Contribution à la détection de changements dans des séquences IRM 3D multimodales

soutenance de thèse de : Marcel BOSC

sous la direction de : Fabrice HEITZ
Jean-Paul ARMSPACH

17 décembre 2003

Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection
UMR CNRS 7005

Institut de Physique Biologique
UMR CNRS 7004

Plan de la présentation

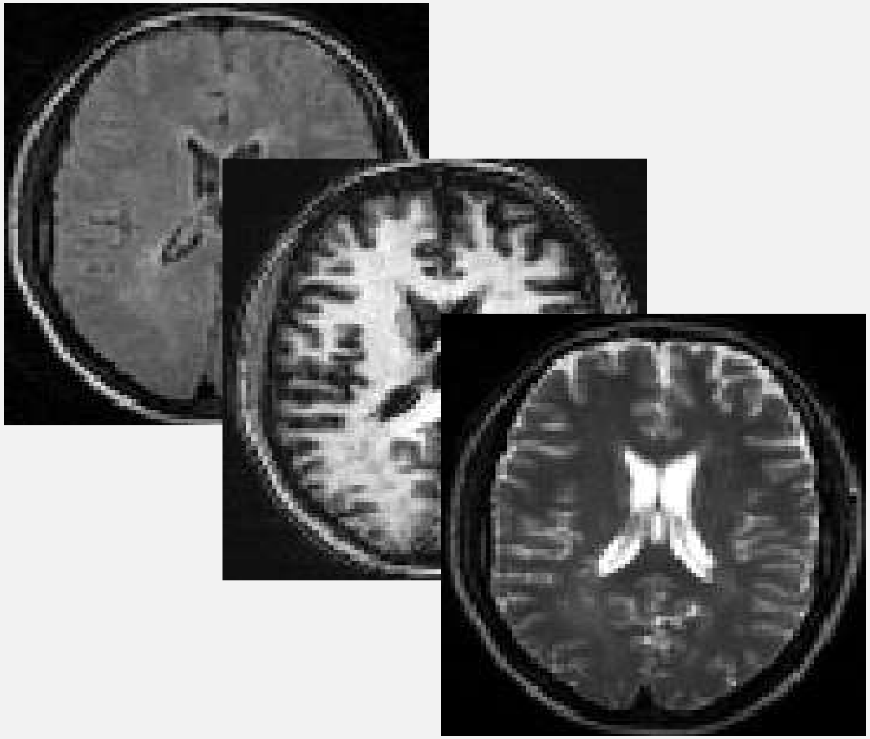
- Introduction
  - problématique
  - imagerie
  - anatomie
  - sclérose en plaques
- Détection de changements
- Segmentation du cortex
- Aspects logiciels
- Conclusion

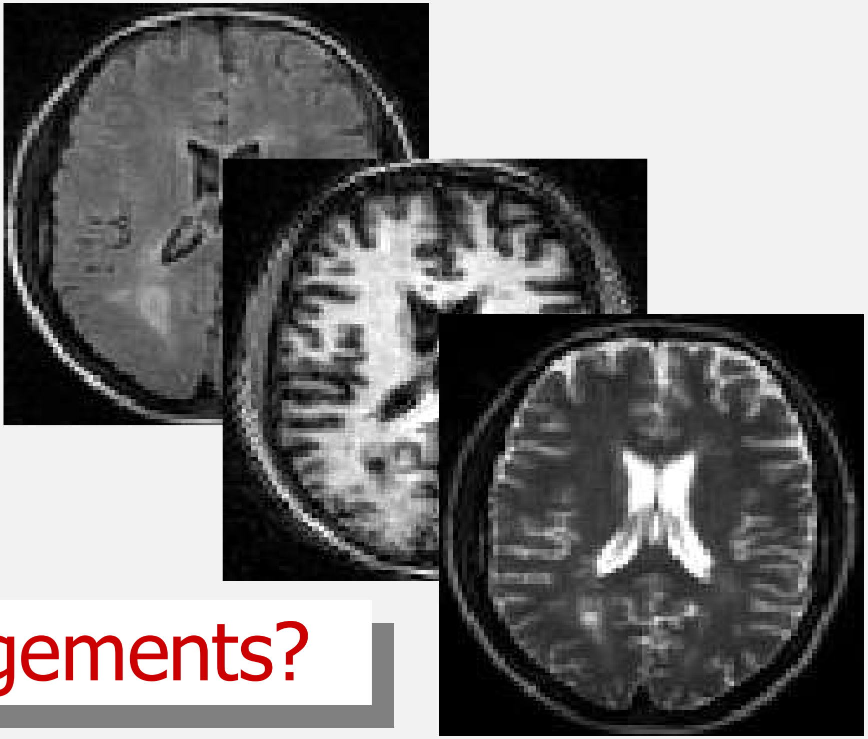
Qu'est-ce qu'on veut faire?

examen: t

examen: t+2 mois

acquisition IRM
volumique
en 3 modalités



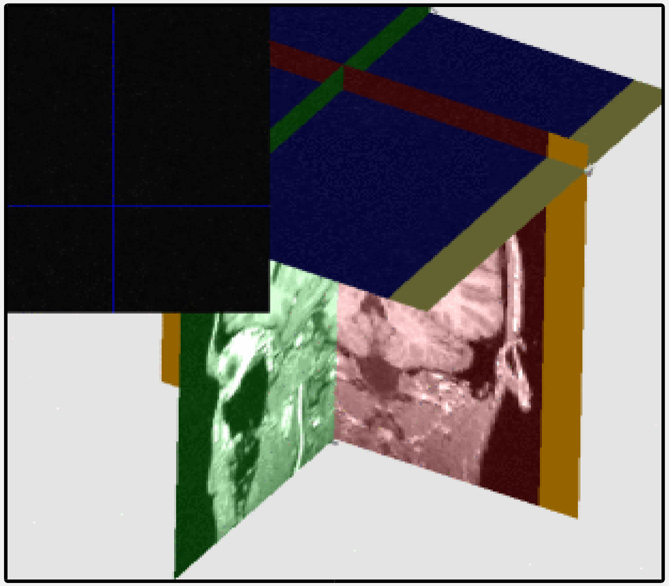


changements?

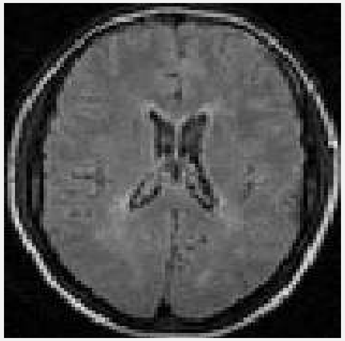
Imagerie par résonance magnétique

- IRM : imagerie volumique →

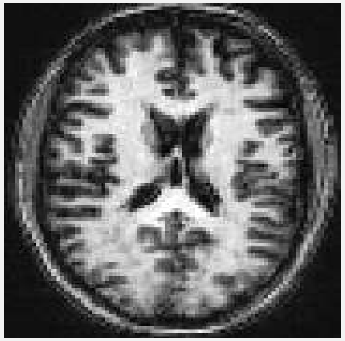
  128x128x128 et 256x256x256



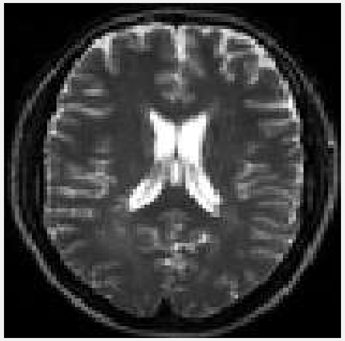
- différentes modalités possibles



FLAIR

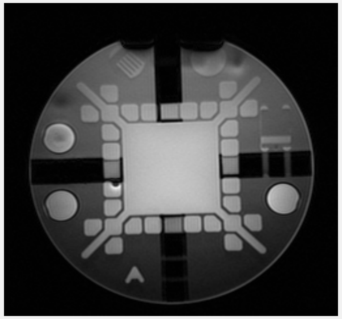


T1

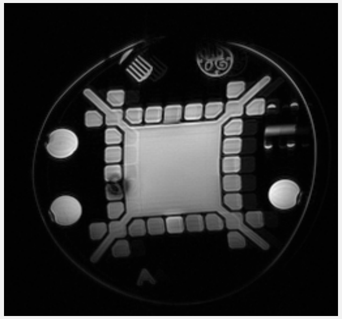


T2

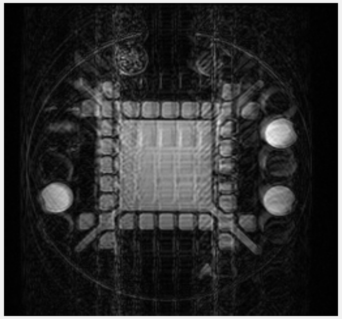
- certains artefacts spécifiques



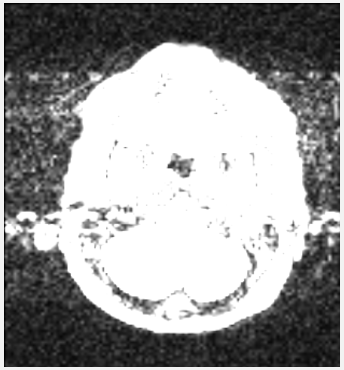
normale



déformations

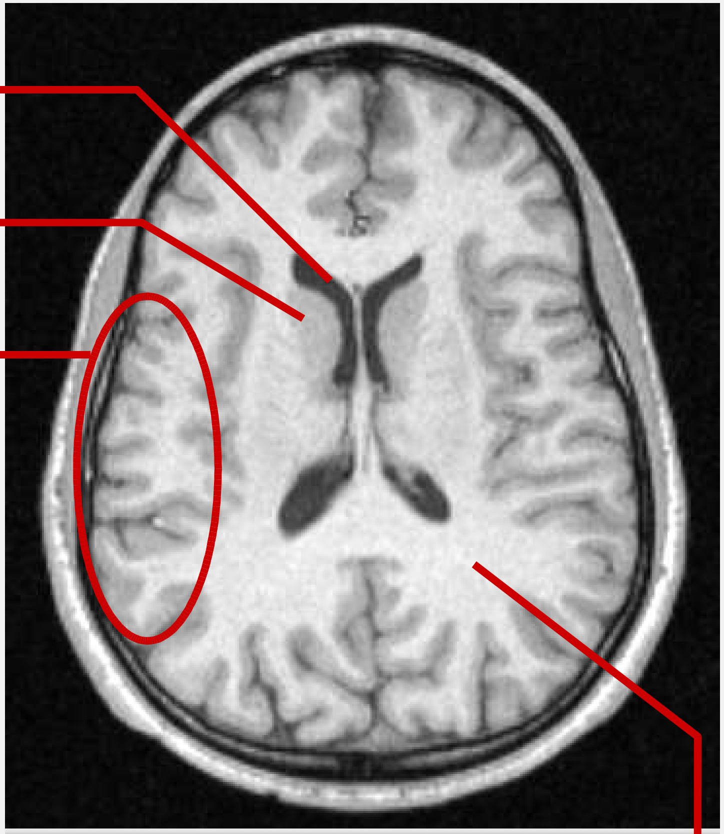


mouvement



mouvement

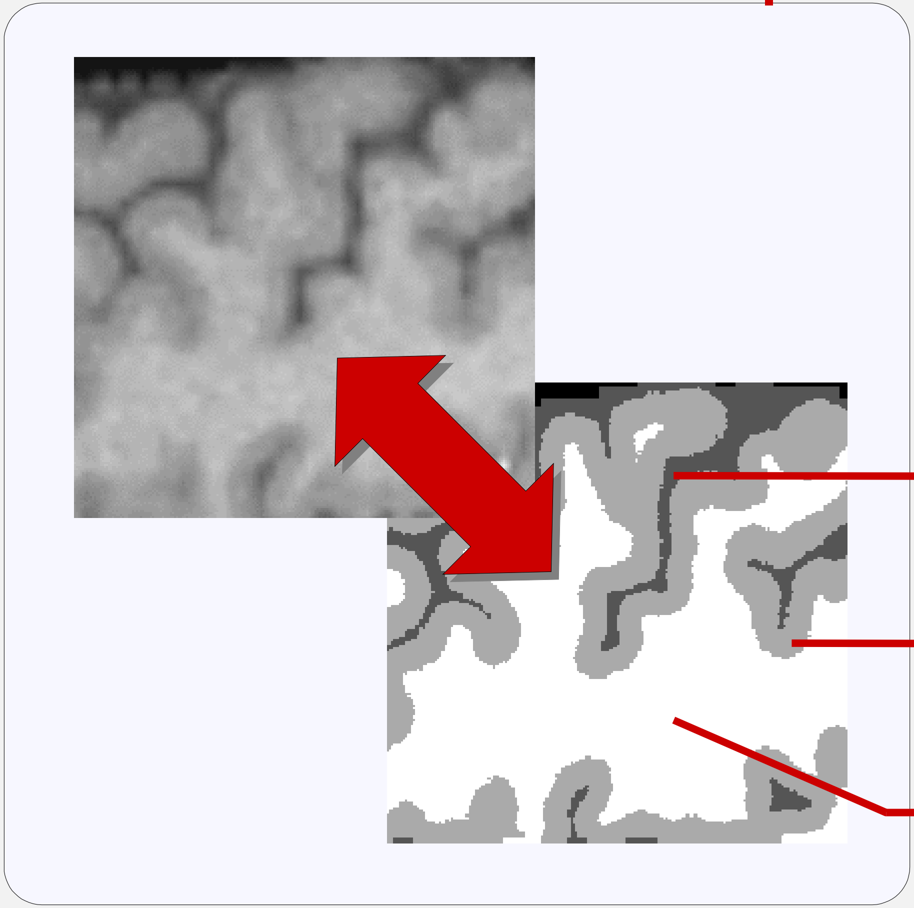
Le cerveau et l'IRM



ventricules

noyaux gris

sillons corticaux



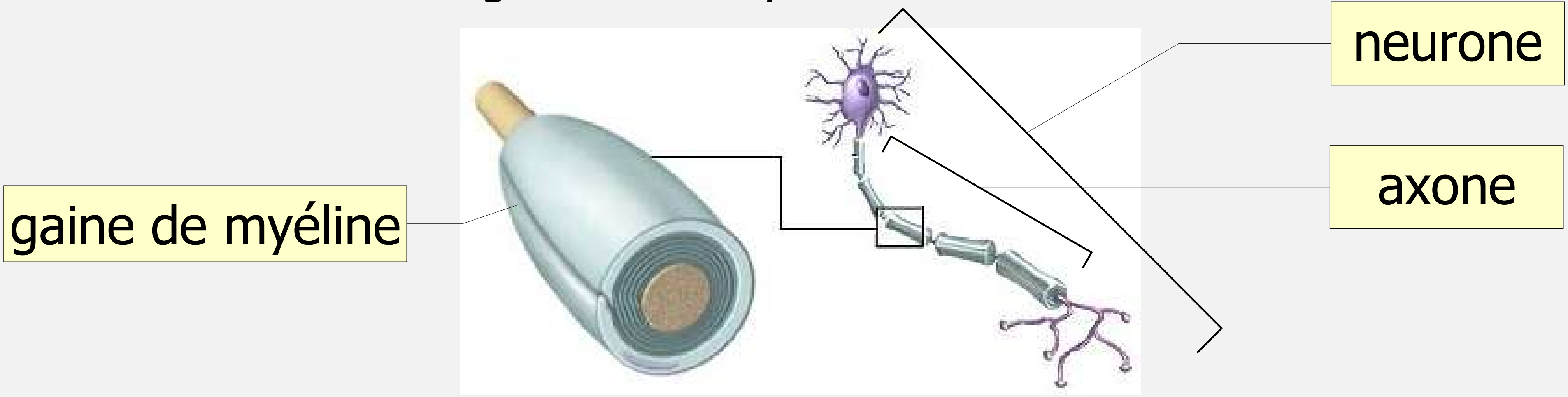
liquide céphalo-rachidien

substance grise

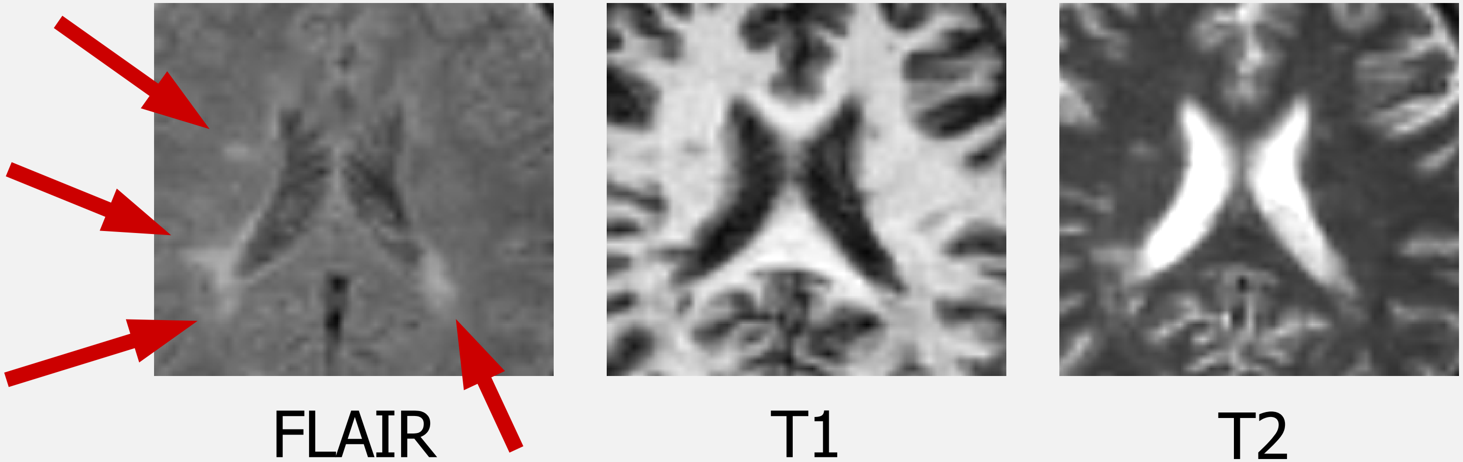
substance blanche

La sclérose en plaques

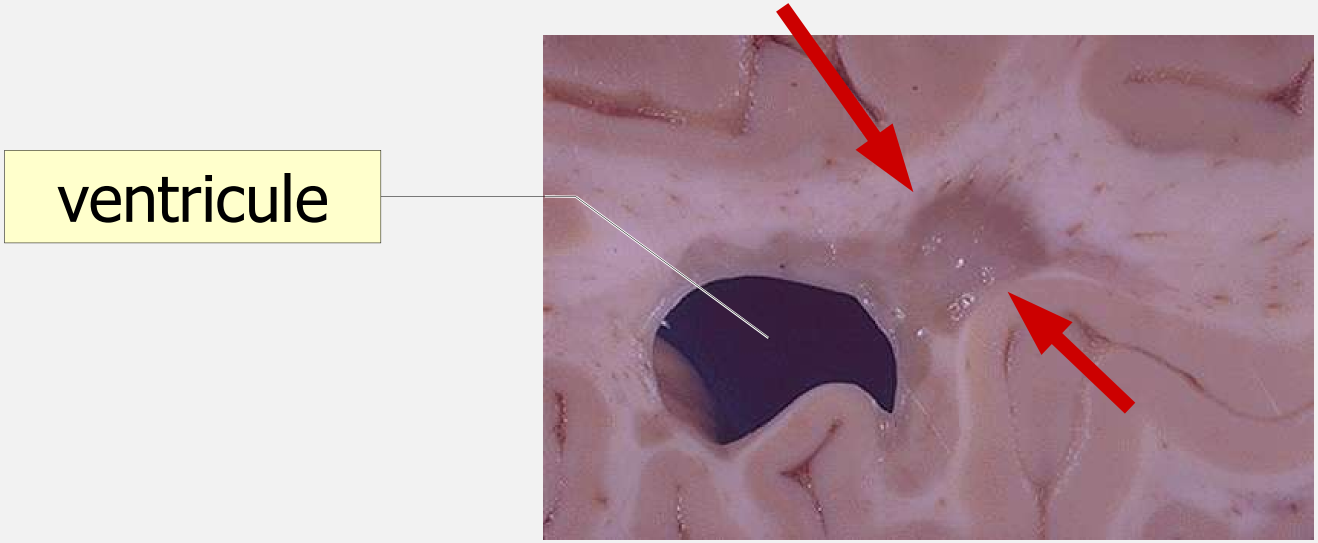
- maladie incurable fortement incapacitante
- destruction des gaines de myéline


