

Résonance Magnétique Nucléaire

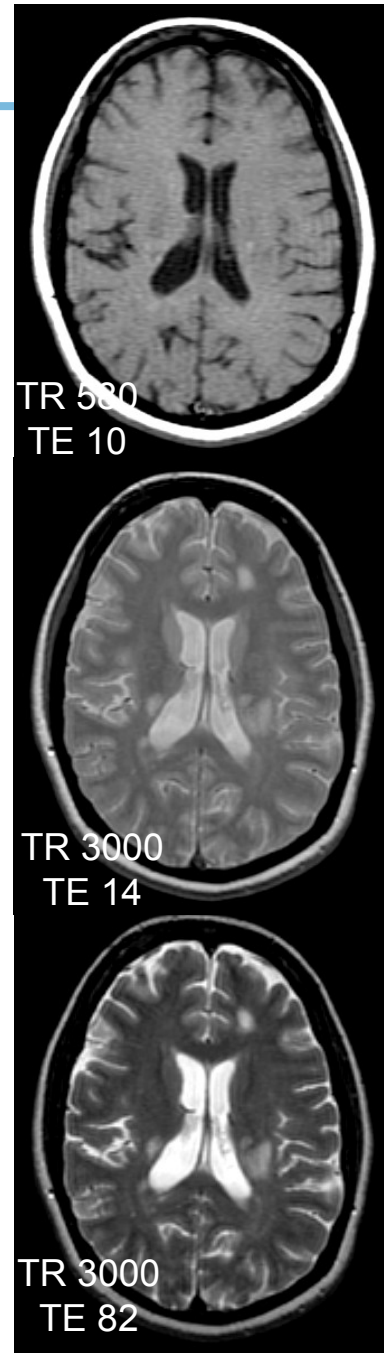
Plan

1- Phénomène de résonance magnétique nucléaire (RMN)

- 1.1- Moment magnétique nucléaire
- 1.2- Précession
- 1.3- Résonance
- 1.4- Relaxation.

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

- 2.1 - Origine du contraste
- 2.2 - Les séquences en IRM
- 2.3 – Formation de l'image
- 2.4 - Quelques exemples



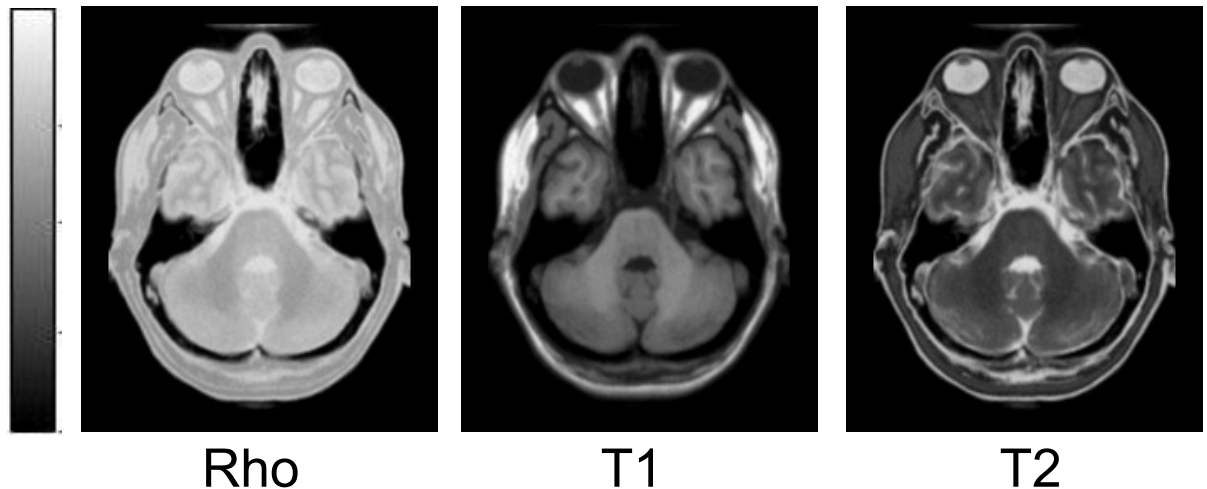
2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

