

# Applications en imagerie cérébrale

yann.leprince@telecom-paristech.org

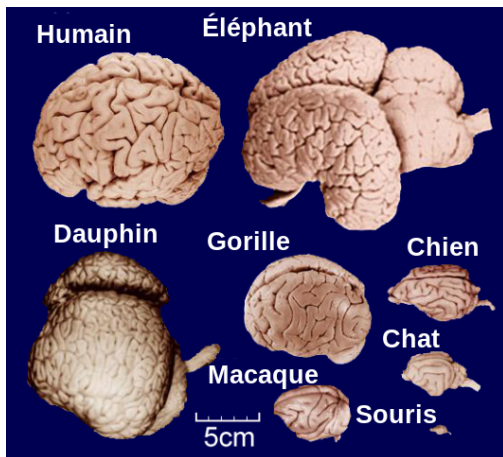
14 octobre 2015

## Le cerveau : quelques notions d'anatomie

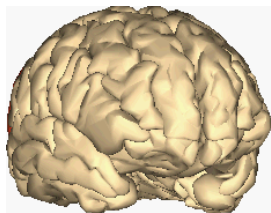
Bref rappel sur l'IRM

Étude d'une chaîne de segmentation du cortex

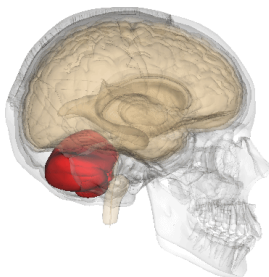
# Cerveaux



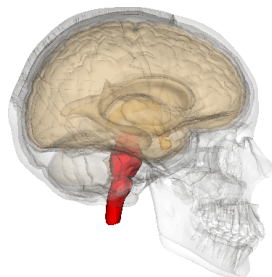
# Les grandes divisions du cerveau



Hémisphères  
cérébraux



Cervelet

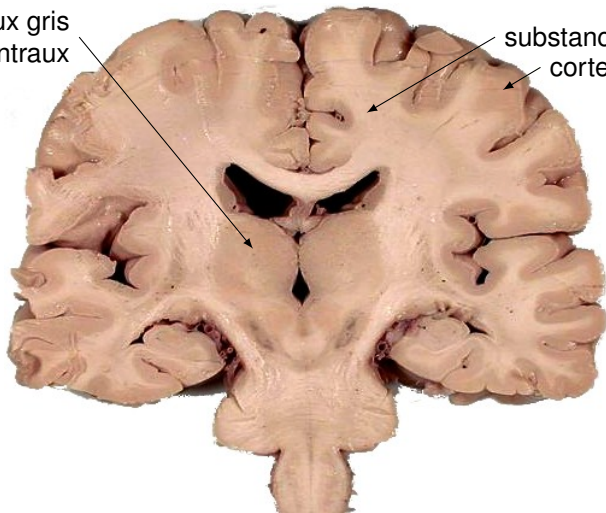


Tronc cérébral

## Anatomie générale du cerveau (coupe coronale)

noyaux gris  
centraux

substance blanche  
cortex



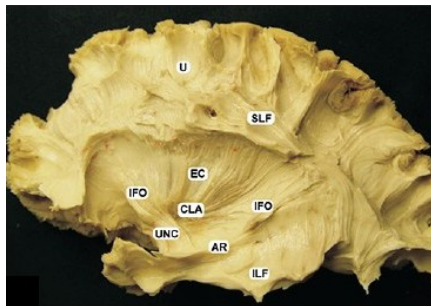
D'après John A.

BEAL, licence CC-BY-2.5, via Wikimedia Commons

Le cerveau baigne dans le liquide cérébro-spinal (LCS).

# Substance grise et substance blanche

La substance grise contient les corps neuronaux



La substance blanche contient les axones, qui transportent l'influx nerveux

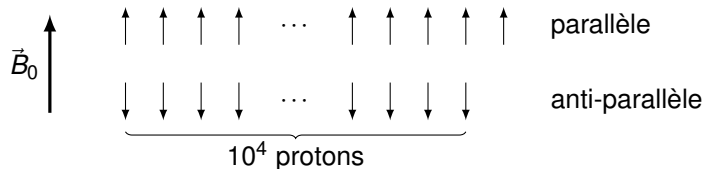
Le cerveau : quelques notions d'anatomie

Bref rappel sur l'IRM

Étude d'une chaîne de segmentation du cortex

# Champ statique et aimantation

Champ magnétique homogène et uniforme  $\vec{B}_0 = B_0 \vec{u}_z$ .