neurone
axone
gaine de myéline

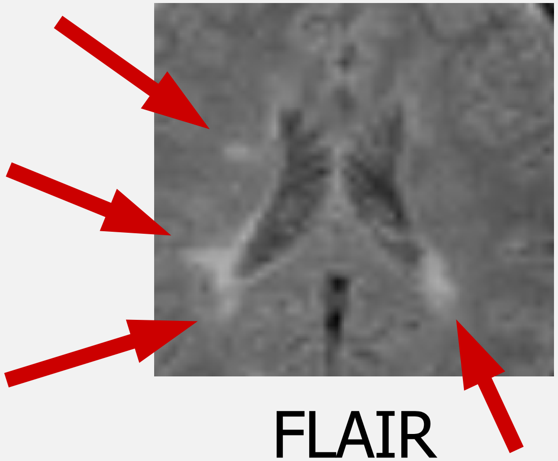
- apparition de lésions

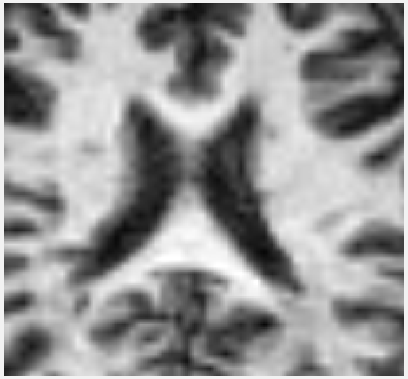

FLAIR T1 T2

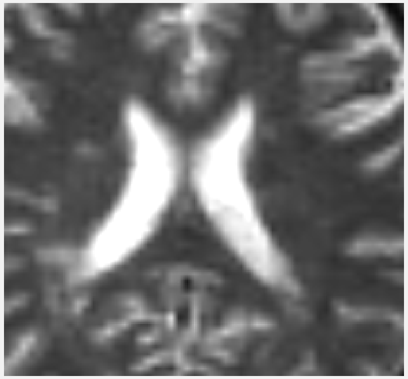
La sclérose en plaques


ventricule

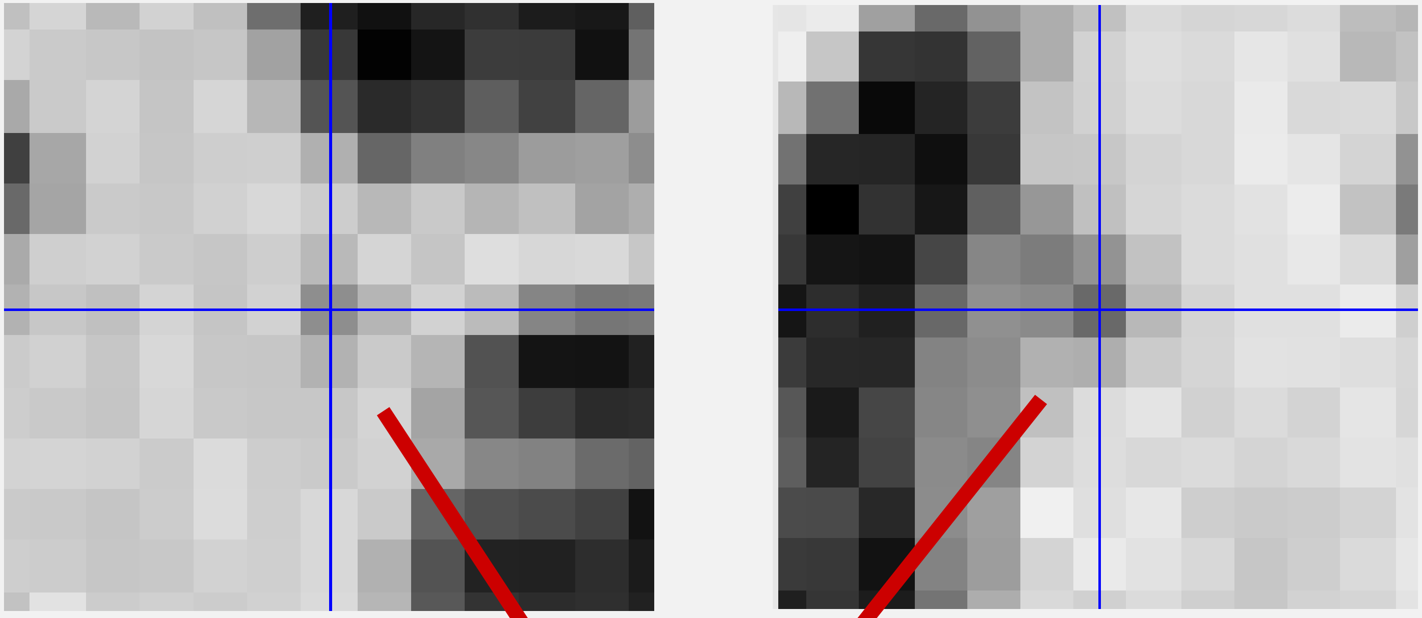
- apparition de lésions


FLAIR

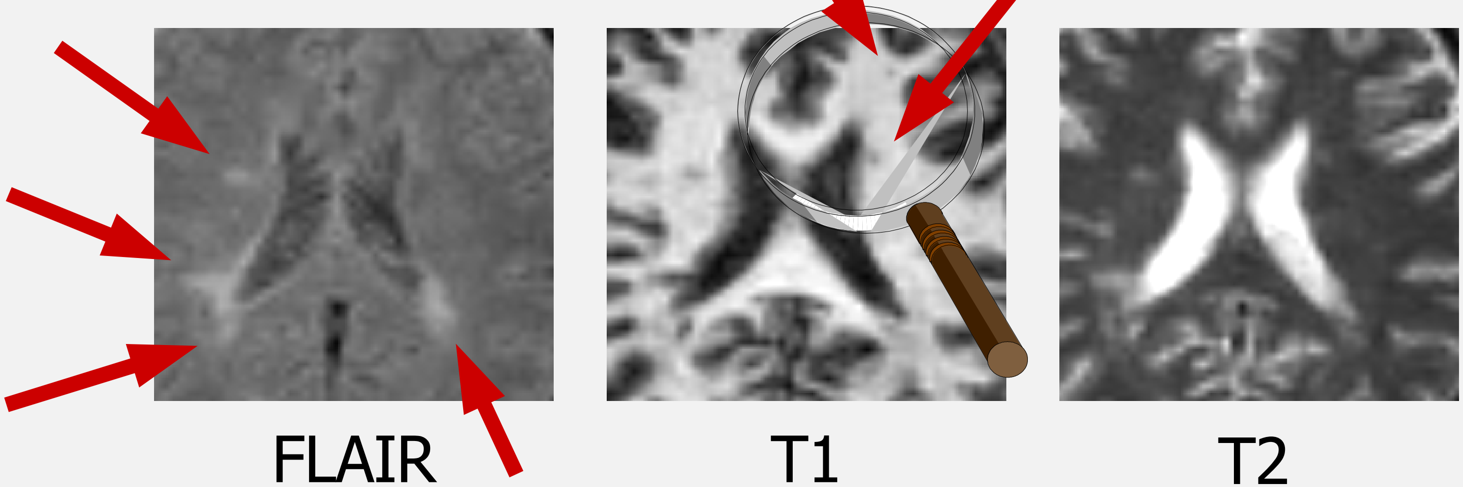

T1


T2

La sclérose en plaques



- apparition de lésions



Plan de la présentation

Introduction

Détection de changements

- introduction
- traitements
- évaluation et résultats

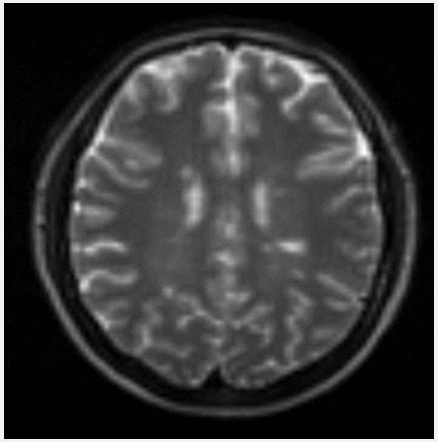
Segmentation du cortex

Aspects logiciels

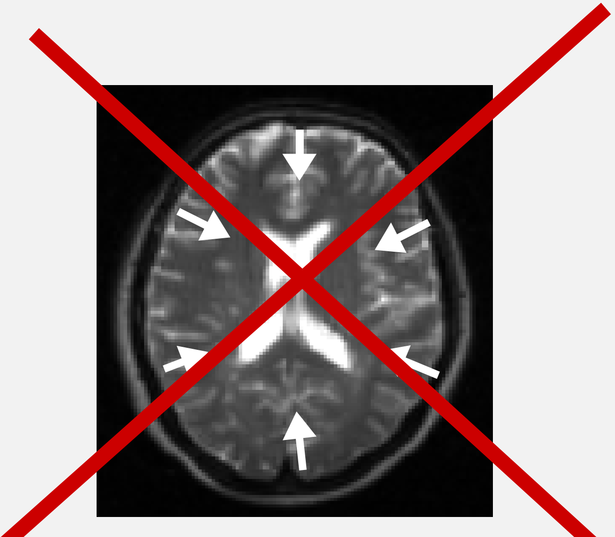
Conclusion

Présentation

- objectifs



changements d'intensité
localisés

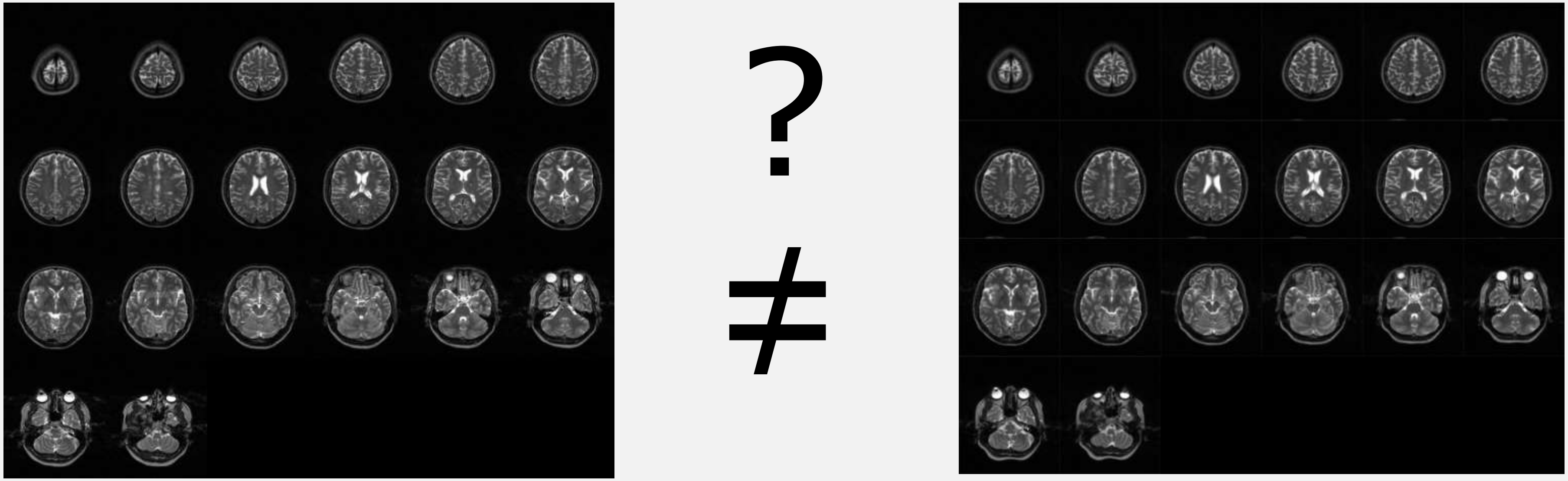


~~grands changements~~

- applications
  - diagnostic
  - suivi à long terme de l'évolution
  - évaluation de l'efficacité d'une thérapie

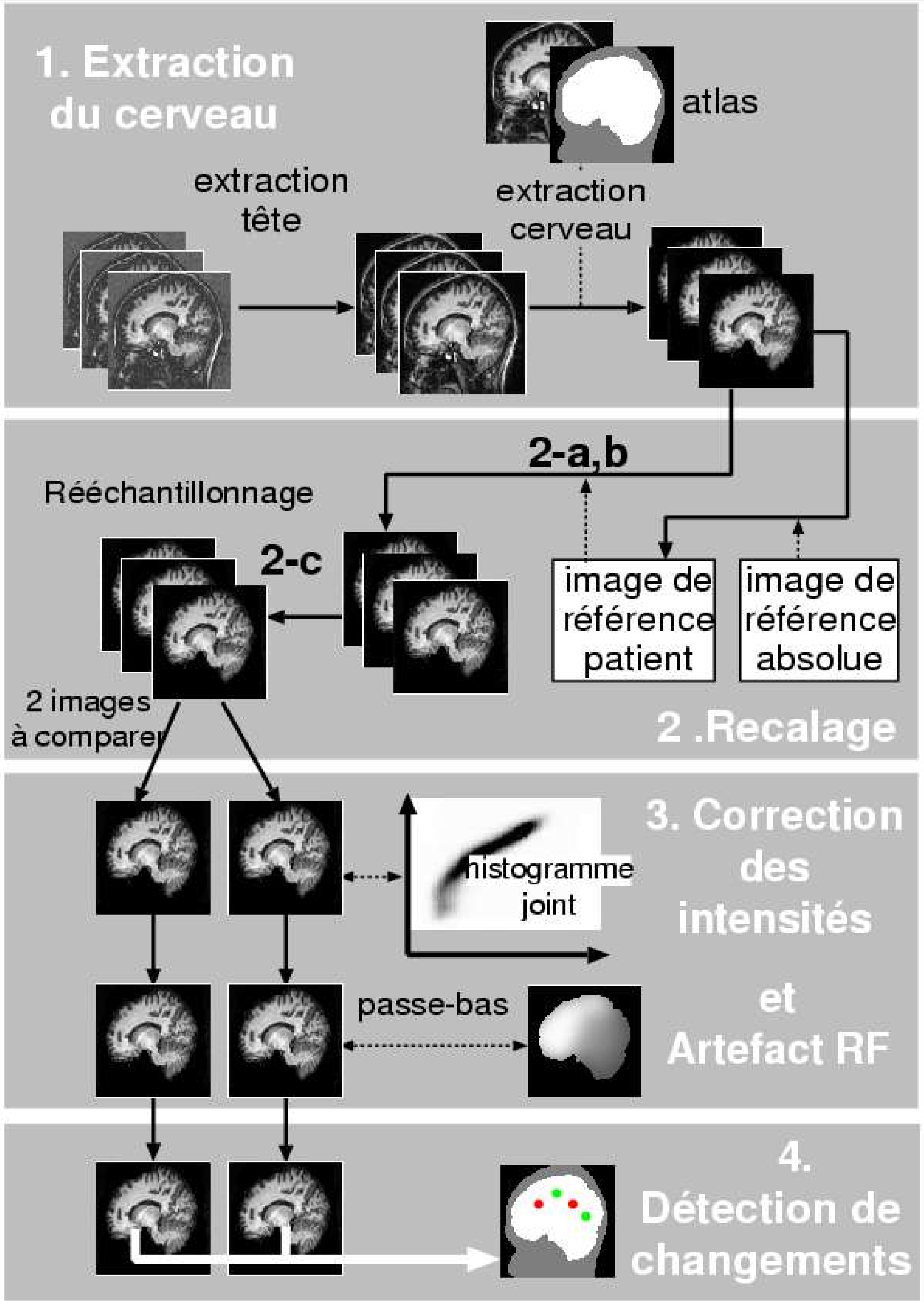
Pourquoi est-ce difficile?

- petits changement / grand volume de donnés

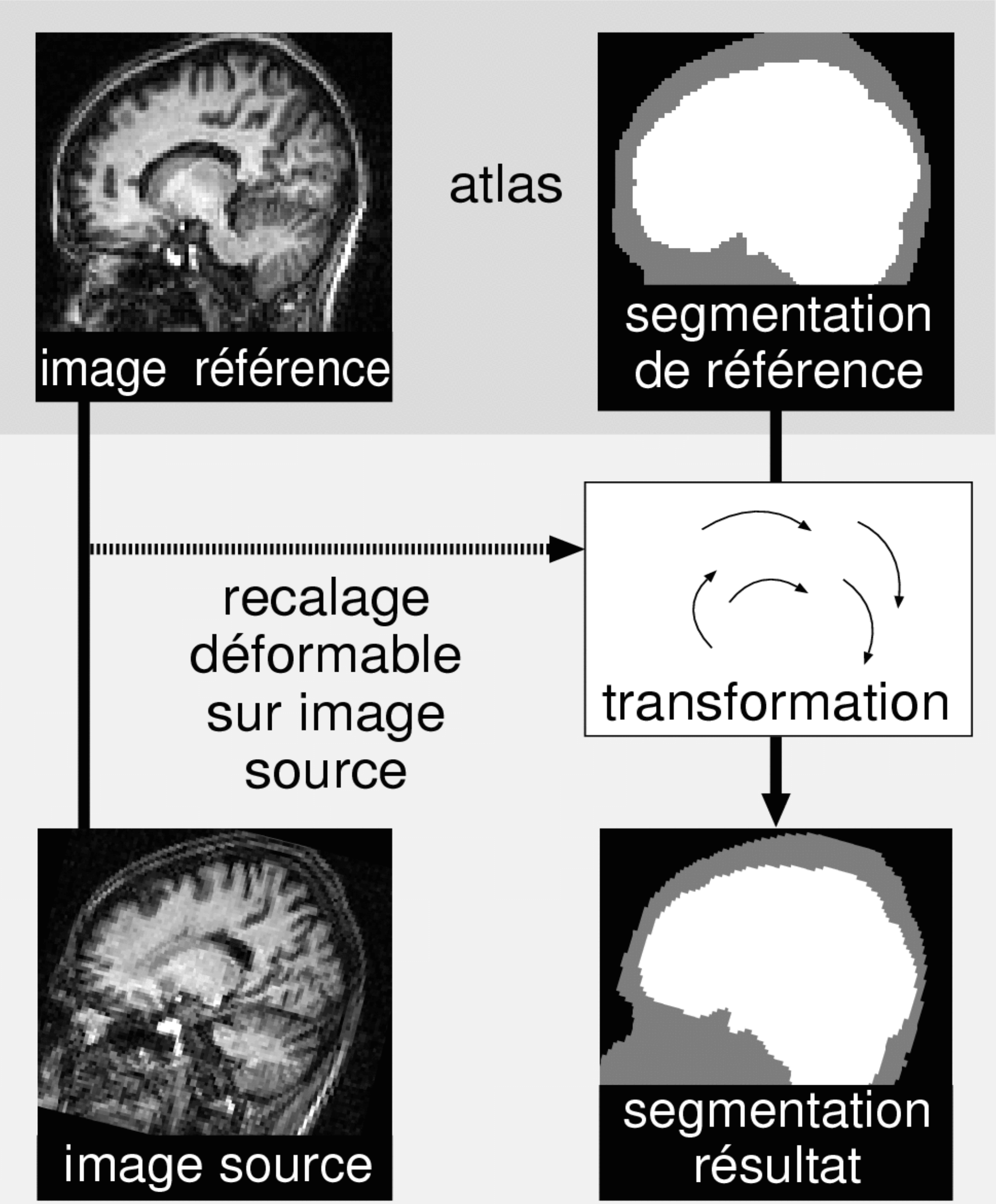


- positionnement géométrique
- dégradations par l'acquisition

Chaîne de traitements

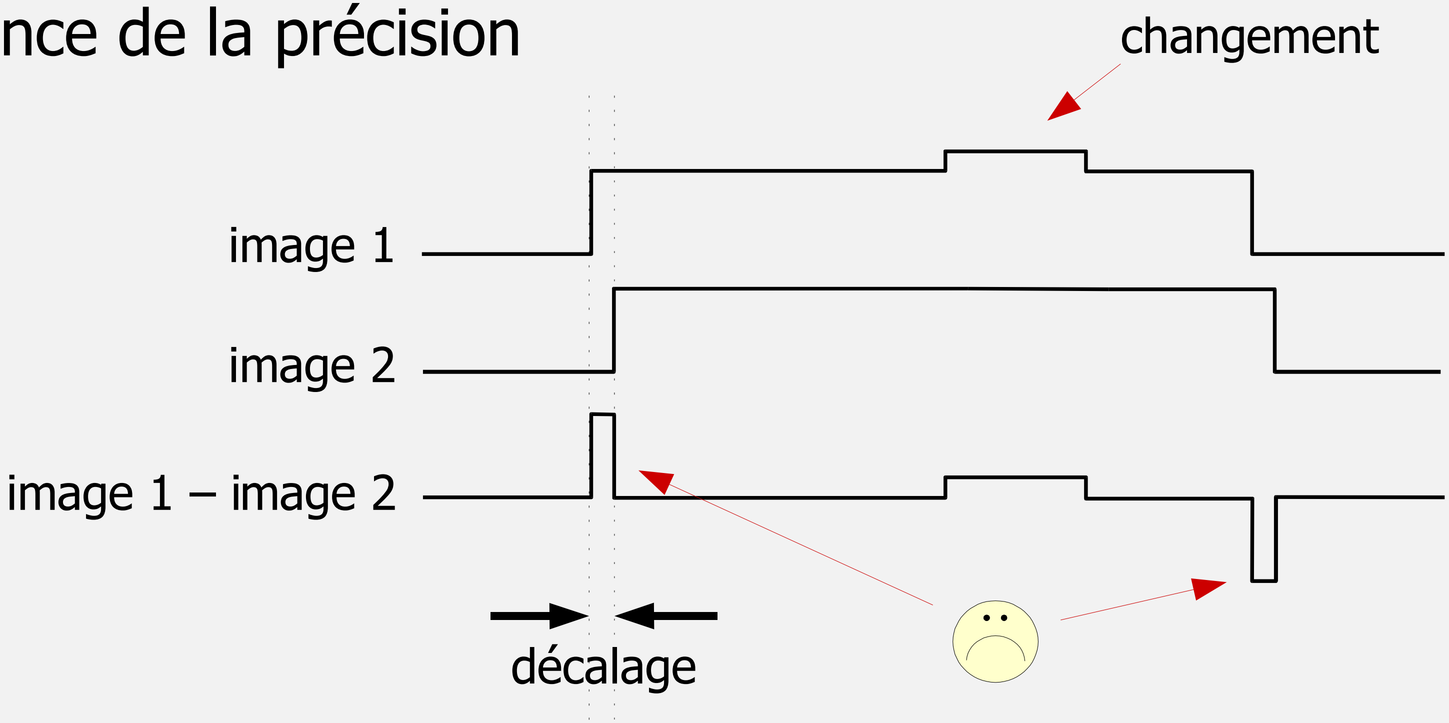

1. Extraction du cerveau
atlas
extraction tête
extraction cerveau
2-a,b
Rééchantillonnage
2-c
image de référence patient
image de référence absolue
2 images à comparer
2 .Recalage
3. Correction des intensités
histogramme joint
passe-bas
et Artefact RF
4. Détection de changements

Extraction du cerveau


atlas
image référence
segmentation de référence
recalage déformable sur image source
transformation
image source
segmentation résultat

Recalage (1)

- importance de la précision

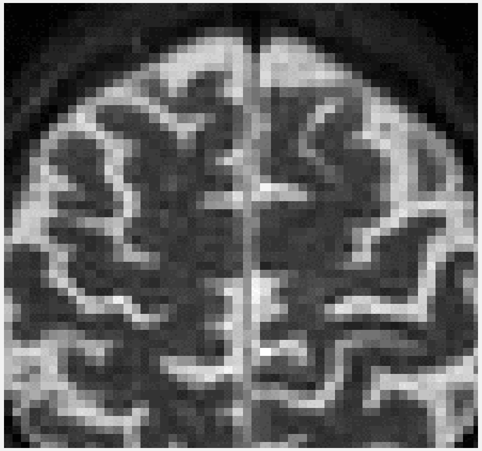

changement
image 1
image 2
image 1 – image 2
décalage

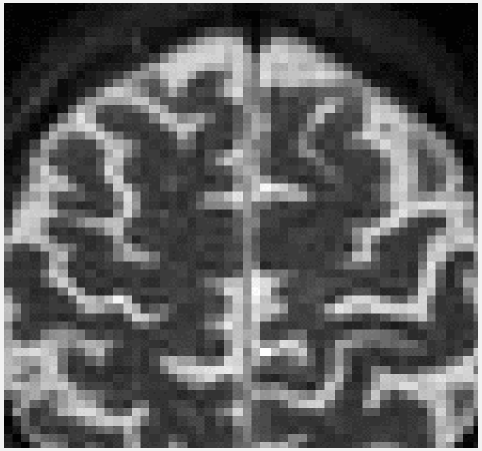
- choix des images de référence pour le recalage

- recalage affine itératif

Recalage (2)

- recalage déformable
  - recalage multi-résolution
  - échelle contrôlée

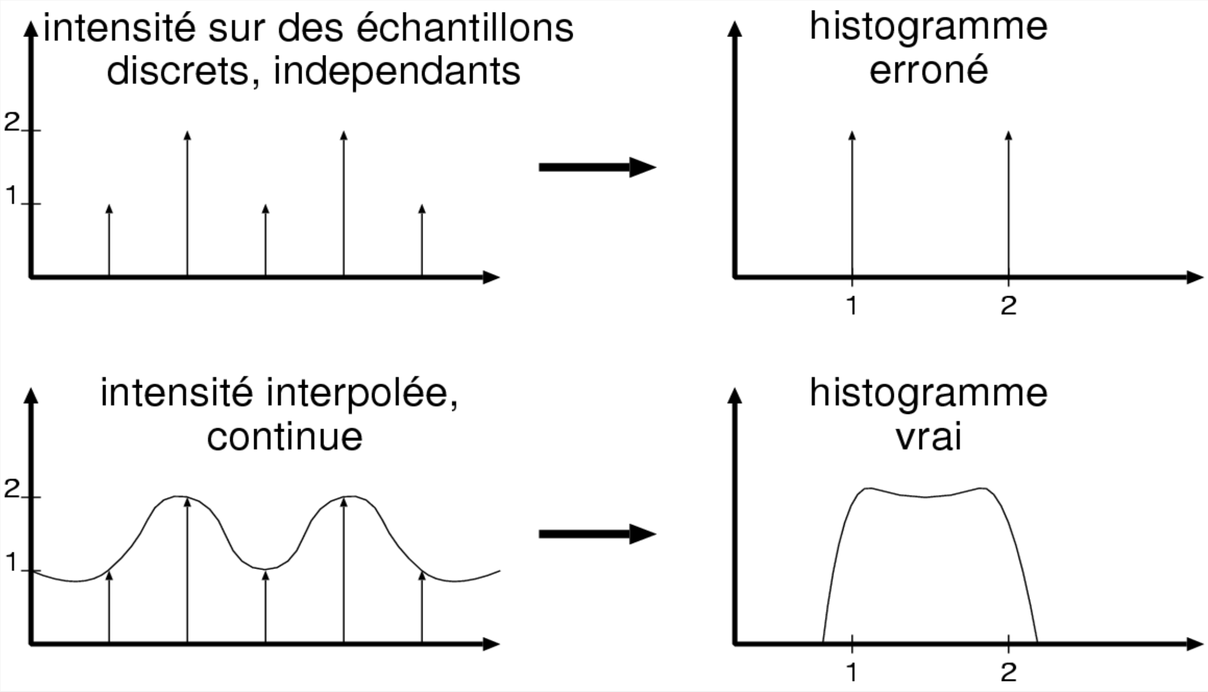

affine

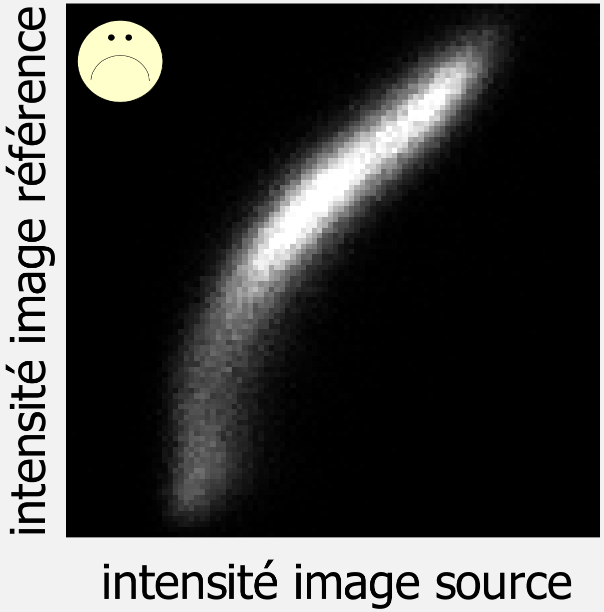

déformable

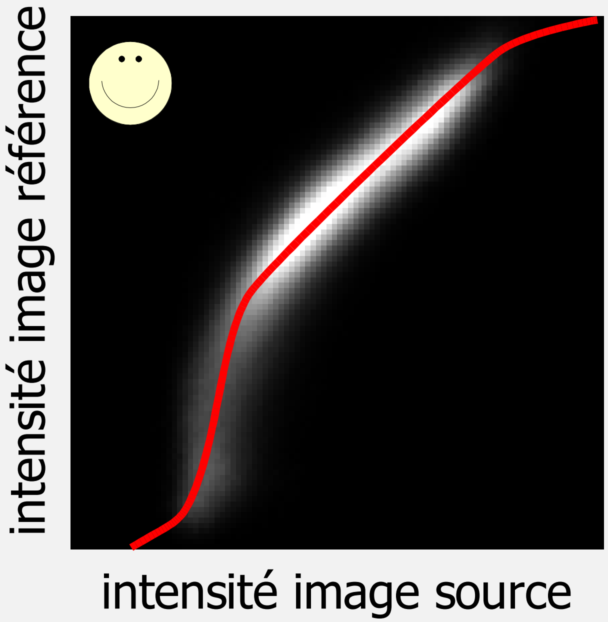
- rééchantillonnage

précision sous-voxel ⇨ interpolation performante

Correction des intensités


intensité sur des échantillons discrets, independants
2
1
histogramme erroné
1
2
intensité interpolée, continue
2
1
histogramme vrai
1
2



