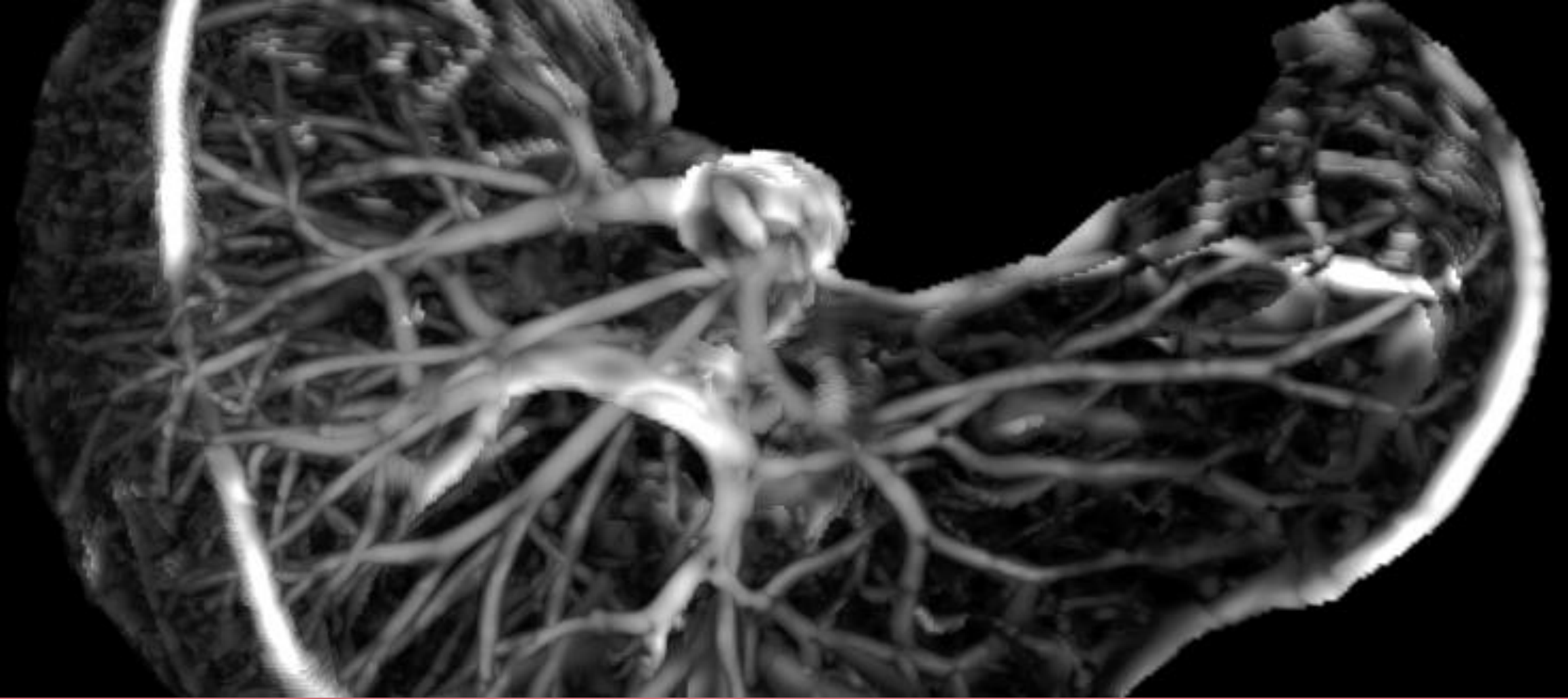
\cap



=



Rehaussement de bifurcations par RORPO



Merci de votre attention !