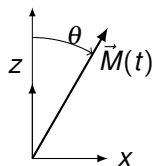


Aimantation résultante à l'équilibre  $\vec{M}_0 = M_0 \vec{u}_z$ .



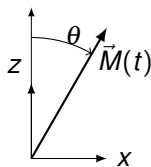
# Précession de Larmor

L'aimantation est basculée hors d'équilibre par une impulsion électromagnétique (radiofréquence)

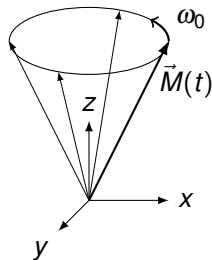


# Précession de Larmor

L'aimantation est basculée hors d'équilibre par une impulsion électromagnétique (radiofréquence)

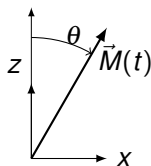


- ▶ Précession à la fréquence de Larmor  $\omega_0 = \gamma B_0$

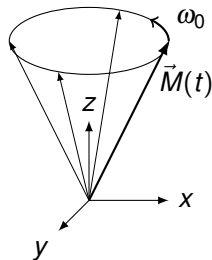


# Précession de Larmor

L'aimantation est basculée hors d'équilibre par une impulsion électromagnétique (radiofréquence)



- ▶ Précession à la fréquence de Larmor  $\omega_0 = \gamma B_0$



- ▶ Cette aimantation tournante génère elle-même une onde électromagnétique à la fréquence de Larmor  $\omega_0$ , qui peut être mesurée : c'est le **signal**.

# Séquences et contrastes

Le « jeu » de l'IRM consiste à manipuler l'aimantation du tissu pour obtenir un signal portant une information intéressante. Les possibilités sont très riches :

- ▶ pondérations « classiques » en  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_2^*$ , densité protonique ;

# Séquences et contrastes

Le « jeu » de l'IRM consiste à manipuler l'aimantation du tissu pour obtenir un signal portant une information intéressante. Les possibilités sont très riches :

- ▶ pondérations « classiques » en  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_2^*$ , densité protonique ;
- ▶ préparation du contraste (FLAIR, saturation de graisse. . .) ;

# Séquences et contrastes

Le « jeu » de l'IRM consiste à manipuler l'aimantation du tissu pour obtenir un signal portant une information intéressante. Les possibilités sont très riches :

- ▶ pondérations « classiques » en  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_2^*$ , densité protonique ;
- ▶ préparation du contraste (FLAIR, saturation de graisse. . .) ;
- ▶ imagerie quantitative ( $T_1$ ,  $T_2$ , susceptibilité magnétique. . .) ;

# Séquences et contrastes

Le « jeu » de l'IRM consiste à manipuler l'aimantation du tissu pour obtenir un signal portant une information intéressante. Les possibilités sont très riches :

- ▶ pondérations « classiques » en  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_2^*$ , densité protonique ;
- ▶ préparation du contraste (FLAIR, saturation de graisse. . .) ;
- ▶ imagerie quantitative ( $T_1$ ,  $T_2$ , susceptibilité magnétique. . .) ;
- ▶ Imagerie de diffusion ;
- ▶ Imagerie fonctionnelle par effet BOLD ;
- ▶ Angiographie, mesure de flux ;
- ▶ Mesure de perfusion des tissus ;
- ▶ Quantification d'agent de contraste ;
- ▶ Spectroscopie
- ▶ Etc.

# L'intensité du champ magnétique

## Avantages des champs intenses

- ▶ Rapport signal à bruit :  $S \propto B_0^2$ ,  $B \propto B_0$

$$\frac{S}{B} \propto B_0$$

- ▶ Nouveaux contrastes possibles, p. ex. susceptibilité magnétique



# L'intensité du champ magnétique

## Avantages des champs intenses

- ▶ Rapport signal à bruit :  $S \propto B_0^2$ ,  $B \propto B_0$

$$\frac{S}{B} \propto B_0$$

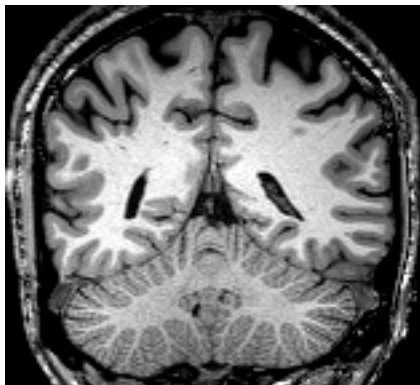
- ▶ Nouveaux contrastes possibles, p. ex. susceptibilité magnétique