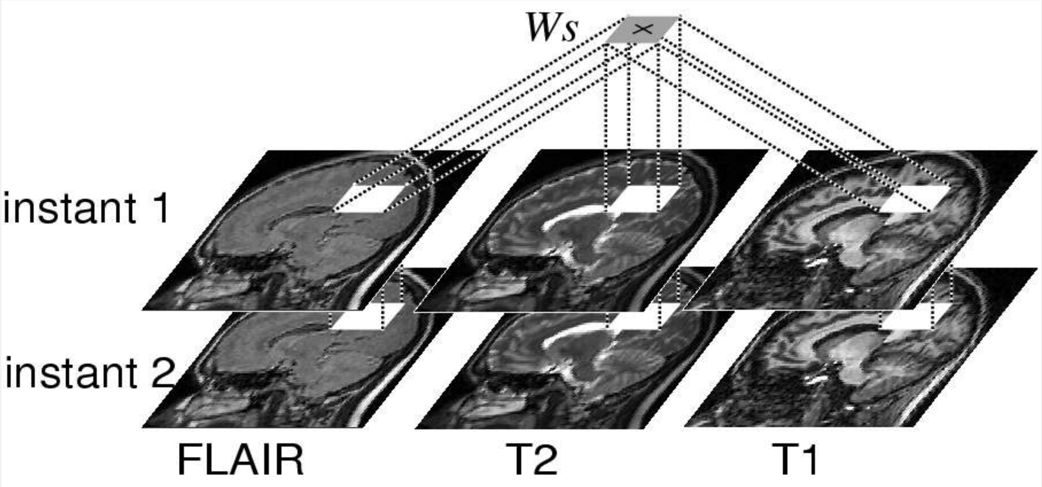


estimation d'une fonction de transfert d'intensité non-linaire

critère quadratique + régularisation

Détection statistique de changements

- en chaque point s de l'image : fenêtre W_s



- rapport de vraisemblance généralisé

intensité W_s instant 1

intensité W_s instant 2

$$R_{GLRT} = \frac{p(\mathcal{I}_1; \hat{\theta}_1) p(\mathcal{I}_2; \hat{\theta}_2)}{p(\mathcal{I}_1; \hat{\theta}_0) p(\mathcal{I}_2; \hat{\theta}_0)}$$

H_1 : changement

H_0 : pas de changement

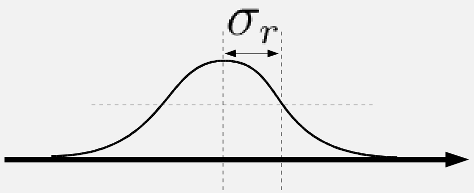
paramètres (μ)

- modèle gaussien multimodal → multidimensionnel

- estimation de la covariance du bruit dans toute l'image

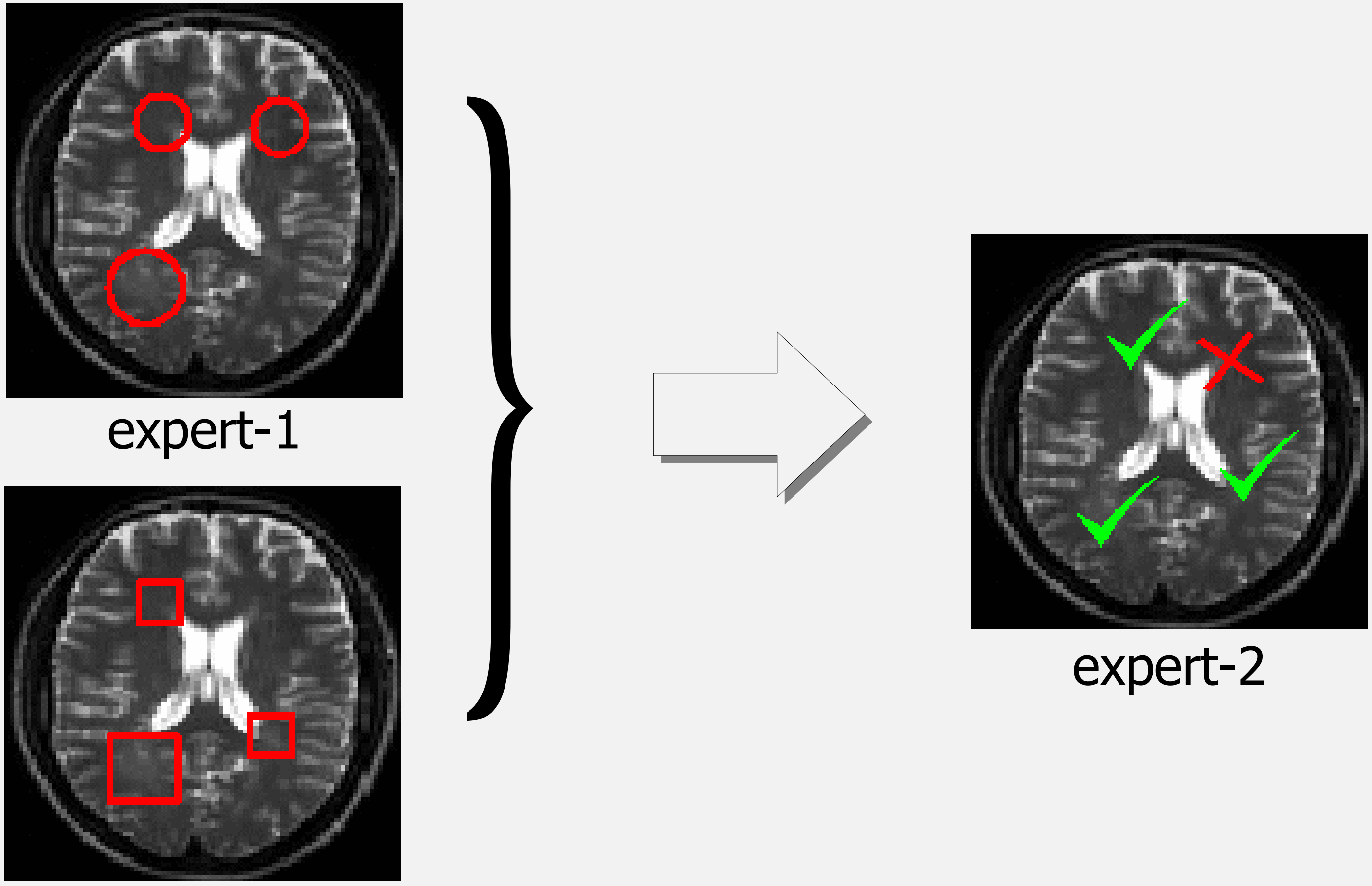
Protocole d'évaluation

- évaluation à l'aide d'évolutions simulées



σ_r (voxels)	0.25	0.5	0.6	0.7	0.75	1	…	7
p_{det}	0%	14%	50%	100%	100%	100%		premiers parasites

- évolution par un protocole impliquant deux experts

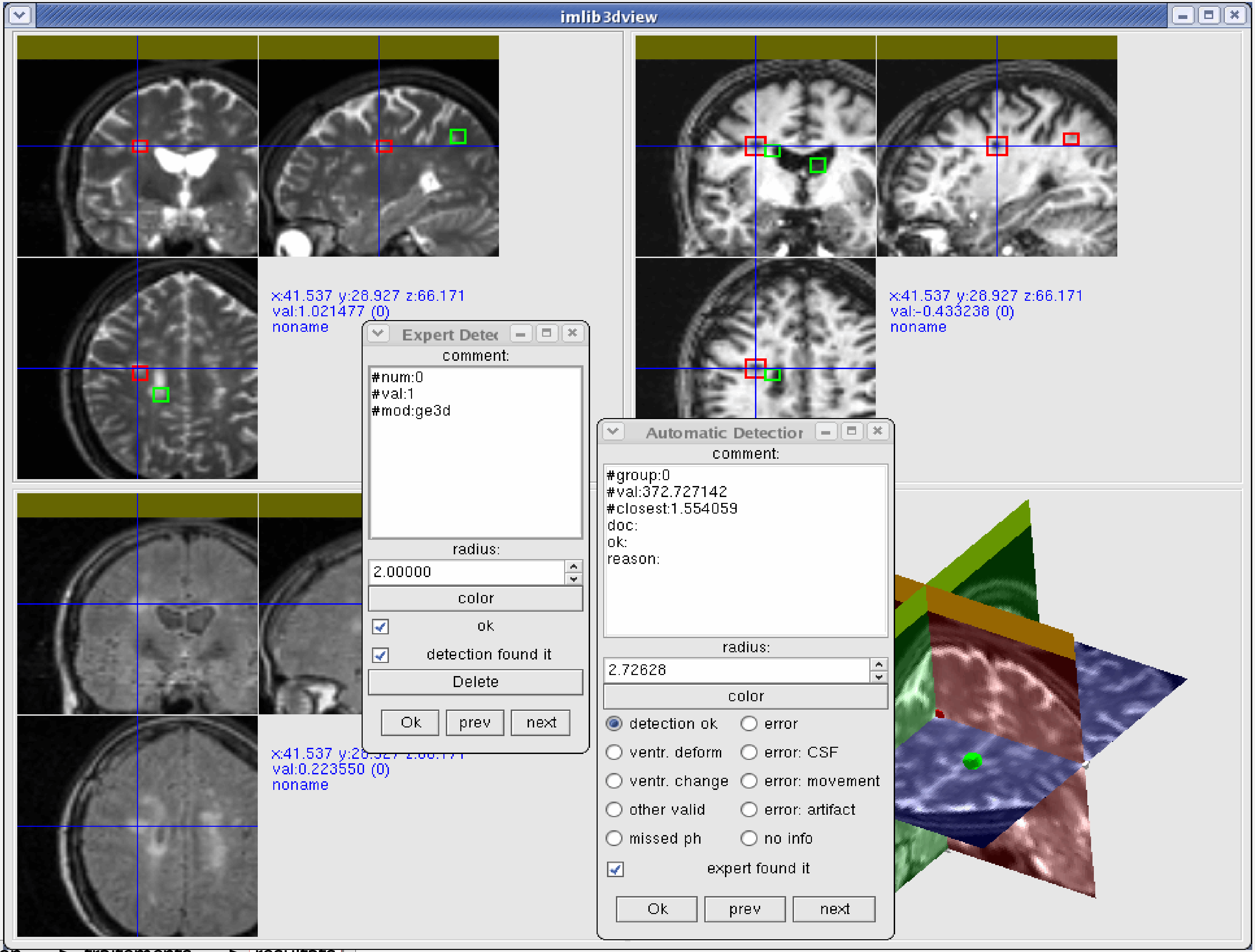


expert-1

système automatique

expert-2

Interface d'évaluation



imlib3dview

x:41.537 y:28.927 z:66.171
val:1.021477 (0)
noname

x:41.537 y:28.927 z:66.171
val:-0.433238 (0)
noname

x:41.537 y:28.927 z:66.171
val:0.223550 (0)
noname

Expert Detec

comment:

#num:0
#val:1
#mod:ge3d

radius: 2.00000

color

☑ ok

☑ detection found it

Delete
Ok
prev
next

Automatic Detectior

comment:

#group:0
#val:372.727142
#closest:1.554059
doc:
ok:
reason:

radius: 2.72628

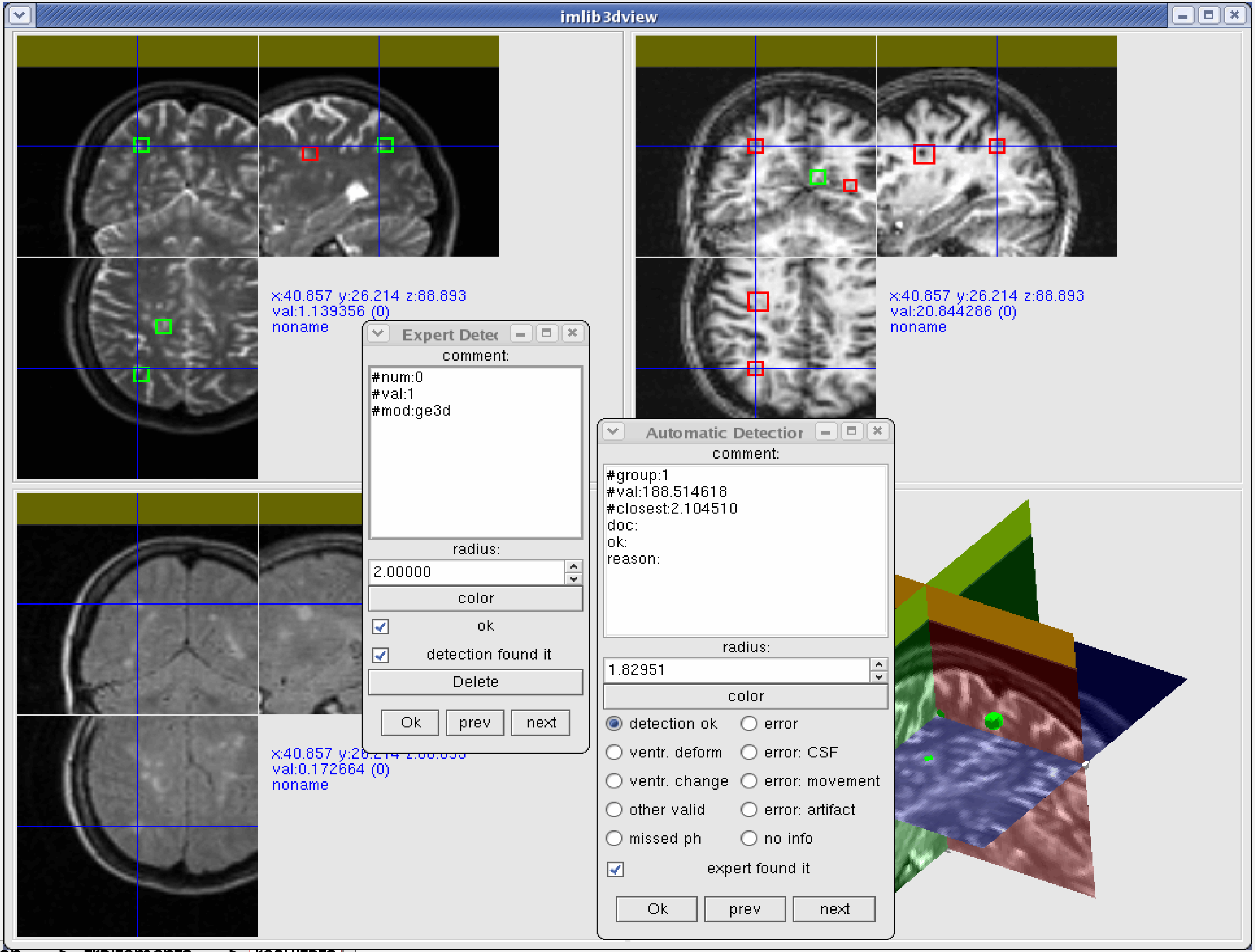
color

● detection ok ○ error
○ ventr. deform ○ error: CSF
○ ventr. change ○ error: movement
○ other valid ○ error: artifact
○ missed ph ○ no info

☑ expert found it

Ok
prev
next

Interface d'évaluation


imlib3dview

x:40.857 y:26.214 z:88.893
val:1.139356 (0)
noname

x:40.857 y:26.214 z:88.893
val:20.844286 (0)
noname

x:40.857 y:26.214 z:88.893
val:0.172664 (0)
noname

Expert Detec

comment:

```
#num:0
#val:1
#mod:ge3d
```

radius: 2.00000

color

☑ ok

☑ detection found it

Delete
Ok
prev
next

Automatic Detection

comment:

```
#group:1
#val:188.514618
#closest:2.104510
doc:
ok:
reason:
```

radius: 1.82951

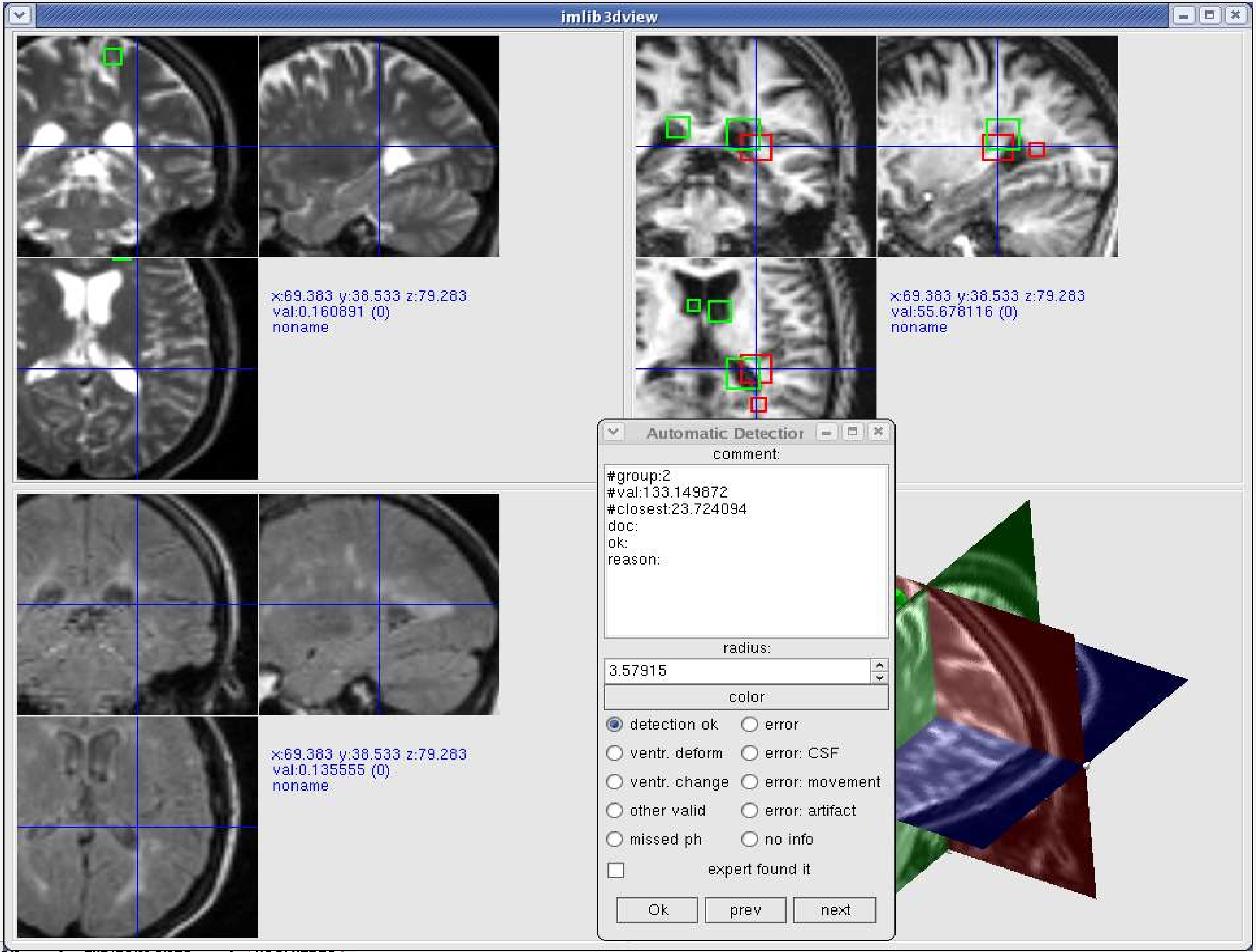
color

● detection ok ○ error
○ ventr. deform ○ error: CSF
○ ventr. change ○ error: movement
○ other valid ○ error: artifact
○ missed ph ○ no info

☑ expert found it

Ok
prev
next

Interface d'évaluation


imlib3dview

x:69.383 y:38.533 z:79.283
val:0.160891 (0)
noname

x:69.383 y:38.533 z:79.283
val:55.678116 (0)
noname

x:69.383 y:38.533 z:79.283
val:0.135555 (0)
noname

Automatic Detection

comment:

```
#group:2
#val:133.149872
#closest:23.724094
doc:
ok:
reason:
```

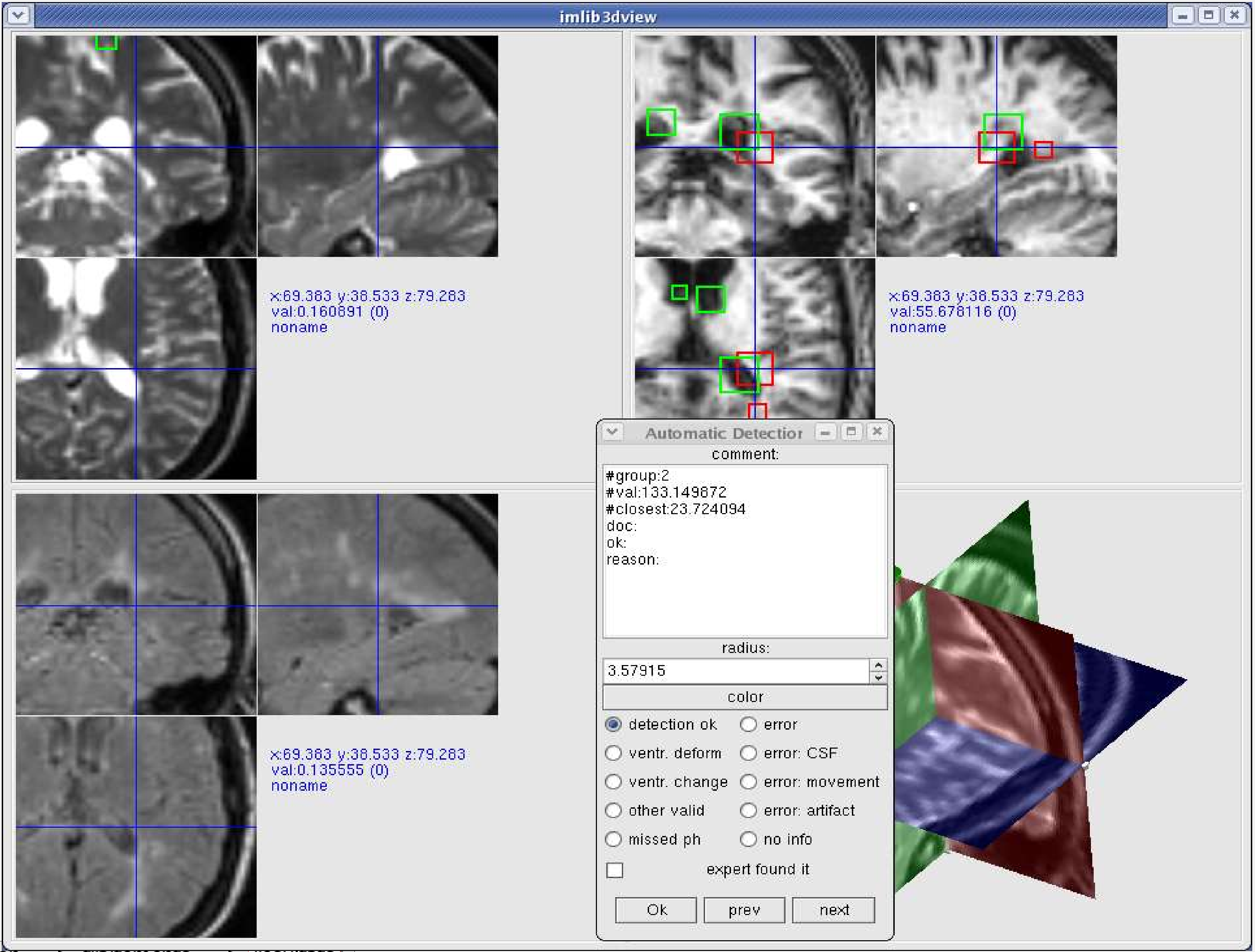
radius: 3.57915

color

● detection ok ○ error
○ ventr. deform ○ error: CSF
○ ventr. change ○ error: movement
○ other valid ○ error: artifact
○ missed ph ○ no info
☐ expert found it

Ok
prev
next

Interface d'évaluation



imlib3dview

x:69.383 y:38.533 z:79.283
val:0.160891 (0)
noname

x:69.383 y:38.533 z:79.283
val:55.678116 (0)
noname

x:69.383 y:38.533 z:79.283
val:0.135555 (0)
noname

Automatic Detectior

comment:

```
#group:2
#val:133.149872
#closest:23.724094
doc:
ok:
reason:
```

radius: 3.57915

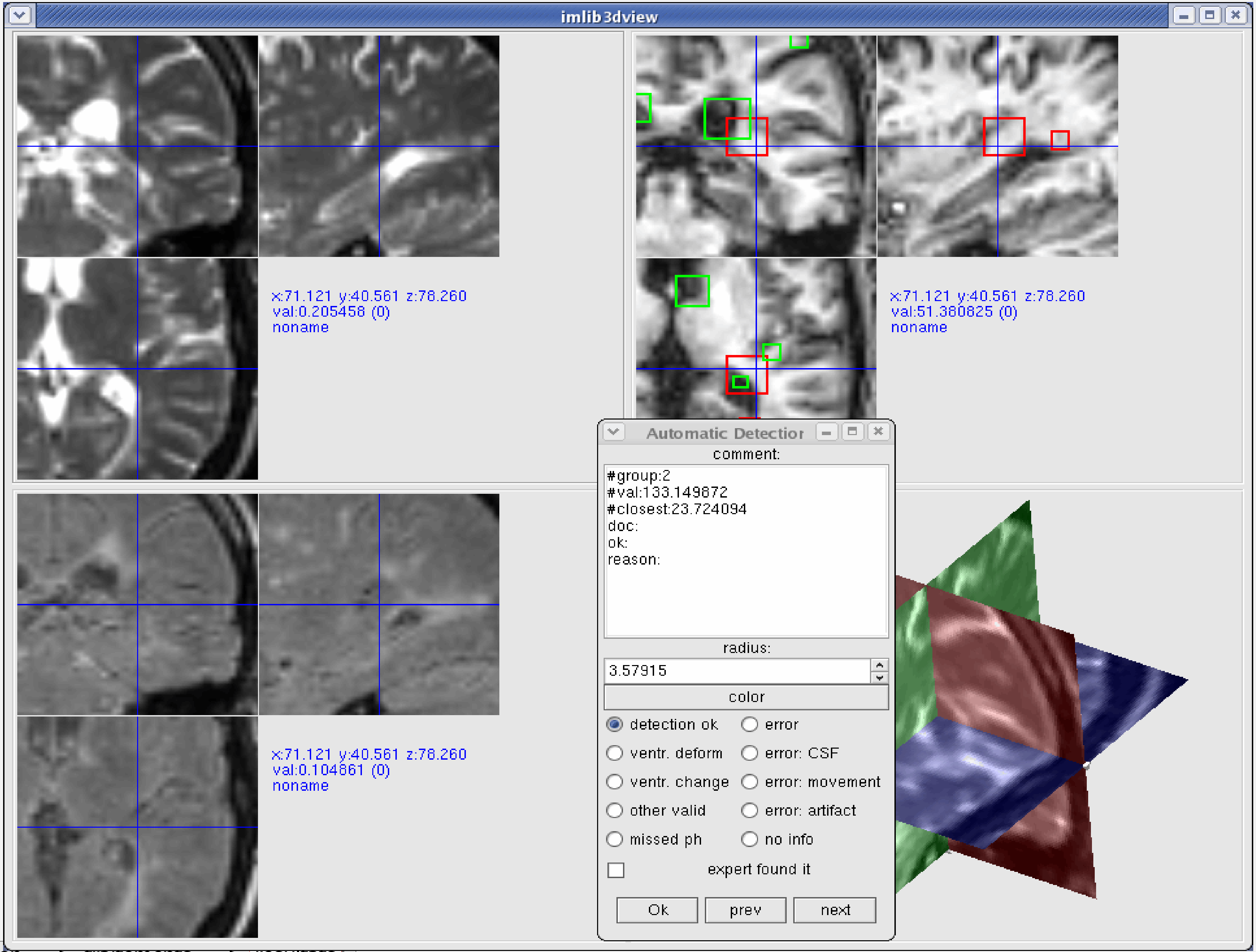
color

- ● detection ok
- ○ error
- ○ ventr. deform
- ○ error: CSF
- ○ ventr. change
- ○ error: movement
- ○ other valid
- ○ error: artifact
- ○ missed ph
- ○ no info

☐ expert found it

Ok
prev
next

Interface d'évaluation


imlib3dview
Automatic Detection

x:71.121 y:40.561 z:78.260
val:0.205458 (0)
noname

x:71.121 y:40.561 z:78.260
val:51.380825 (0)
noname

x:71.121 y:40.561 z:78.260
val:0.104861 (0)
noname

comment:

```
#group:2
#val:133.149872
#closest:23.724094
doc:
ok:
reason:
```

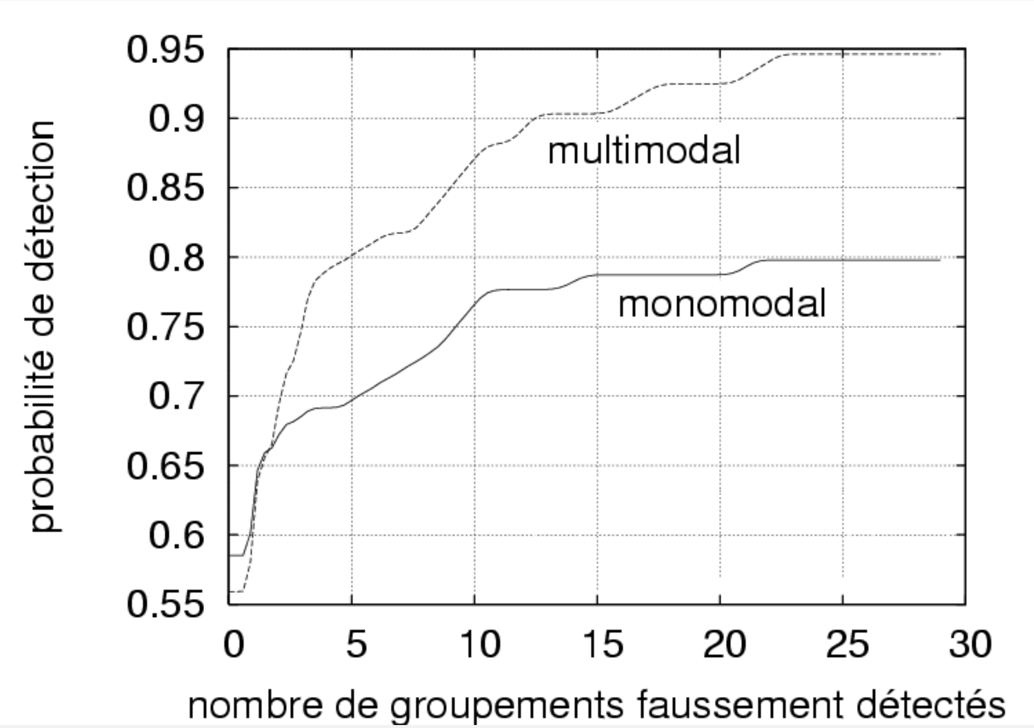
radius: 3.57915

color

- ● detection ok
- ○ error
- ○ ventr. deform
- ○ error: CSF
- ○ ventr. change
- ○ error: movement
- ○ other valid
- ○ error: artifact
- ○ missed ph
- ○ no info
- ☐ expert found it

Ok
prev
next

Résultats

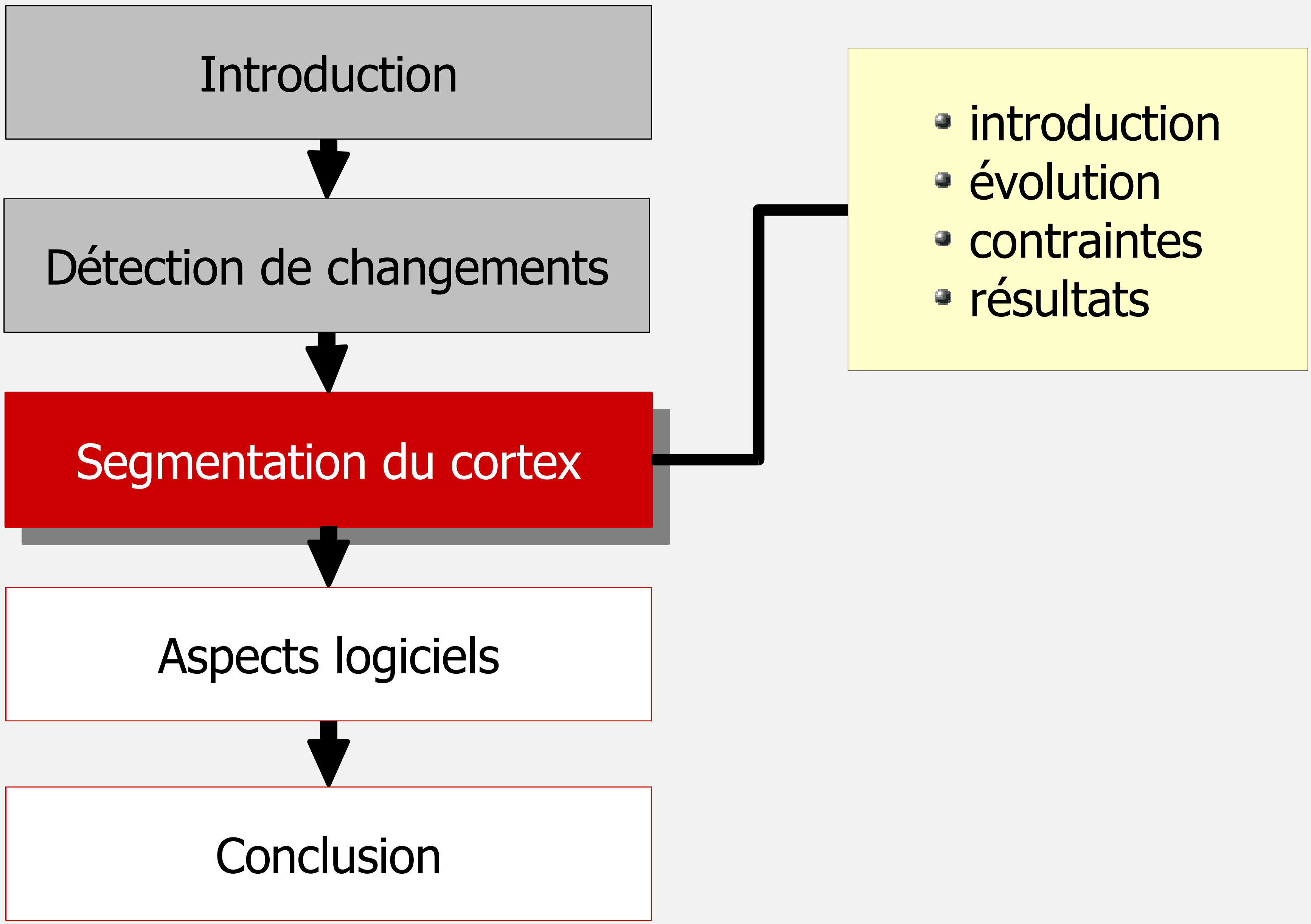


- expert: probabilité de détection de 42%
- multimodal ☺

Conclusions

- outil d'aide au neurologue
- voies d'amélioration possibles
  - correction d'artefacts
  - modèle statistique
  - apport de connaissances

Plan de la présentation



Introduction

Détection de changements

Segmentation du cortex

Aspects logiciels

Conclusion

- introduction
- évolution
- contraintes
- résultats

Segmenter une image

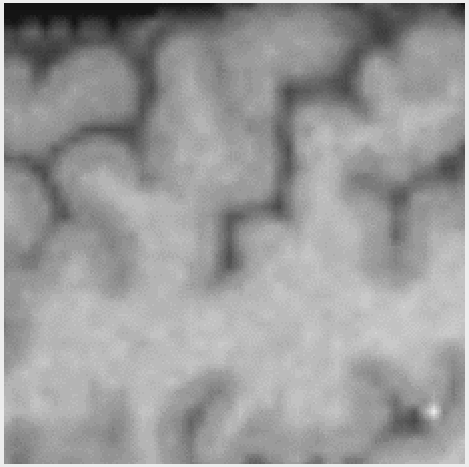
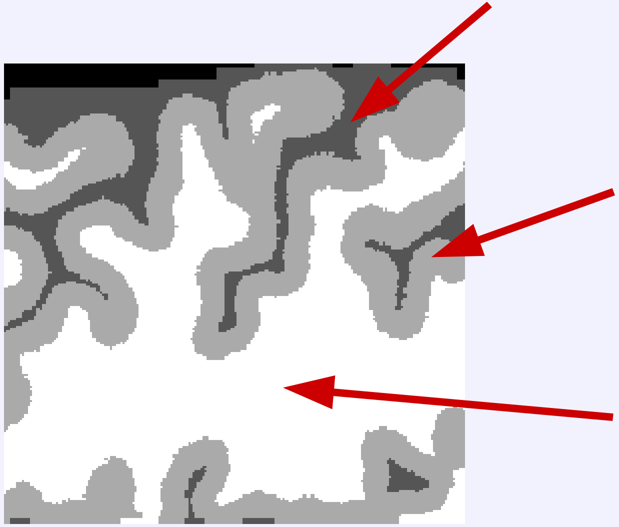


image à segmenter

niveaux d'intensité



liquide

substance grise

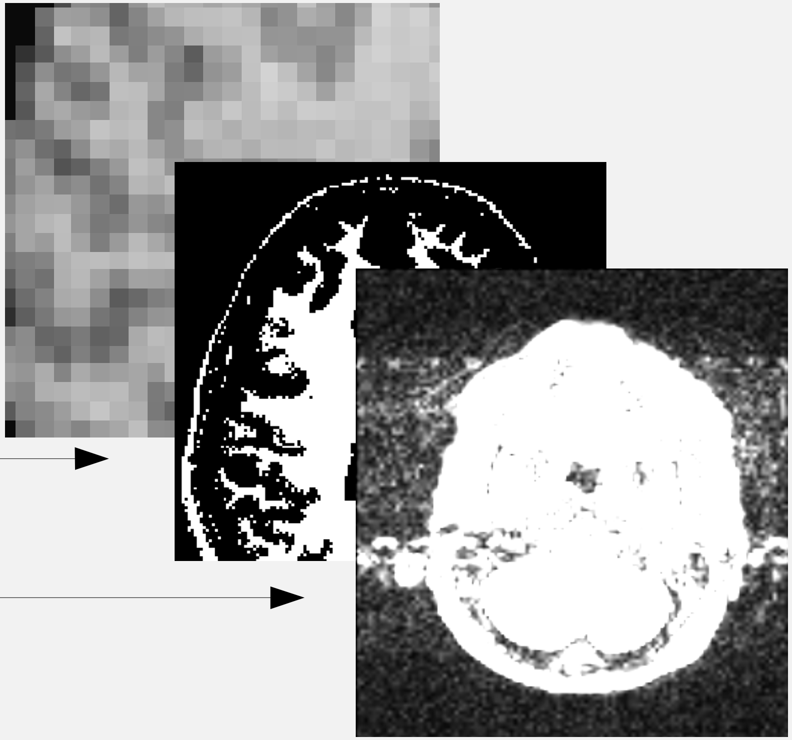
substance blanche

segmentation

représentation sémantique

Pourquoi est-ce difficile?

- résolution
- informations d'intensité insuffisantes
- artefacts d'acquisition



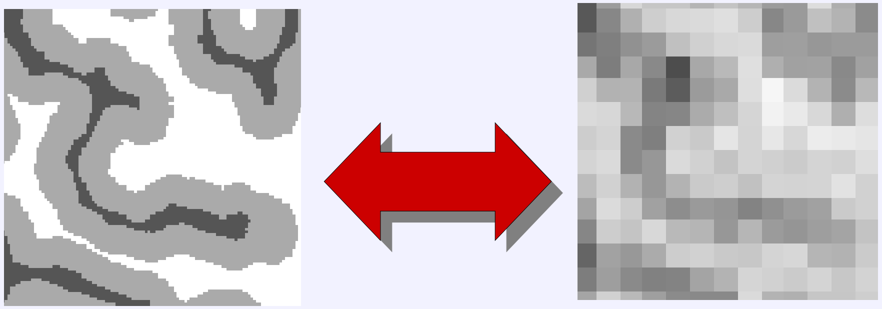
oui, mais...

connaissances anatomiques:

formes positions

Comment intégrer ces connaissances dans un algorithme ?

Présentation de notre approche



carte de labels

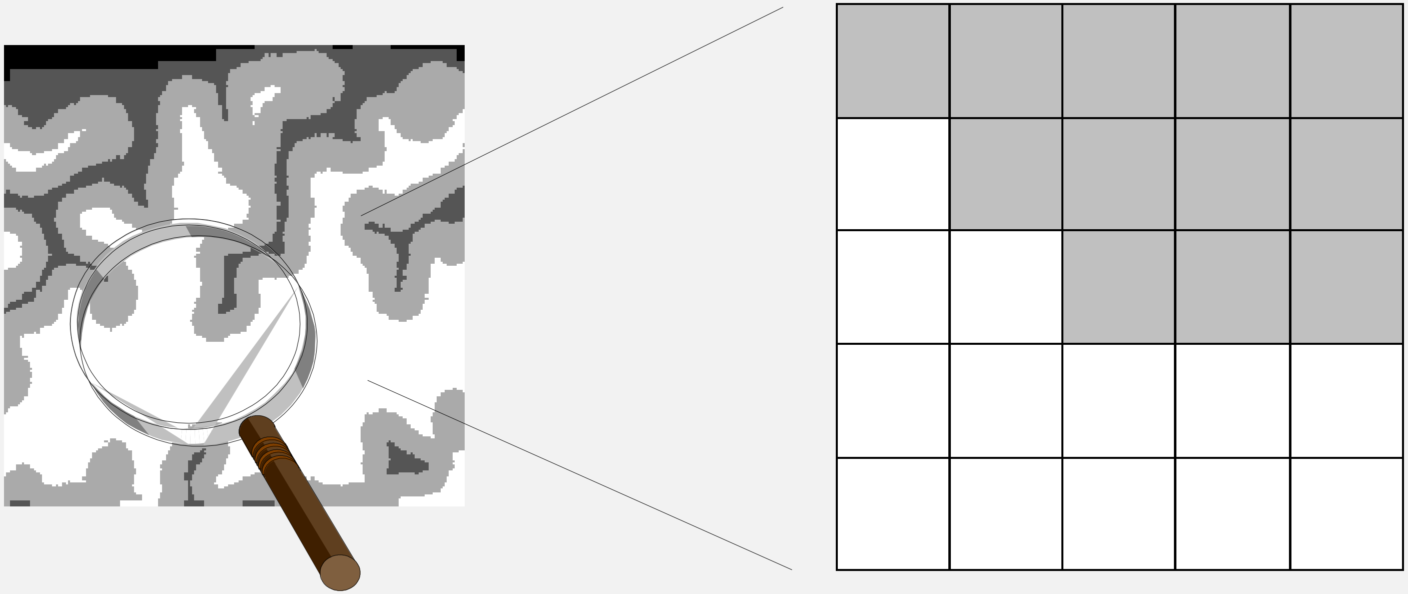
image à segmenter

- carte de labels sous-voxel
- évolution itérative
- minimisation d'énergie
- énergie = somme de contraintes

attaches aux données

connaissances a priori

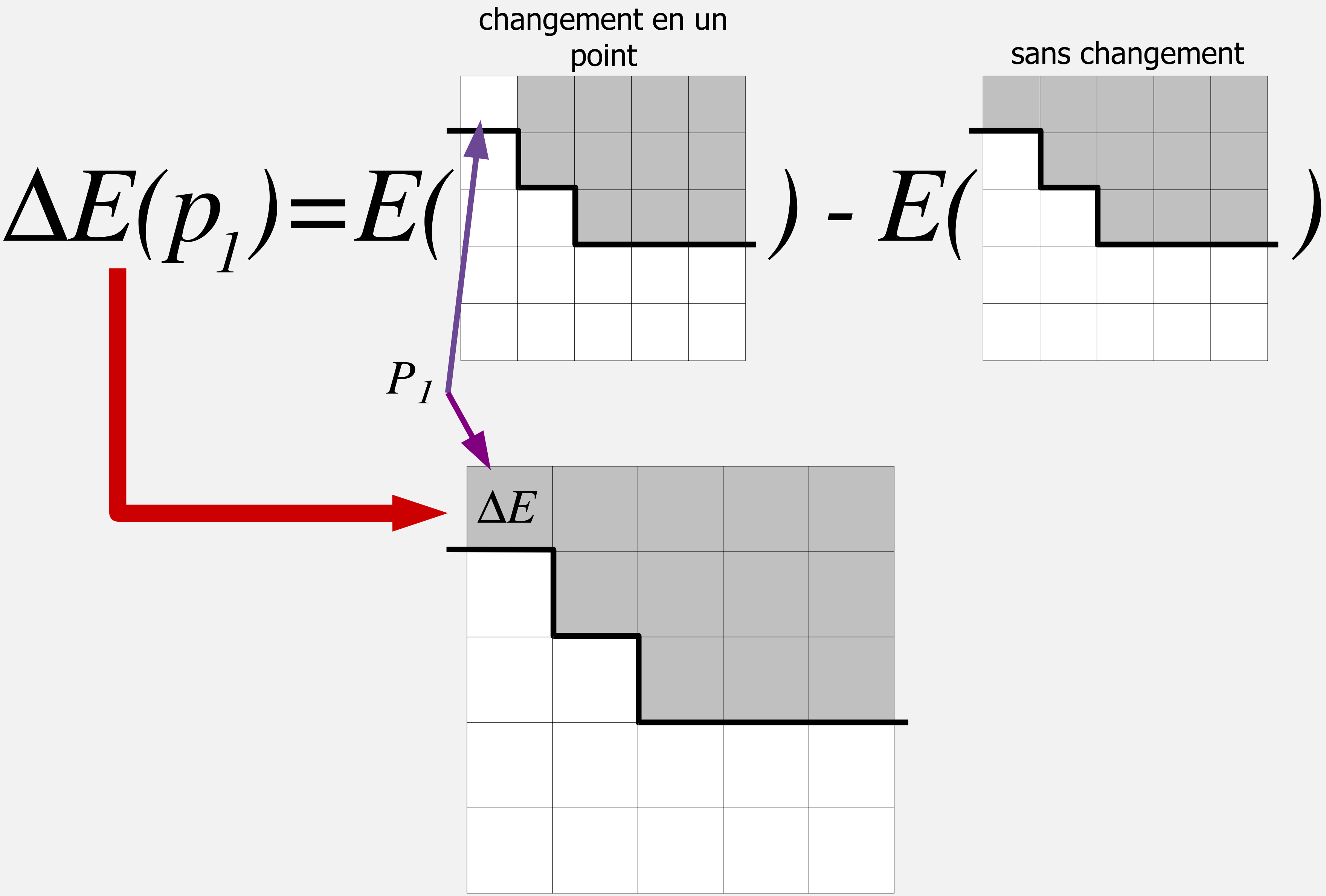
Évolution de la segmentation



- basculement de labels pour diminuer l'énergie

quels labels basculer ?