## Difficultés liées aux champs intenses

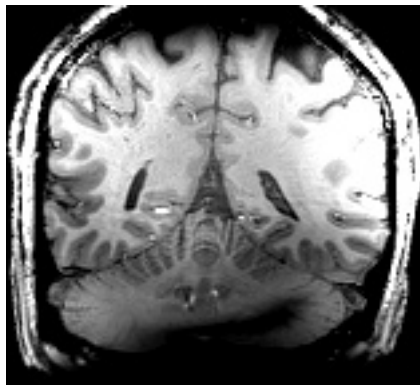
- ▶ Hétérogénéité du champ statique ( $B_0$ )
  - ▶ Déformations
  - ▶ Pertes de signal
- ▶ Hétérogénéité du champ radiofréquence ( $B_1$ )
  - ▶ Hétérogénéité de signal et de contraste
  - ▶ Déterminée par la longueur d'onde  $\lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{2\pi c_0}{\gamma B_0}$

# Comparaison 3 T vs 7 T

Une même séquence d'acquisition (MPRAGE), pondérée en  $T_1$  :



3 T :  $f \approx 128\text{MHz}$ ,  $\lambda \approx 2.3\text{m}$



7 T :  $f \approx 300\text{MHz}$ ,  $\lambda \approx 1.0\text{m}$

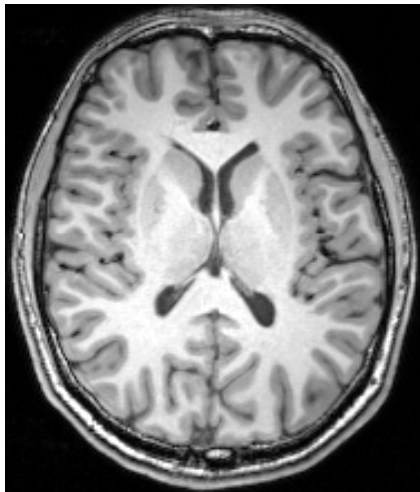


Image pondérée en  $T_1$  à 3 T,  
résolution 1 mm isotrope

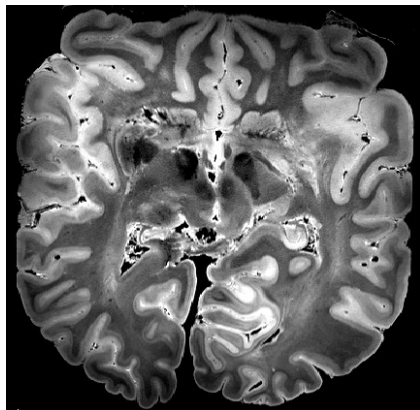


Image pondérée en  $T_2$  à 7 T,  
résolution  $\approx 300 \mu\text{m}$

Le cerveau : quelques notions d'anatomie

Bref rappel sur l'IRM

Étude d'une chaîne de segmentation du cortex

# Segmentation du cortex

À partir d'une image de résolution millimétrique pondérée en  $T_1$ , on veut obtenir :

- ▶ Image comportant trois classes :
  - ▶ Le cortex : substance grise
  - ▶ L'intérieur : substance blanche
  - ▶ L'extérieur : liquide cérébro-spinal (LCS)
- ▶ Garantie topologique
  - ▶ cortex = sphère creuse 6-connexe

# Segmentation du cortex

À partir d'une image de résolution millimétrique pondérée en  $T_1$ , on veut obtenir :

- ▶ Image comportant trois classes :
  - ▶ Le cortex : substance grise
  - ▶ L'intérieur : substance blanche
  - ▶ L'extérieur : liquide cérébro-spinal (LCS)
- ▶ Garantie topologique
  - ▶ cortex = sphère creuse 6-connexe

Applications de cette segmentation :

- ▶ Morphométrie : volume, épaisseur corticale, ouverture des sillons. . .
- ▶ Étude de la variabilité anatomique
- ▶ Projection d'autres modalités (diffusion, IRM fonctionnelle. . .)
- ▶ Etc.

# La chaîne de traitement Morphologist

- ▶ Distribuée avec le logiciel BrainVISA : [brainvisa.info](http://brainvisa.info)
- ▶ Développée par le CEA (NeuroSpin)
- ▶ Initialement créée par Jean-François Mangin en collaboration avec Télécom ParisTech (ENST)

# Principales étapes de Morphologist

1. Correction d'orientation / normalisation
2. Correction de biais
3. Analyse de l'histogramme
4. Extraction du masque du cerveau
5. Séparation des hémisphères
6. Classification gris-blanc
7. Correction topologique
8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe
9. Maillage des surfaces



# Principales étapes de Morphologist

## 1. Correction d'orientation / normalisation

Deux approches possibles :

- ▶ Sélection manuelle de points caractéristiques
- ▶ Recalage sur un atlas (p. ex. MNI152)

## 2. Correction de biais

## 3. Analyse de l'histogramme

## 4. Extraction du masque du cerveau

## 5. Séparation des hémisphères

## 6. Classification gris-blanc

## 7. Correction topologique

## 8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe

## 9. Maillage des surfaces

## Correction de biais

Les images sont affectées d'un biais dû aux imperfections de l'acquisition.