Variation d'énergie en chaque point

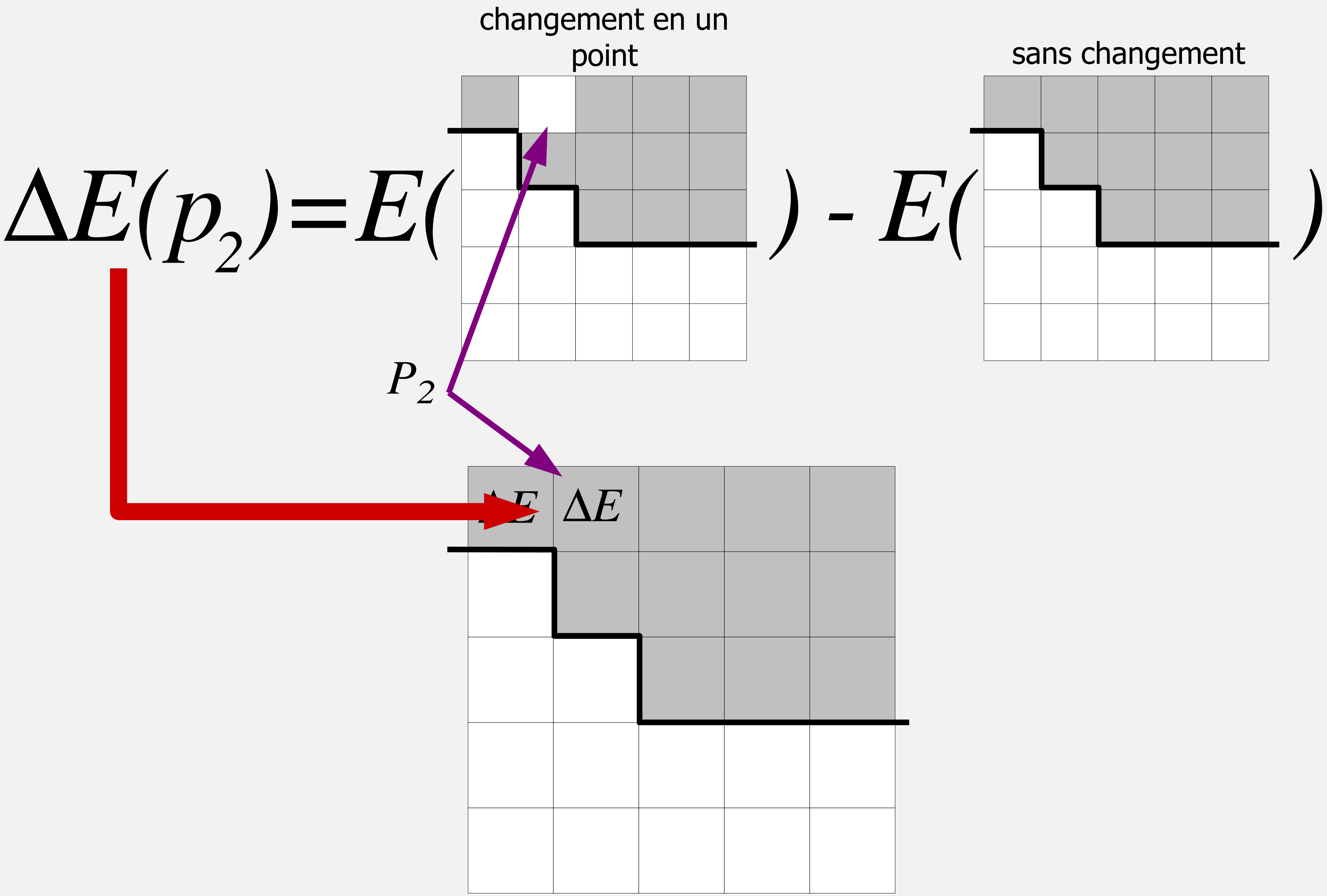

changement en un point

sans changement

$$\Delta E(p_1)=E(\quad) - E(\quad)$$

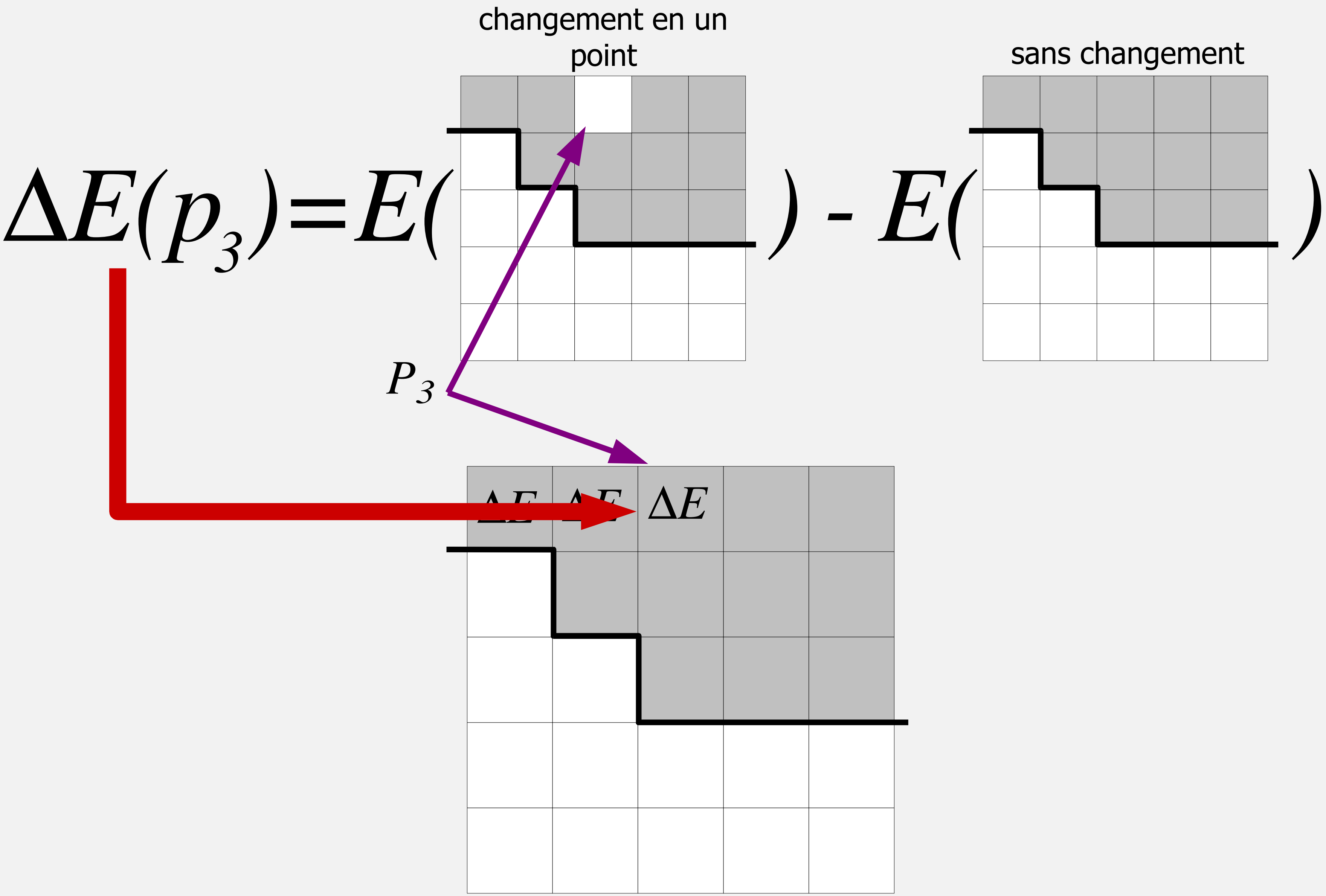
variation d'énergie associée à chaque point

Variation d'énergie en chaque point


changement en un point
sans changement
$\Delta E(p_2)=E($
$)-E($
$)$
P_2
ΔE
ΔE

variation d'énergie associée à chaque point

Variation d'énergie en chaque point



changement en un point

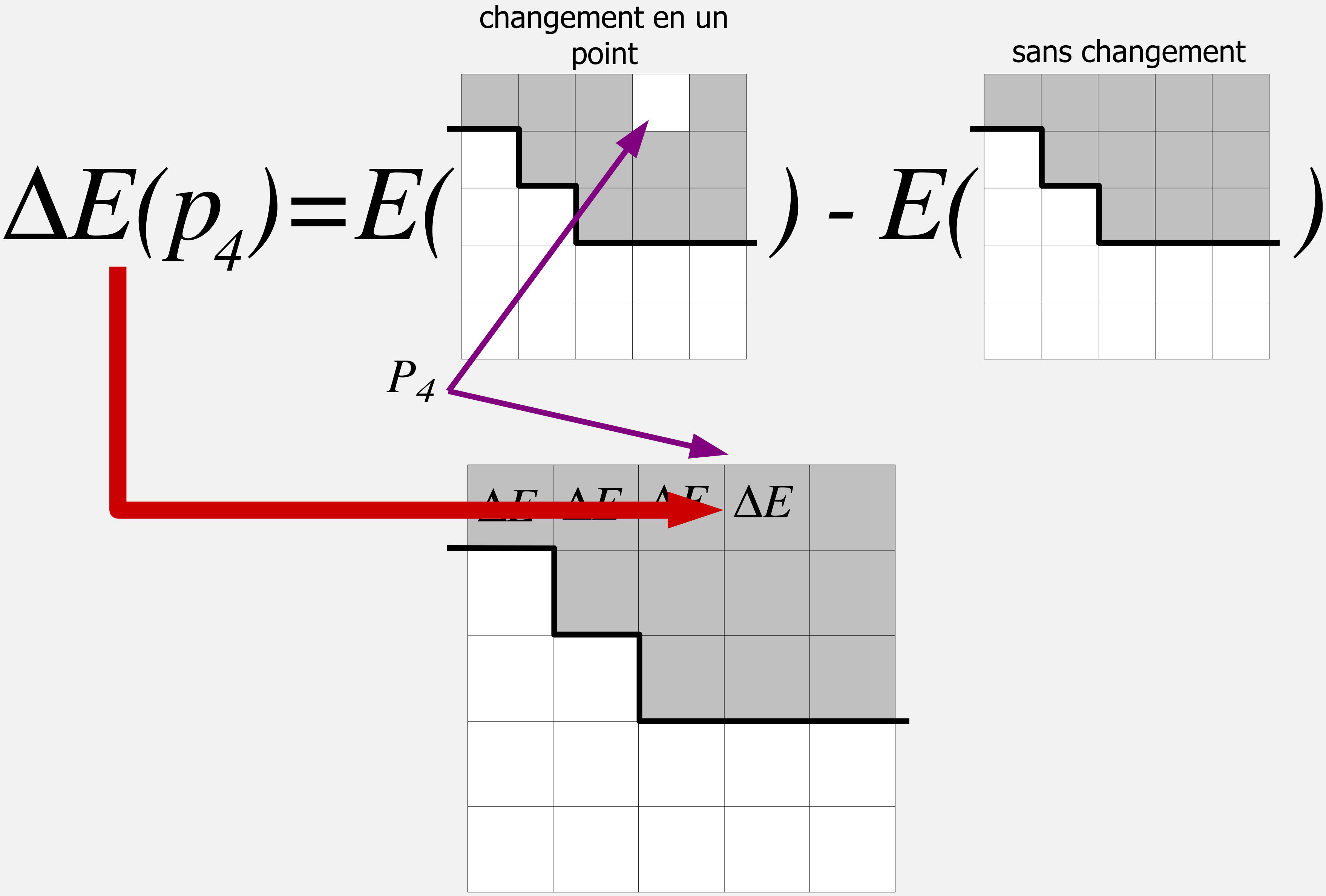
sans changement

$$\Delta E(p_3)=E(\quad)\ -\ E(\quad)$$

P_3
ΔE
ΔE
ΔE

variation d'énergie
associée à chaque point

Variation d'énergie en chaque point

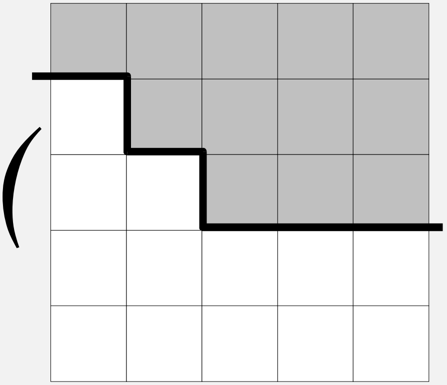
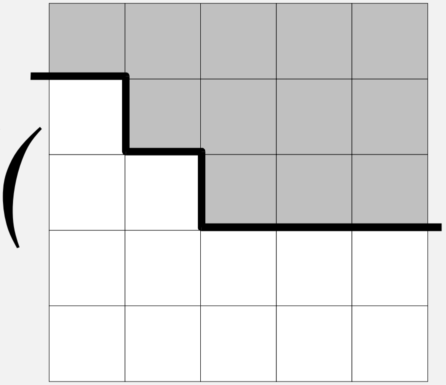

changement en un point
sans changement
$\Delta E(p_4)=E($
$) - E($
$)$
P_4
ΔE
ΔE
ΔE
ΔE

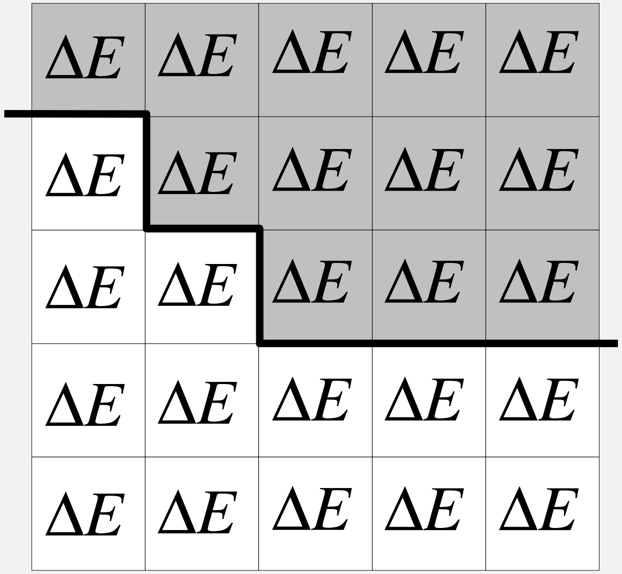
variation d'énergie associée à chaque point

Variation d'énergie en chaque point

changement en un point

sans changement

$\Delta E(p) = E($  $)$ - $E($  $)$

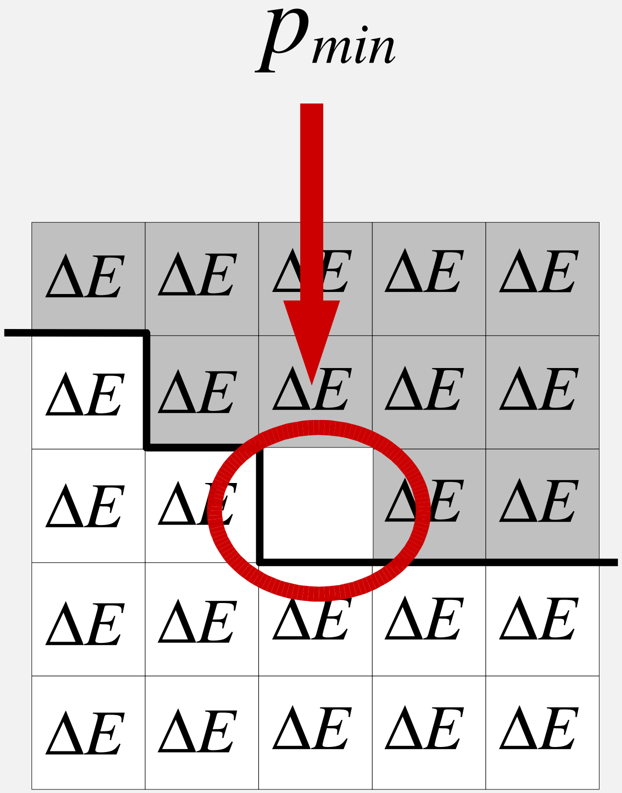


ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE

variation d'énergie associée à chaque point

Basculement d'un label

choisir le point où a lieu la plus grande décroissance de l'énergie


p_{min}
ΔE ΔE ΔE ΔE ΔE
ΔE ΔE ΔE ΔE ΔE
ΔE ΔE ΔE ΔE
ΔE ΔE ΔE ΔE ΔE
ΔE ΔE ΔE ΔE ΔE

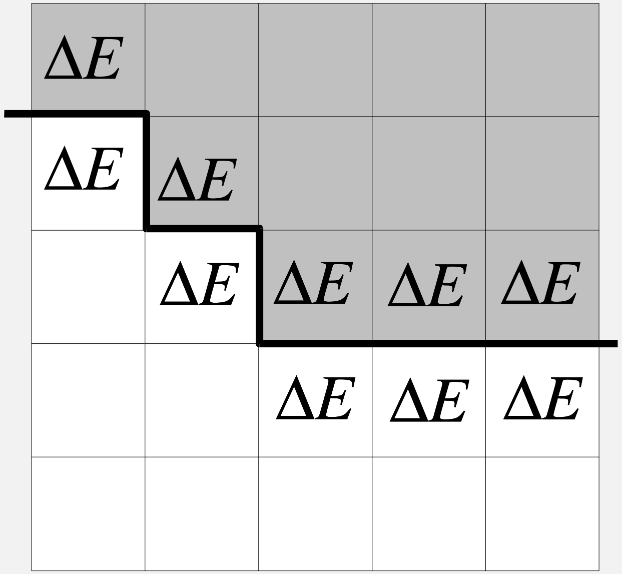
décroissance garantie à chaque itération

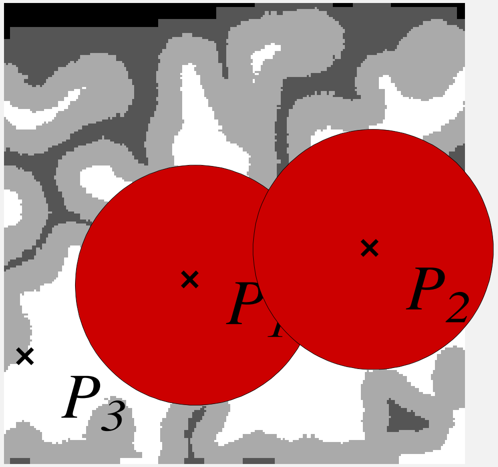
- un seul point basculé par itération
- recalculer variation d'énergie pour chaque candidat

rédhibitoire

Approximations et restrictions

- restriction aux frontières
- approximation de localité
- approximations dans les calculs des contraintes


ΔE
ΔE
ΔE
ΔE
ΔE
ΔE
ΔE
ΔE
ΔE
ΔE



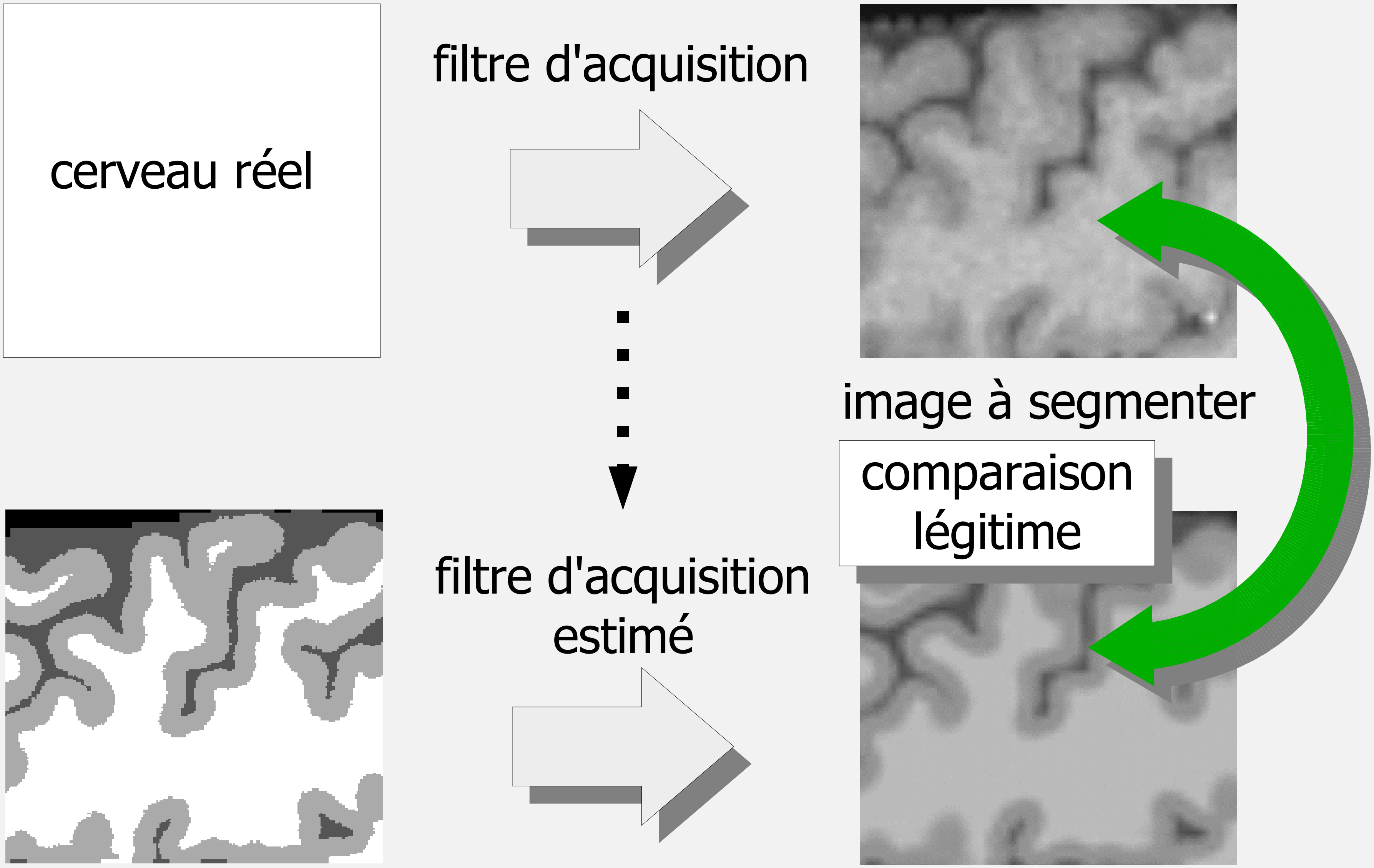
Expression de l'énergie : contraintes

coefficients de pondération α_i

$$E = \underbrace{\alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2}_{\text{contraintes image}} + \underbrace{\alpha_3 E_3 + \alpha_4 E_4}_{\text{contraintes de distribution relative}} + \underbrace{\alpha_5 E_5 + \alpha_6 E_6}_{\text{contraintes d'épaisseur}} + \ldots$$

description de l'objet:
choix et paramétrage des contraintes, coefficients α_i

Modèle du processus d'acquisition



cerveau réel

filtre d'acquisition

image à segmenter

comparaison légitime

filtre d'acquisition estimé

segmentation courante

image reconstruite

Contrainte image à échelle variable

$$E \triangleq \|(I - I_0) * h\|^2$$

filtre d'échelle

image reconstruite à partir de la segmentation courante

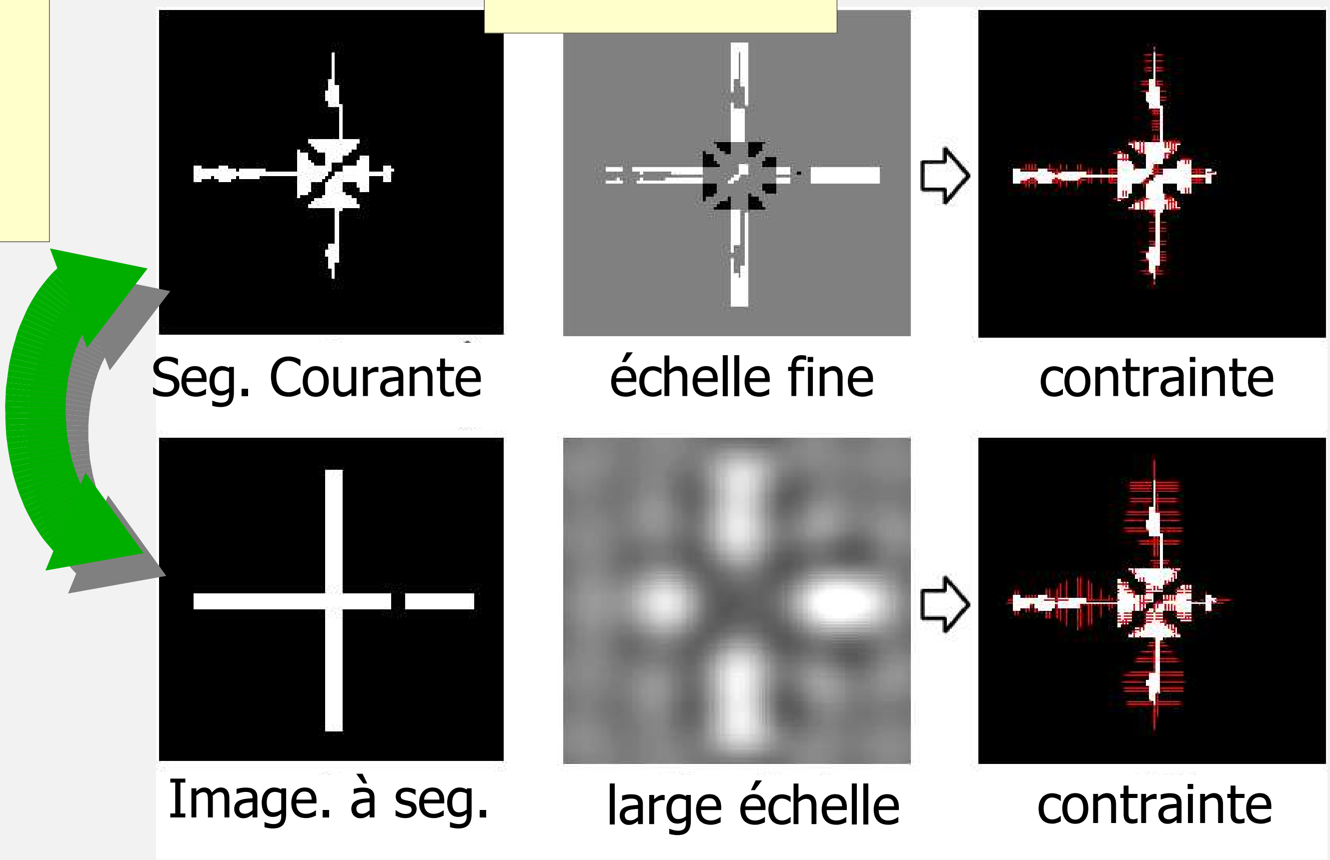
image à segmenter

- variat d'approximatio

- plusieurs échelles

⇕

multi-résolution

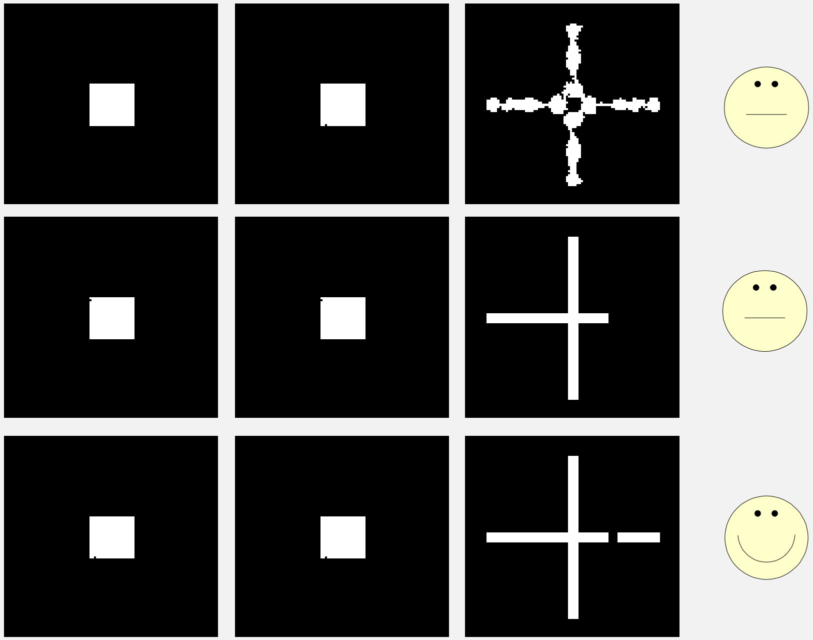

Seg. Courante
échelle fine
contrainte
Image. à seg.
large échelle
contrainte

Contrainte image : exemples

évolution avec contrainte image à grande échelle

évolution avec contrainte image à échelle fine

évolution avec deux contraintes à échelles différentes



segmentations résultantes

segmentations initiales

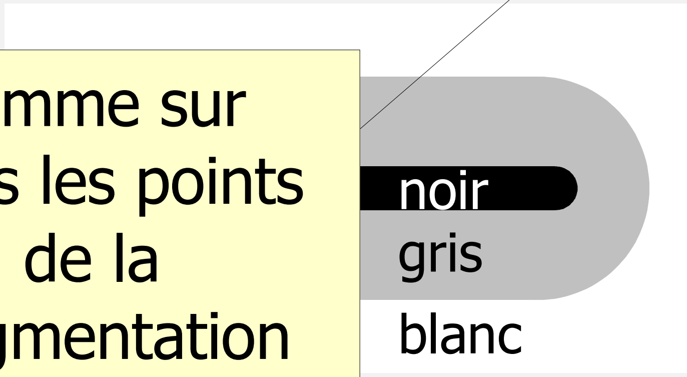
évolutions

Contrainte de distribution relative

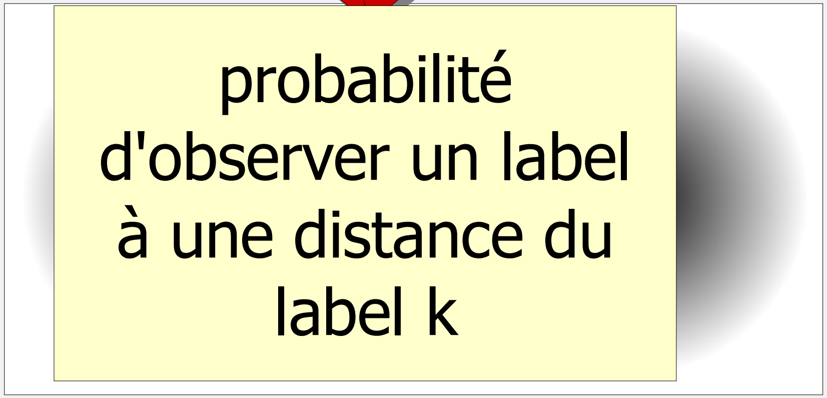
$$E \triangleq \underbrace{\sum_{p\in\Omega}}_{} -\log\left(\underbrace{P\left(L(p)\middle|\overbrace{\underbrace{D_k}_{}(p)}^{}\right)}_{}\right)$$

distance au label k

somme sur tous les points de la segmentation courante

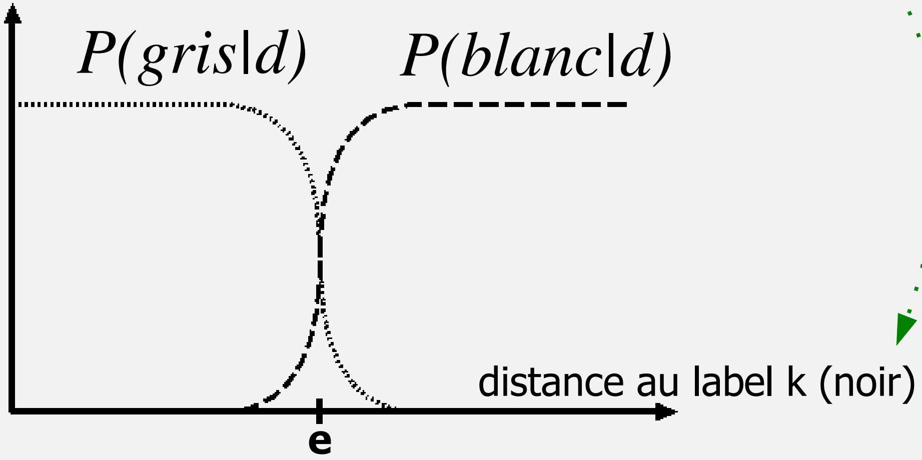


on courante



probabilité d'observer un label à une distance du label k

distance au label k (noir)



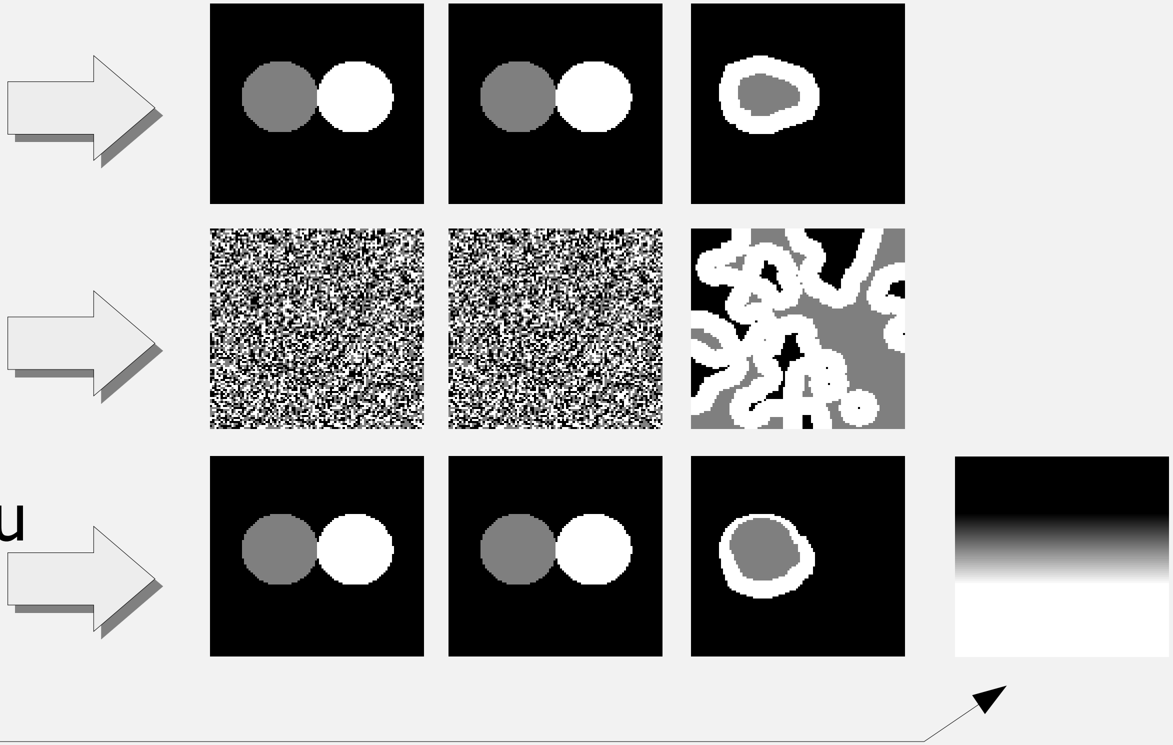
Contrainte de distribution relative : exemples

évolutions sans contrainte image

évolution avec seulement la contrainte de distribution

évolution à partir d'une initialisation aléatoire

évolution utilisant un atlas du paramètre **e**

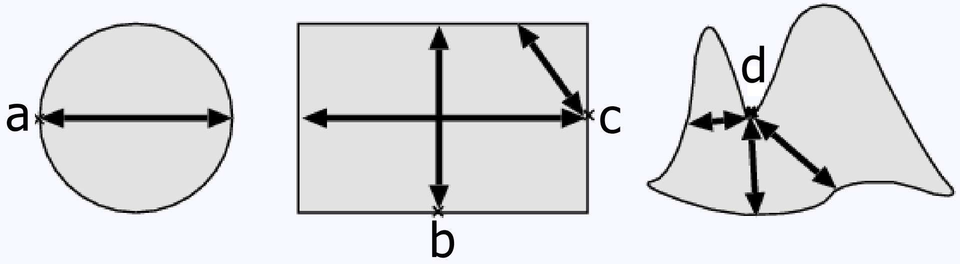


Contrainte d'épaisseur

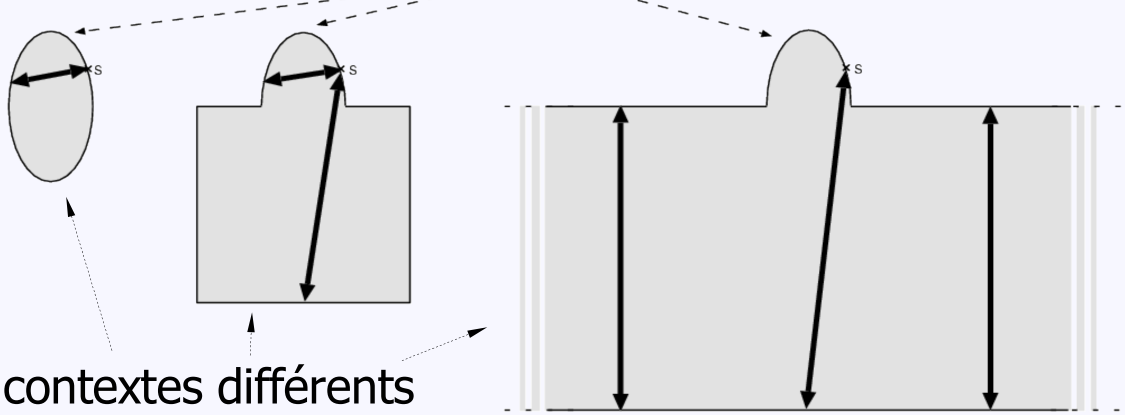
$$E \triangleq \sum_{s\in S_k} -\log\left(P(\xi(s))\right)$$

épaisseur d'un objet, en un point de sa surface?

problématique



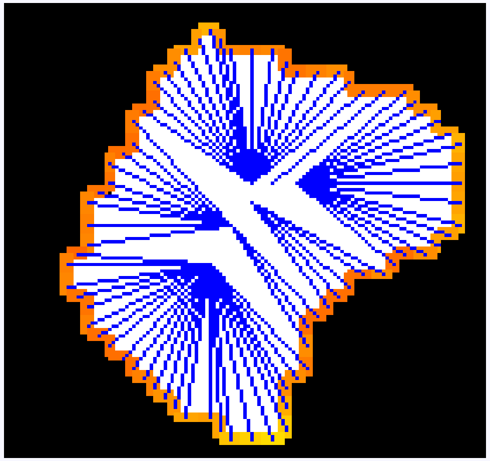
formes identiques



contextes différents

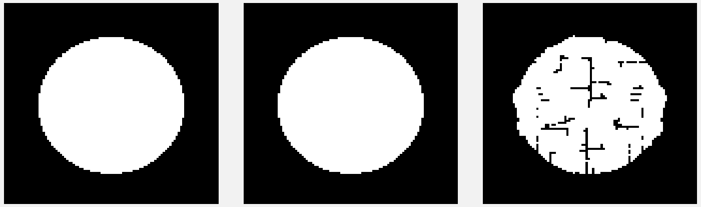
solution

sphère maximale optimale

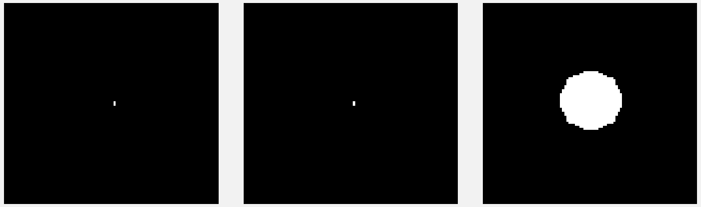


Contrainte d'épaisseur : exemples

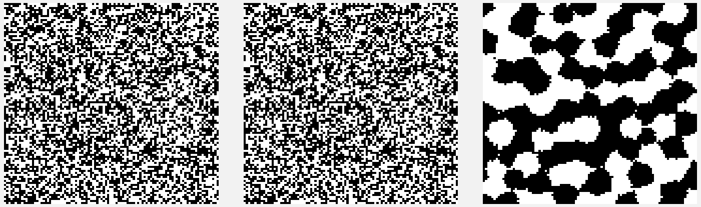
évolution diminuant l'épaisseur du label blanc



évolution augmentant l'épaisseur à partir d'un point



évolution avec la même contrainte d'épaisseur pour le label noir et le label blanc



Modèle des sillons corticaux

$$E = \underbrace{\alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2} + \underbrace{\alpha_3 E_3 + \alpha_4 E_4} + \underbrace{\alpha_5 E_5}$$

contrainte image
à échelle fine

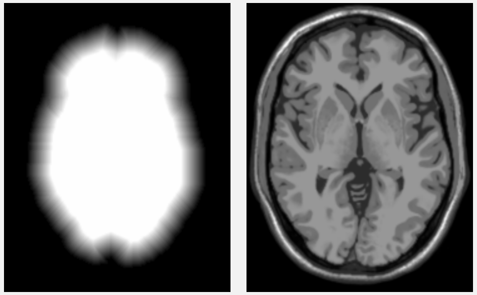
contrainte image
à large échelle

contrainte de
distribution
relative autour
du liquide

contrainte de
distribution
relative autour
de la substance
blanche

contrainte
d'épaisseur

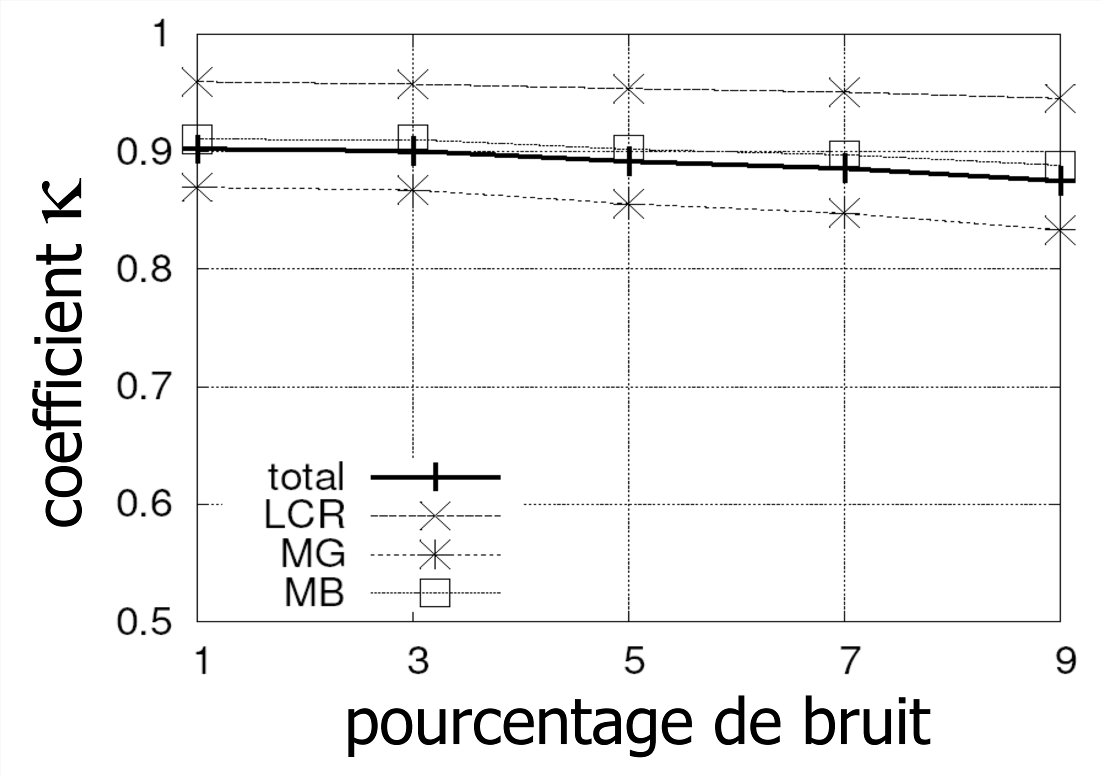
coefficient atlas



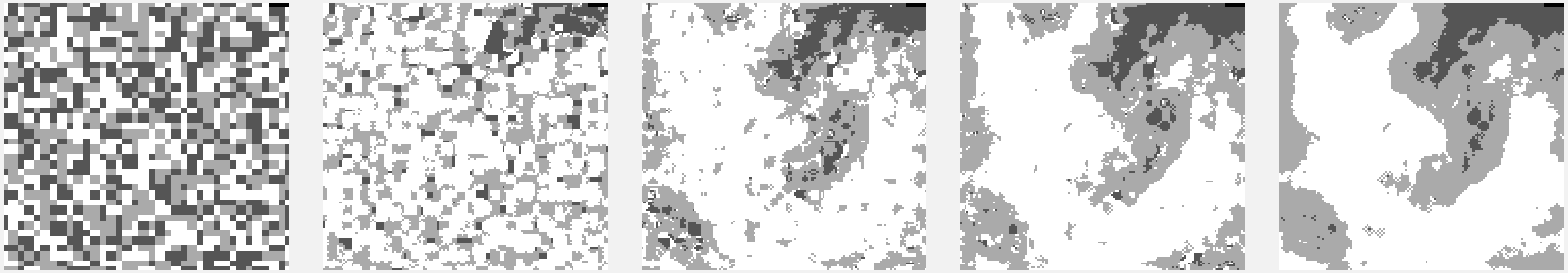
Résultats

- validation sur le fantôme BrainWeb

$$\kappa \triangleq \frac{p_0 - p_c}{1 - p_c}$$



- robustesse aux conditions initiales



…

itération: 0 1 2 4 8

Résultats

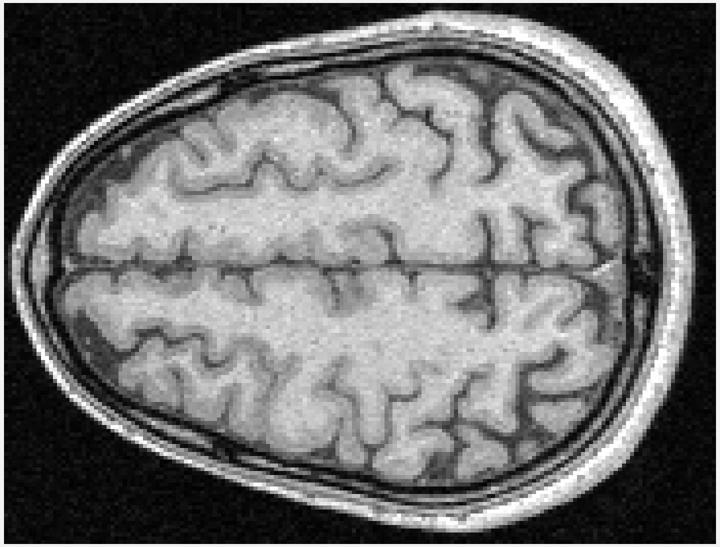
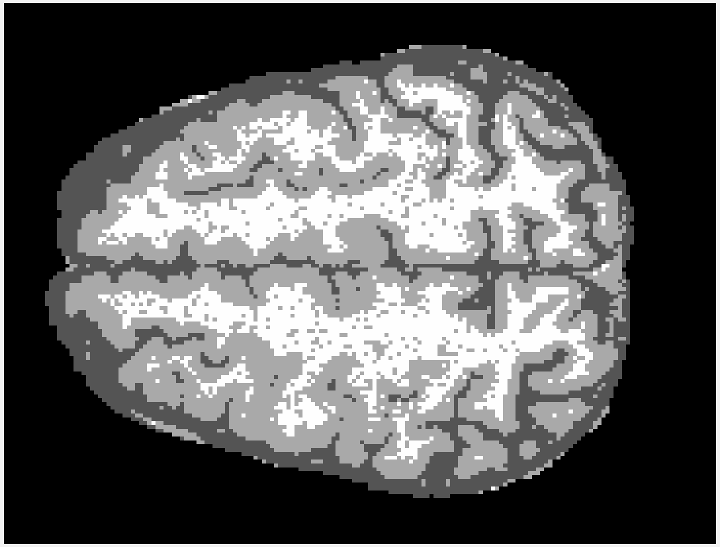


image à segmenter


segmentation initiale

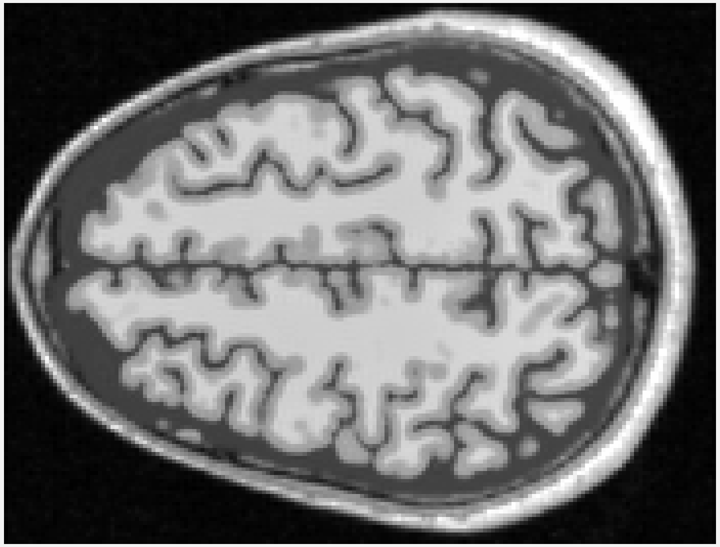
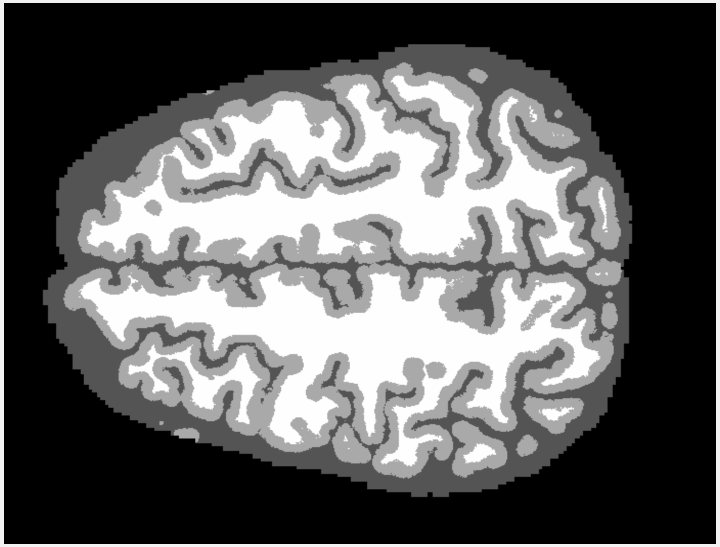
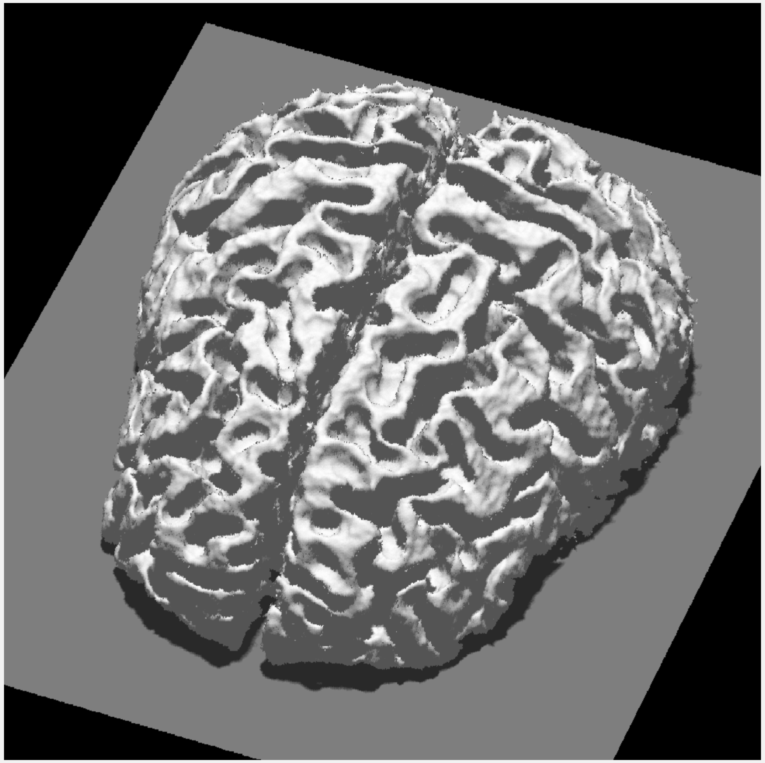