Le biais élargit les pics de l'histogramme

⇒ brouille la séparation des classes

L'image est affectée par un biais multiplicatif variant lentement.

# Correction de biais

Les images sont affectées d'un biais dû aux imperfections de l'acquisition.

Le biais élargit les pics de l'histogramme

⇒ brouille la séparation des classes

L'image est affectée par un biais multiplicatif variant lentement.

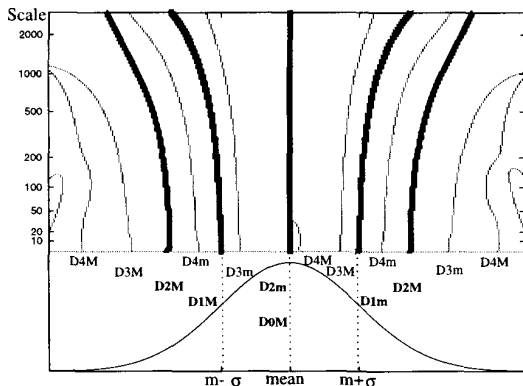
Un champ multiplicatif est optimisé (utilisant un recuit simulé) pour minimiser le critère d'entropie :

$$S = - \sum_i p_i \log p_i$$

Mangin, 2000

# Analyse de l'histogramme

Les moyennes et écart-type de la substance grise et blanche sont extraites :  
 $\mu_G, \sigma_G, \mu_W, \sigma_W$



Mangin, 1998

# Principales étapes de Morphologist

1. Correction d'orientation / normalisation
2. Correction de biais
3. Analyse de l'histogramme
4. **Extraction du masque du cerveau**
  - ▶ Seuillage
  - ▶ Filtrage morphologique
  - ▶ Détection de la plus grande composante connexe
  - ▶ Reconstruction morphologique
5. Séparation des hémisphères
6. Classification gris-blanc
7. Correction topologique
8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe
9. Maillage des surfaces

# Principales étapes de Morphologist

1. Correction d'orientation / normalisation
2. Correction de biais
3. Analyse de l'histogramme
4. Extraction du masque du cerveau
5. **Séparation des hémisphères**
  - ▶ Érosion du masque  $\Rightarrow$  une graine par hémisphère
  - ▶ Reconstruction morphologique
  - ▶ Injection de connaissance a priori : modèle (*template*)
6. Classification gris-blanc
7. Correction topologique
8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe
9. Maillage des surfaces

# Principales étapes de Morphologist

1. Correction d'orientation / normalisation
2. Correction de biais
3. Analyse de l'histogramme
4. Extraction du masque du cerveau
5. Séparation des hémisphères
6. **Classification gris-blanc**  
Régularisation markovienne
  - ▶ Attache aux données (cf analyse d'histogramme)
  - ▶ Régularisation par un potentiel de Potts
7. Correction topologique
8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe
9. Maillage des surfaces

# Principales étapes de Morphologist

1. Correction d'orientation / normalisation
2. Correction de biais
3. Analyse de l'histogramme
4. Extraction du masque du cerveau
5. Séparation des hémisphères
6. Classification gris-blanc
7. **Correction topologique**
  - ▶ Boîte englobante cubique : topologie sphérique
  - ▶ Érosion homotopique jusqu'à coller à l'interface gris-blanc
8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe
9. Maillage des surfaces



# Principales étapes de Morphologist

1. Correction d'orientation / normalisation
2. Correction de biais
3. Analyse de l'histogramme
4. Extraction du masque du cerveau
5. Séparation des hémisphères
6. Classification gris-blanc
7. Correction topologique
8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe
  - ▶ Sillons : lignes de crête de l'intensité (maxima de la courbure moyenne des isophotes)
  - ▶ Dilatation homotopique de l'interface gris-blanc
9. Maillage des surfaces

# Principales étapes de Morphologist

1. Correction d'orientation / normalisation
2. Correction de biais
3. Analyse de l'histogramme
4. Extraction du masque du cerveau
5. Séparation des hémisphères
6. Classification gris-blanc
7. Correction topologique
8. Détection des sillons, reconstruction de l'interface externe
9. Maillage des surfaces
  - ▶ Algorithme analogue au *Fast Marching*