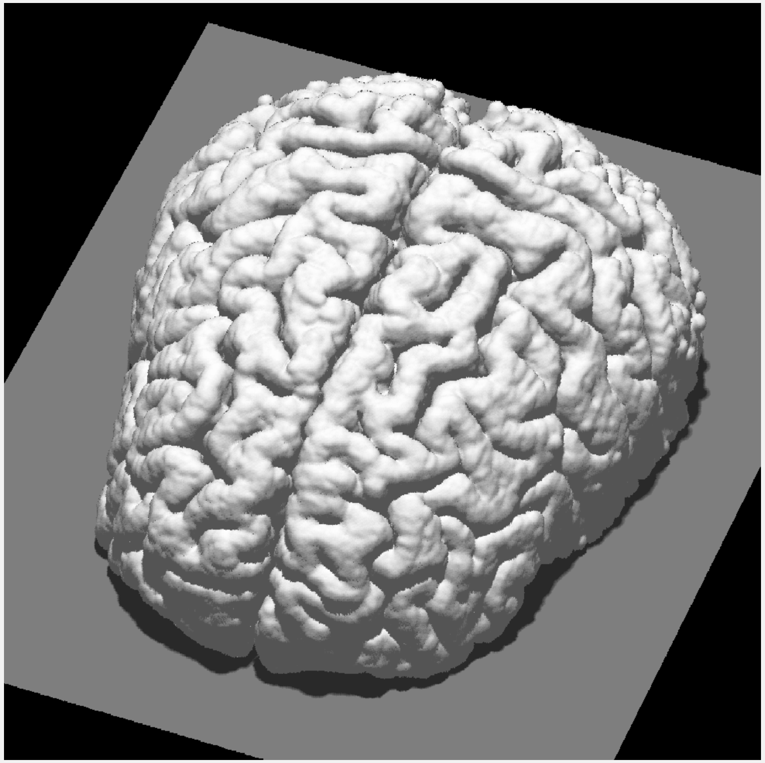
image reconstruite


résultat

Résultats



substance blanche



substance grise

Résultats

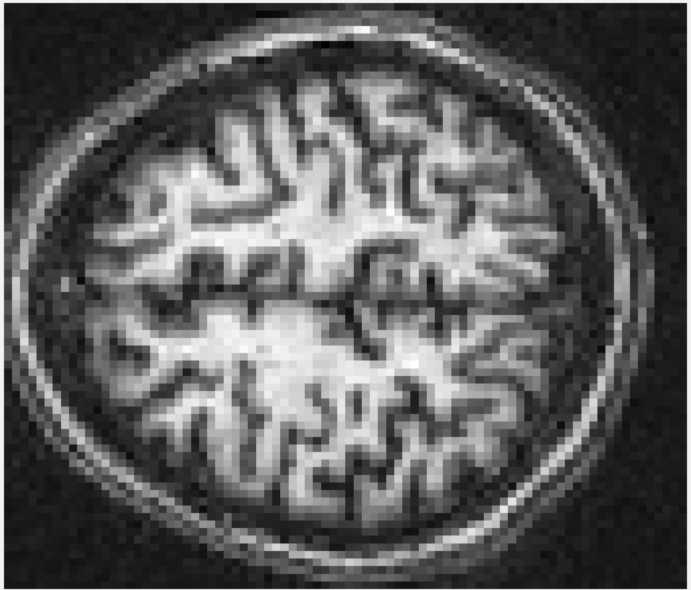
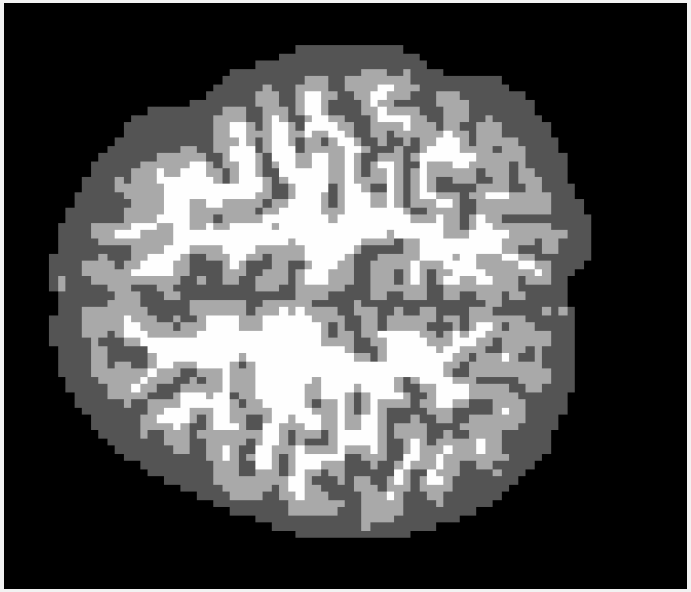


image à segmenter


segmentation initiale

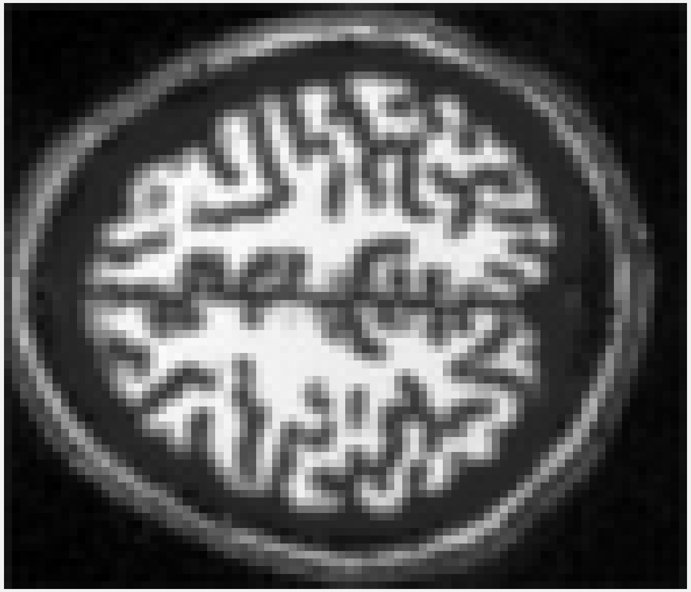
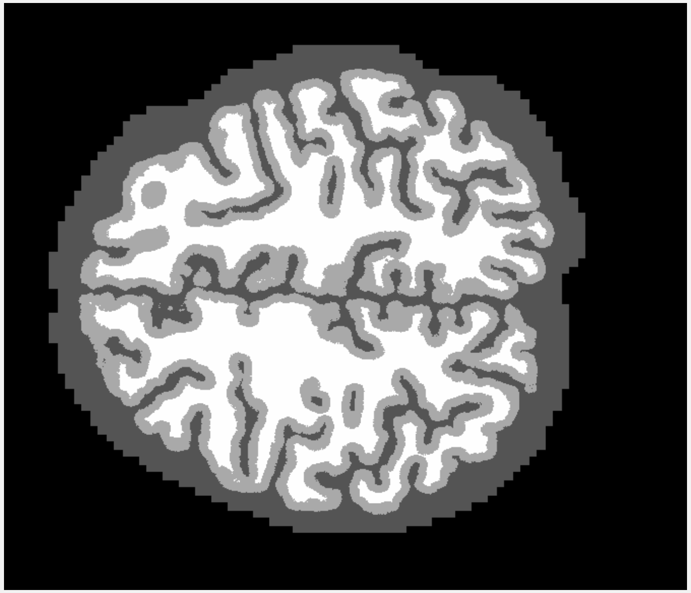
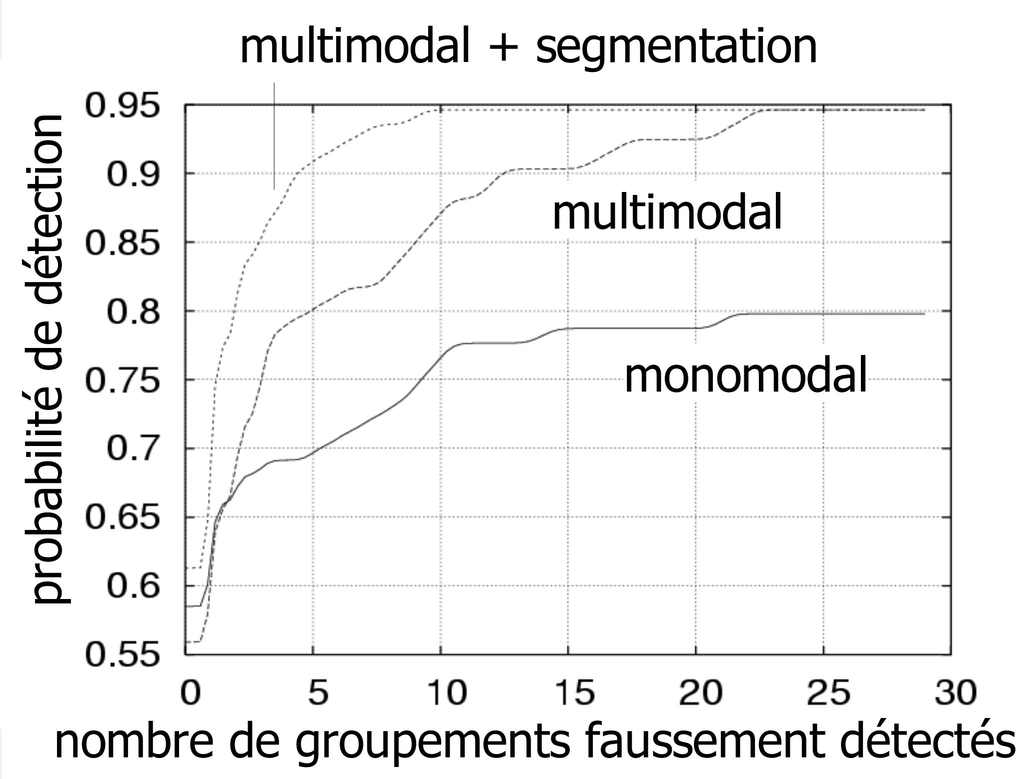


image reconstruite

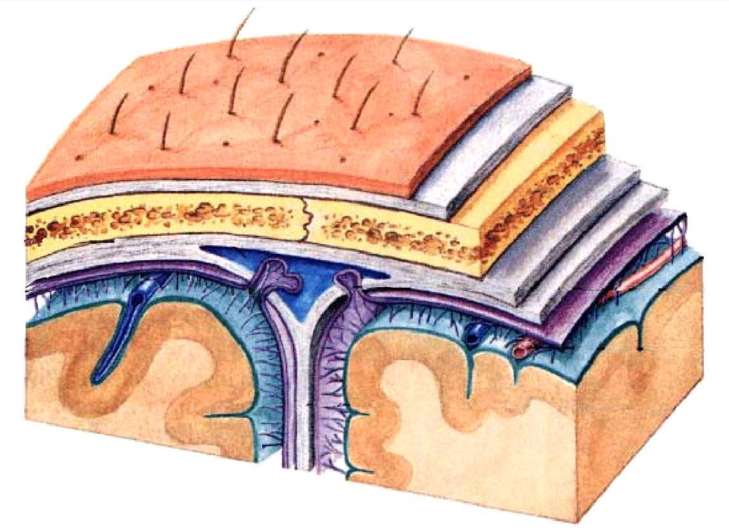

résultat

Apport à la détection de changements



Perspectives pour la segmentation

- autres structures du cerveau

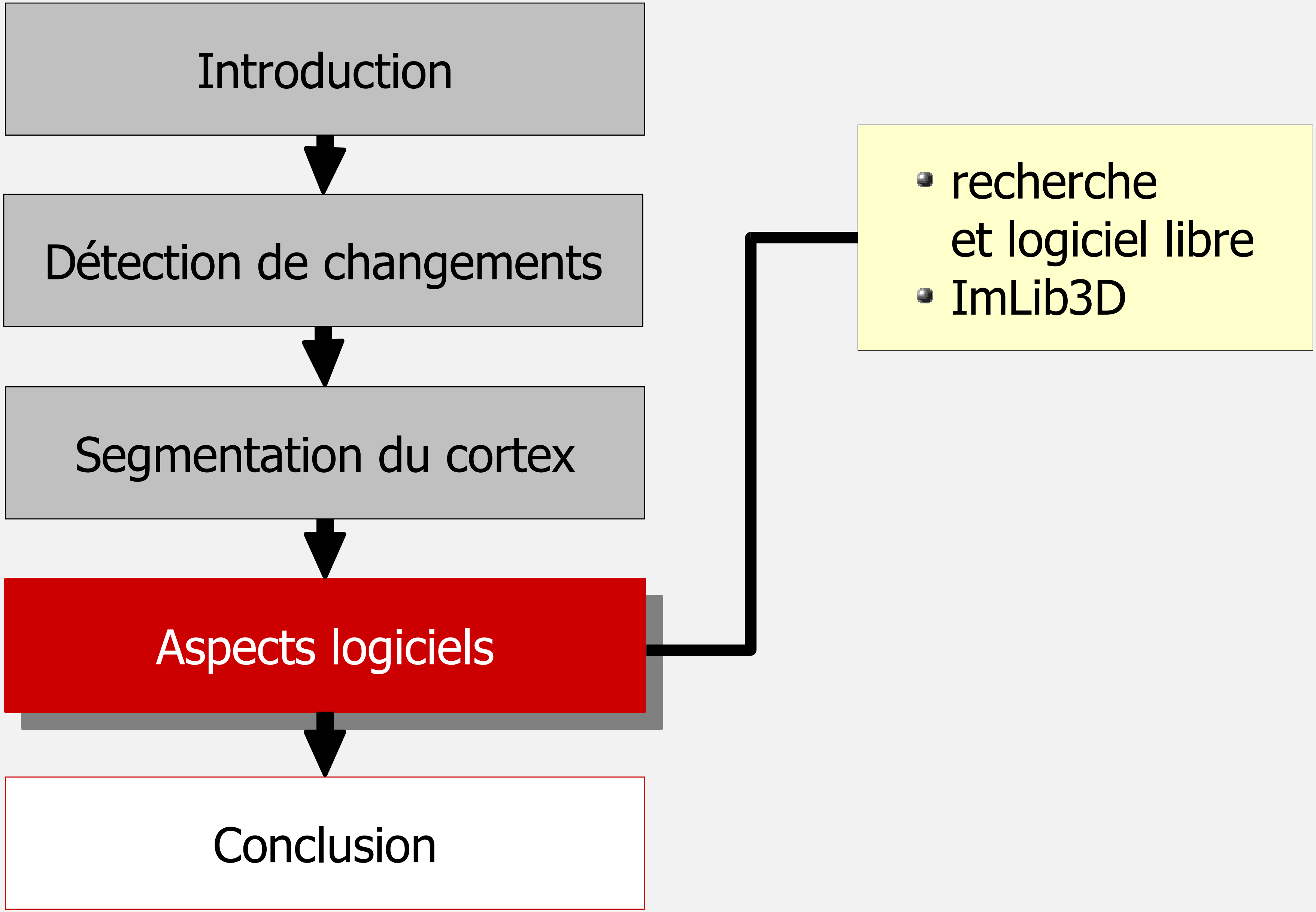


structures externes

structures internes

- construction d'un atlas statistique
- détection d'anomalies

Plan de la présentation



Introduction

Détection de changements

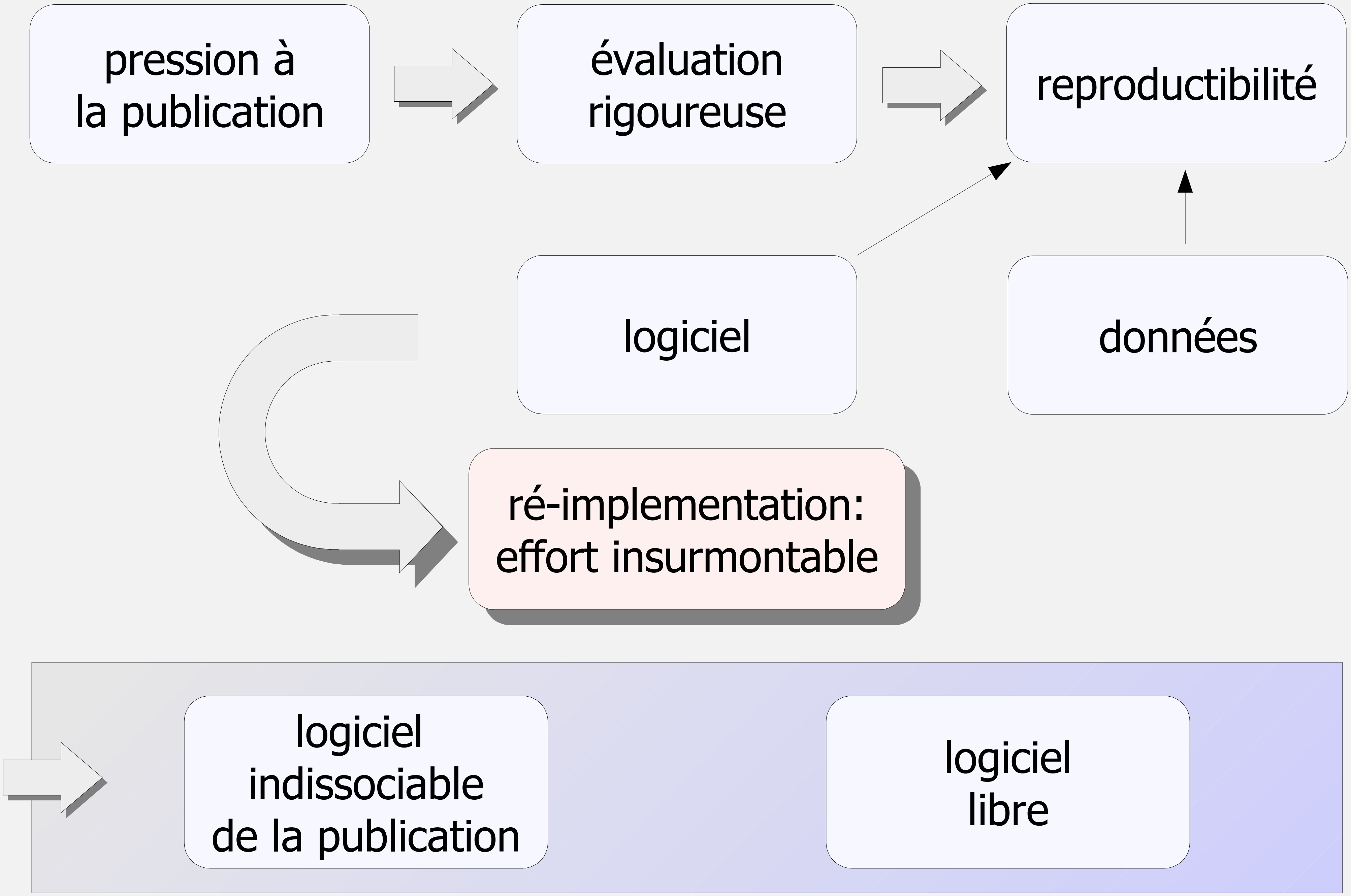
Segmentation du cortex

Aspects logiciels

Conclusion

- recherche et logiciel libre
- ImLib3D

Recherche et logiciel libre



pression à la publication

évaluation rigoureuse

reproductibilité

logiciel

données

ré-implementation: effort insurmontable

logiciel indissociable de la publication

logiciel libre

ImLib3D : présentation

plateforme de traitement d'images volumiques

- facile à utiliser par des chercheurs
- code source distribué librement
- fondements conceptuels:
  - généricité
  - orientée objet
  - itérateurs
  - extensibilité

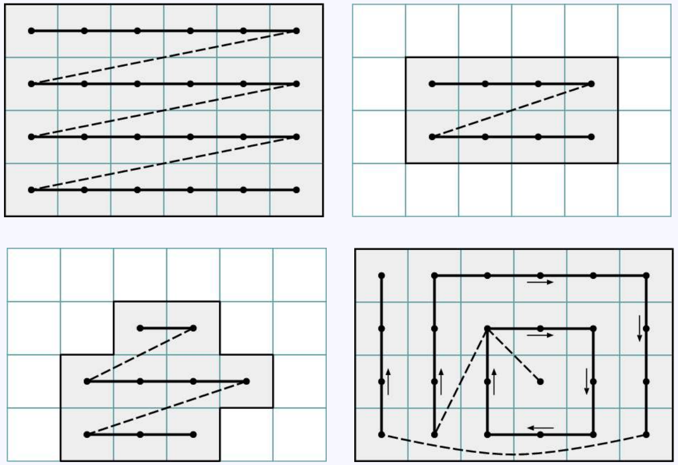
ImLib3D : concepts

généricité

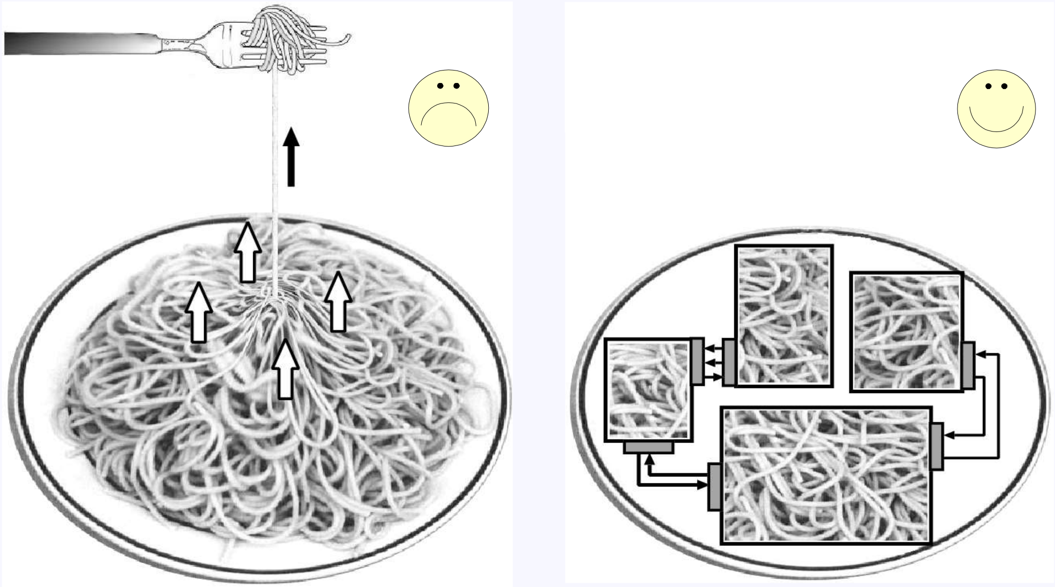
- STL
- exemples

```
Image3D<int>
Image3D<float>
Image3D<Vector3D>
```

itérateurs



orientée objet



extensibilité

- processeurs de traitement d'images
- extensions visualiseur

Plan de la présentation

Introduction

Détection de changements

Segmentation du cortex

Aspects logiciels

Conclusion

Bilan des contributions

segmentation

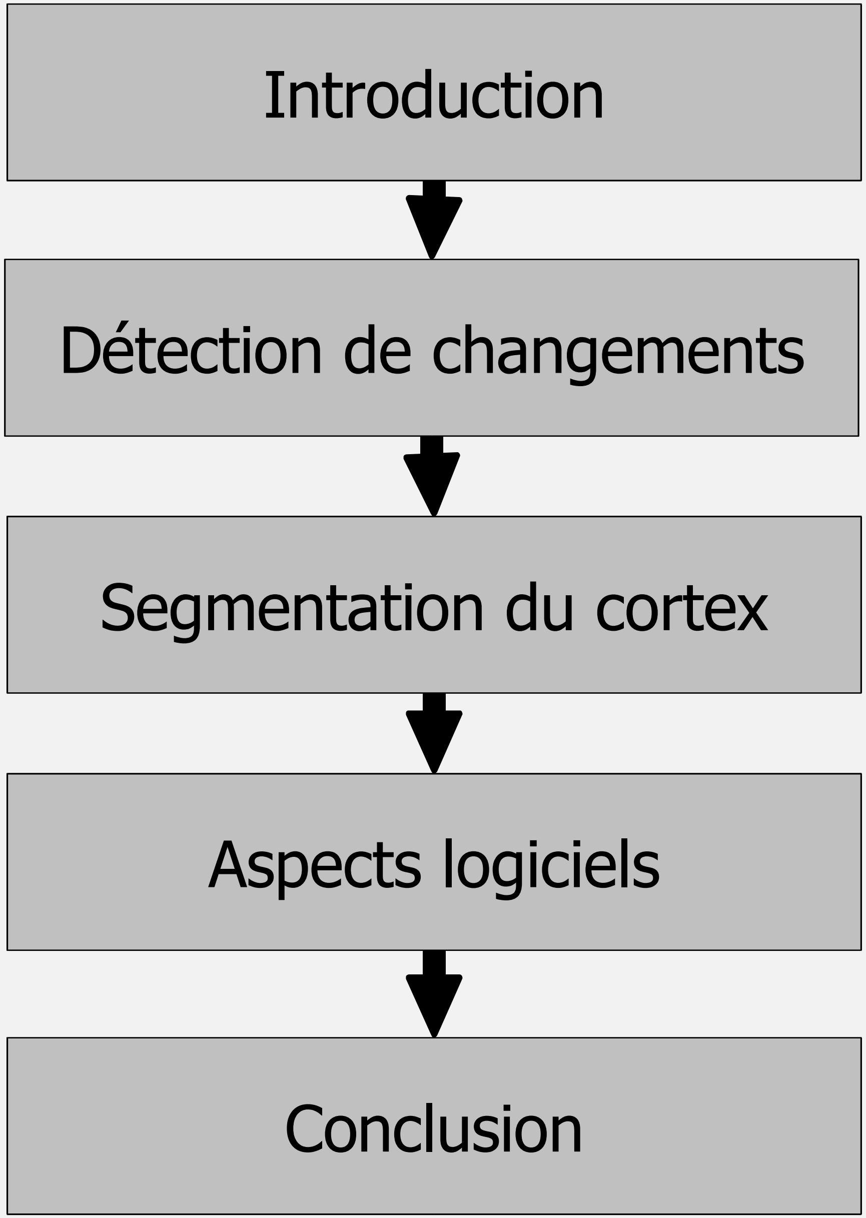
- représentation et évolution
- modèle d'acquisition et contrainte image multirésolution
- contraintes d'épaisseur et de distribution relative

détection

- identification et correction systematiques
- normalisation non-linéaire
- informations multimodales / cadre statistique
- utilisation de la segmentation du cortex
- protocole d'évaluation

ImLib3D

Plan de la présentation



Introduction

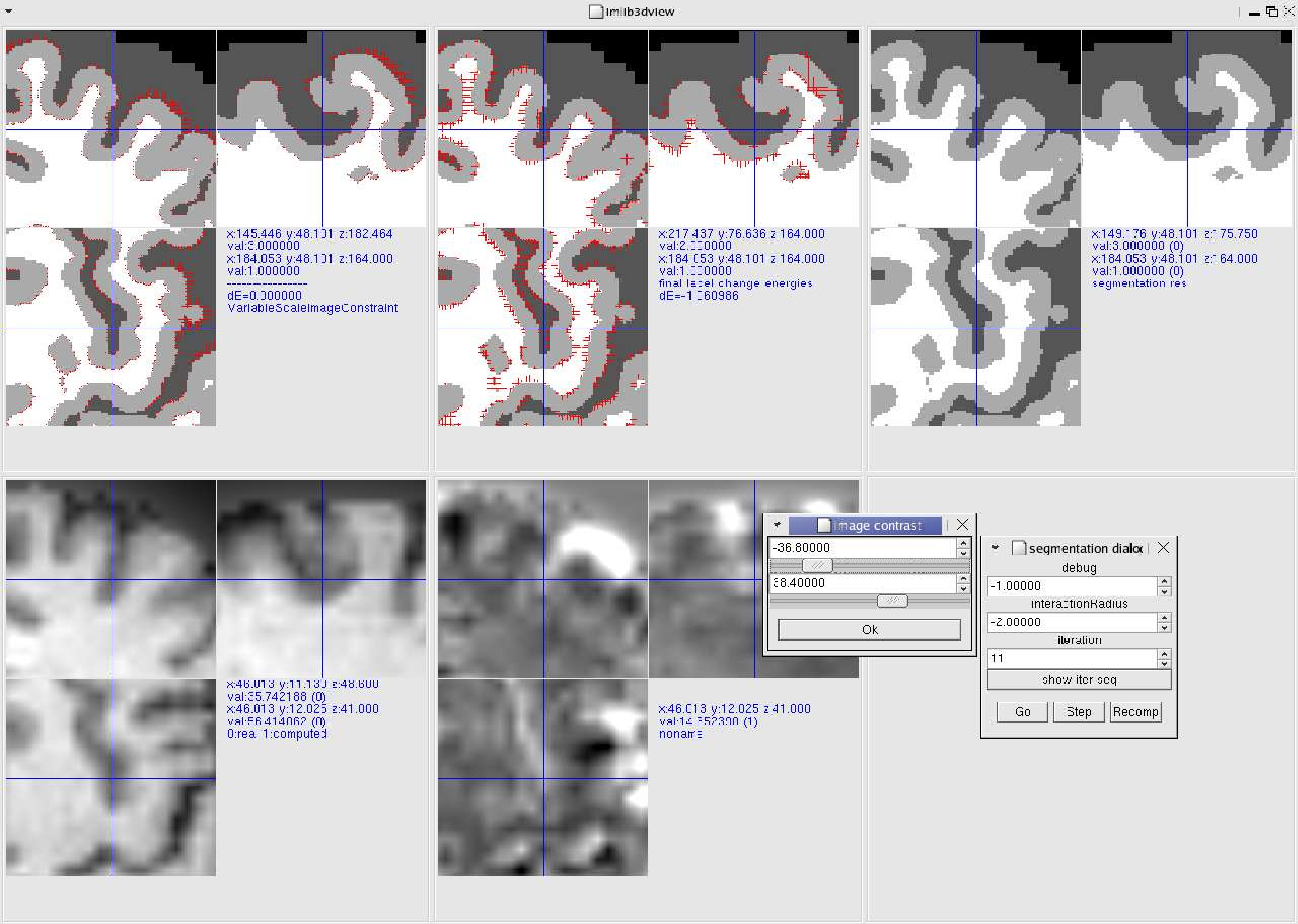
Détection de changements

Segmentation du cortex

Aspects logiciels

Conclusion

Fin!



```
x:145.446 y:48.101 z:182.464
val:3.000000
x:184.053 y:48.101 z:164.000
val:1.000000
----------------
dE=0.000000
VariableScaleImageConstraint
```

```
x:217.437 y:76.636 z:164.000
val:2.000000
x:184.053 y:48.101 z:164.000
val:1.000000
final label change energies
dE=-1.060986
```

```
x:149.176 y:48.101 z:175.750
val:3.000000 (0)
x:184.053 y:48.101 z:164.000
val:1.000000 (0)
segmentation res
```

```
x:46.013 y:11.139 z:48.600
val:35.742188 (0)
x:46.013 y:12.025 z:41.000
val:56.414062 (0)
0:real 1:computed
```

```
x:46.013 y:12.025 z:41.000
val:14.652390 (1)
noname
```

image contrast

-36.80000

38.40000

segmentation dialog

debug: -1.00000

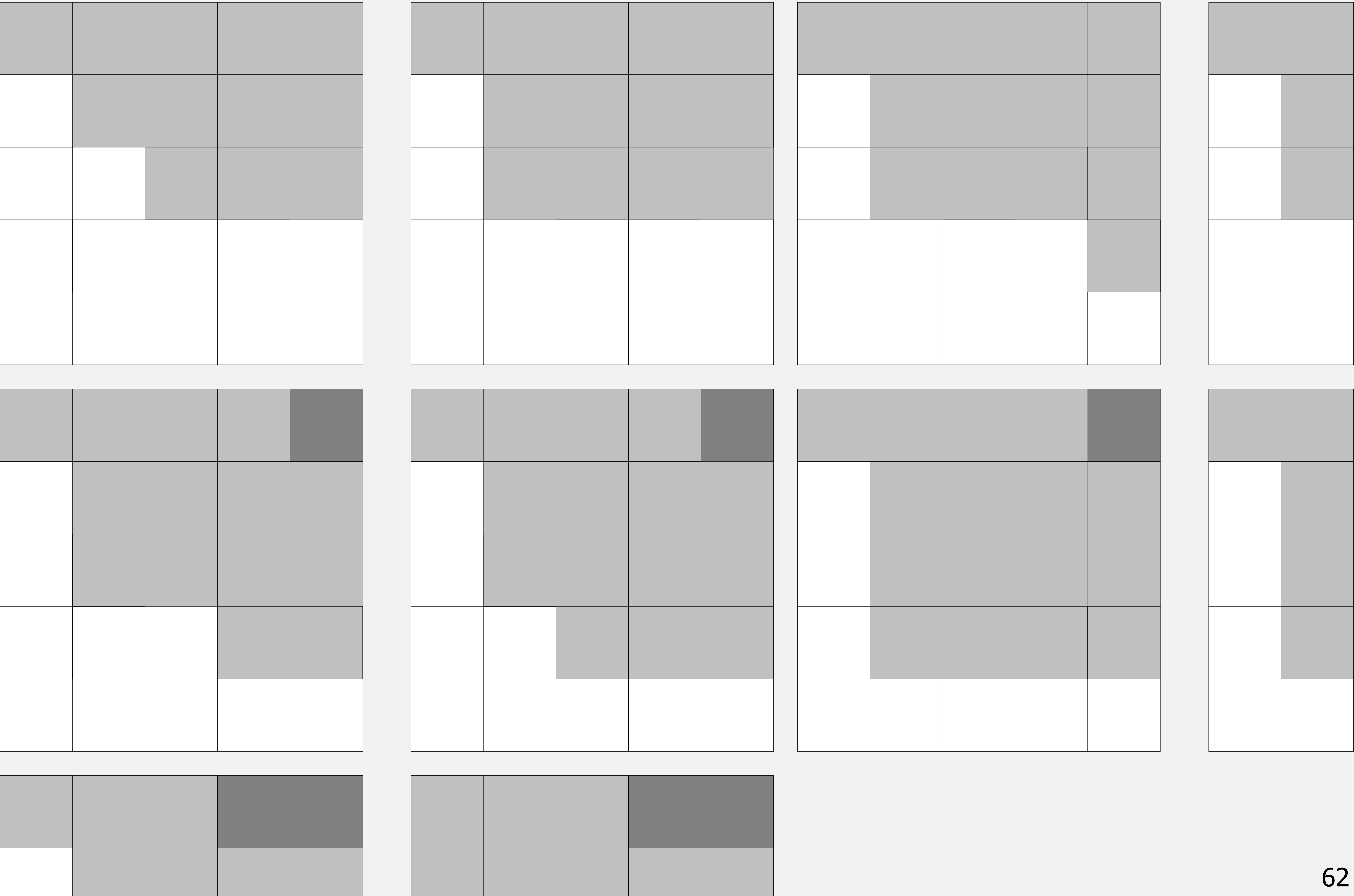
interactionRadius: -2.00000

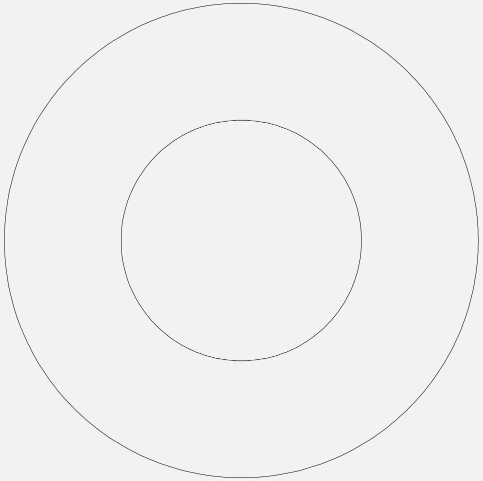
iteration: 11

sdfqsdfqsdf

- fgdfg
- sdfgsdfg
- dfgsdfg
-

Évolution de la segmentation



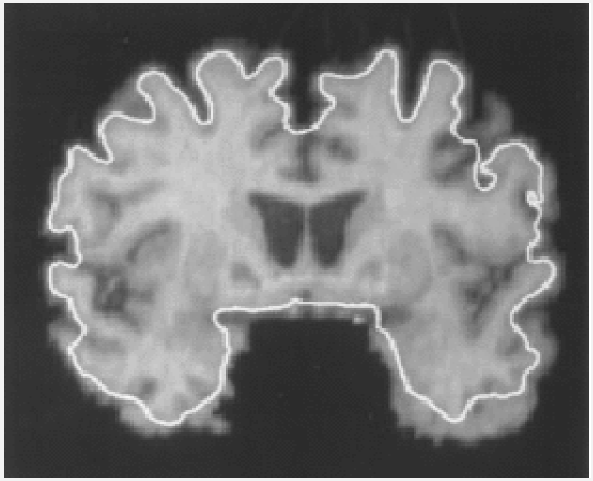


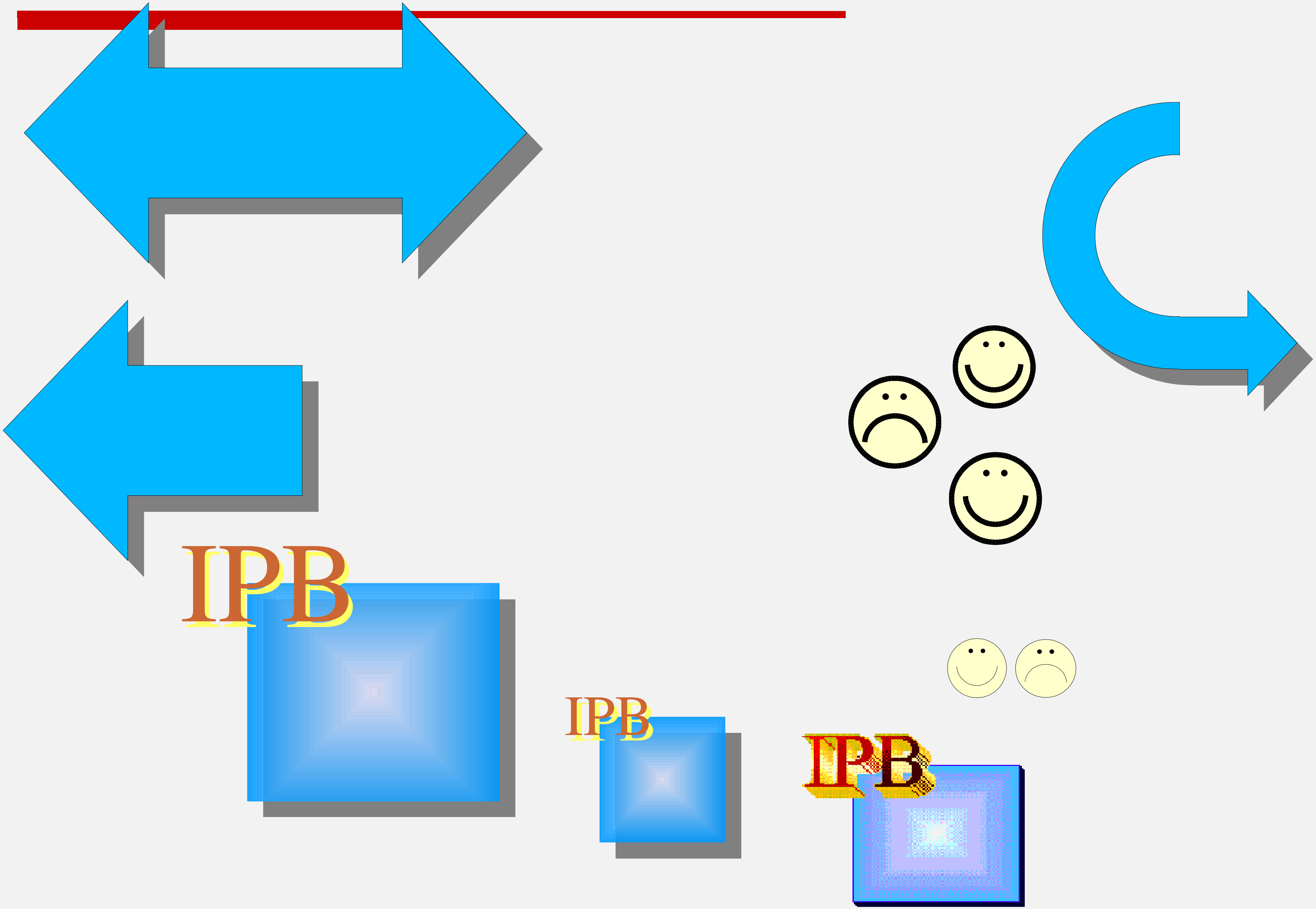
Approches existantes de segmentation

approches région

approches surfaciques

- level sets
- snakes




IPB
IPB
IPB

Tahoma normal text()()

Tahoma italic text()()

Nimbus roman text()()

Nimbus italic text()()

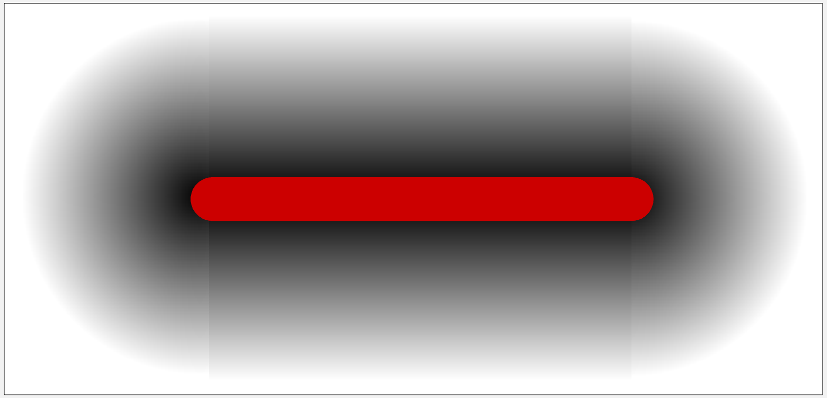
*Nimbus italic sym*ΔΔΔΔΔΔΔΔ*bol text b()()*

Arial normal text()()

SPECIAL TEXT()()

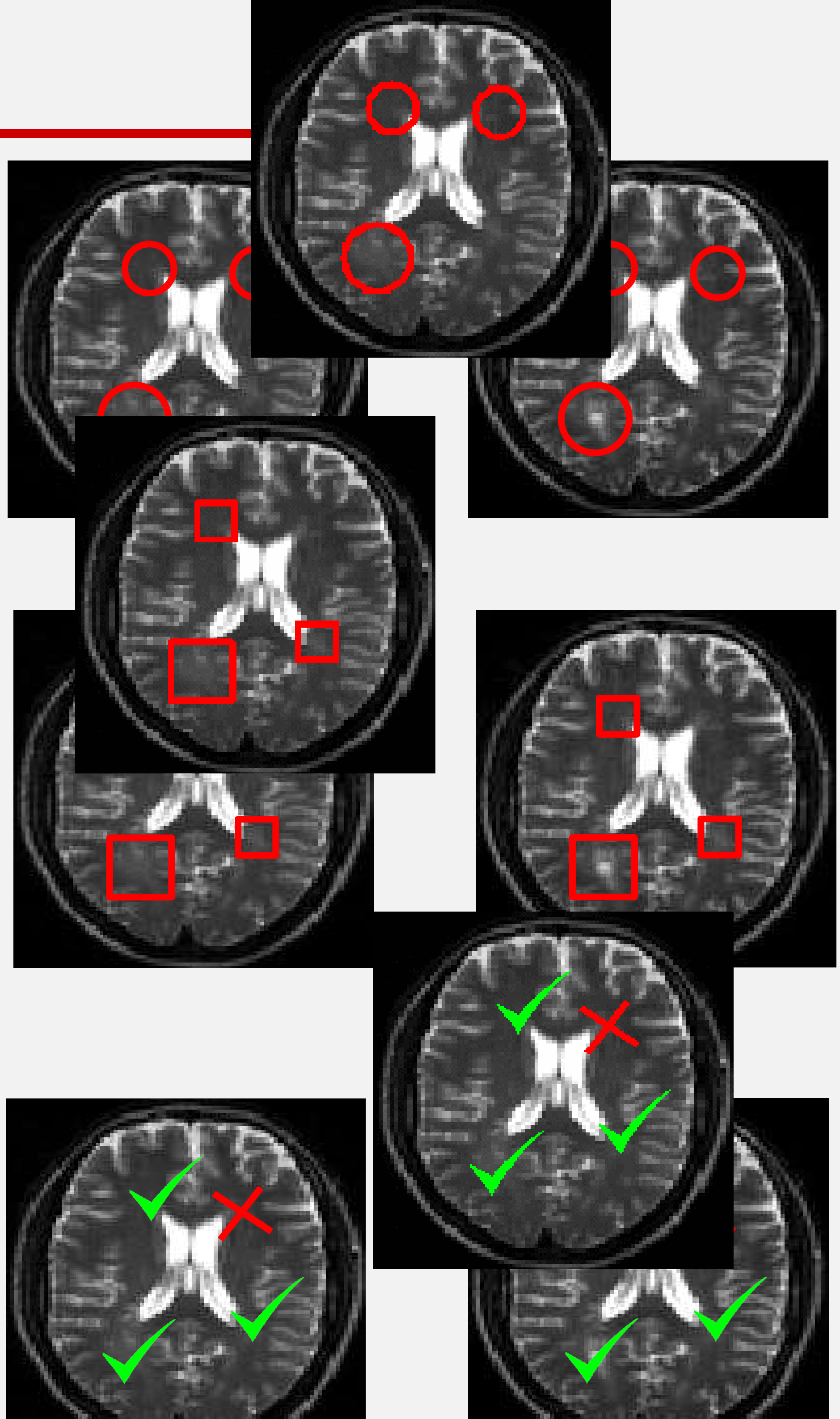
$$E = \alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2 + \alpha_3 E_3 + \alpha_4 E_4 + \alpha_5 E_5 + \alpha_6 E_6 + \ldots$$

contraintes



✗

✓

✗ ✓