Rappel

- Trois types de contrastes (1,5 T)

	rho (%)	T1 (ms)	T2 (ms)
Graisse	100	150	75
LCR	100	2500	1000
S. Grise	87	850	100
S. Blanche	73	750	90
<i>Tumeur (gliome)</i> <i>(contraste / SB)</i>	<i>65</i> <i>(11%)</i>	<i>780</i> <i>(4%)</i>	<i>225</i> <i>(86%)</i>

- Trois types d'images



2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

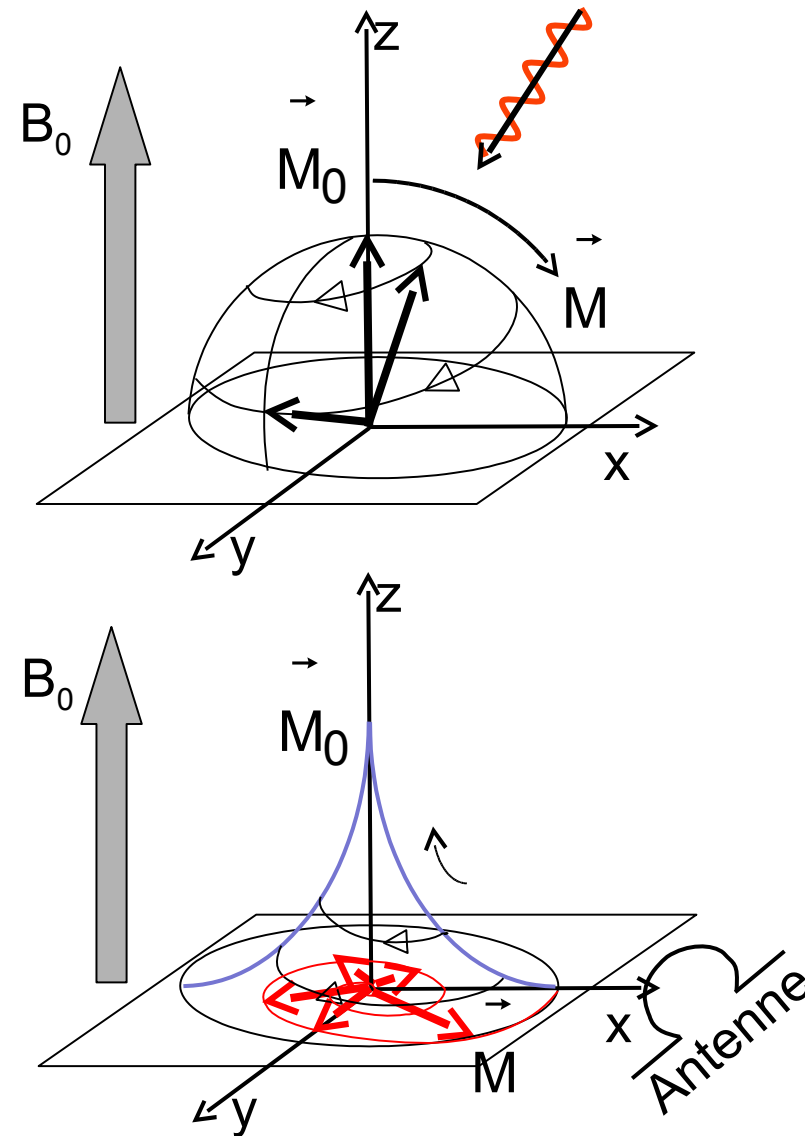
2.2- Les séquences en IRM.

Permettent de produire un type de contraste ou l'autre

- Une séquence = l'enchaînement des phases de résonance et de relaxation.
- Les paramètres de la séquence sont choisis par l'opérateur.
- Pour la phase de résonance on choisit ici d'appliquer l'onde radiofréquence pendant un temps tel qu'on obtienne une bascule de $\pi/2$.
- On choisit de décrire une séquence « écho de spin ».

2.2.1- Effets de la bascule $\pi/2$.

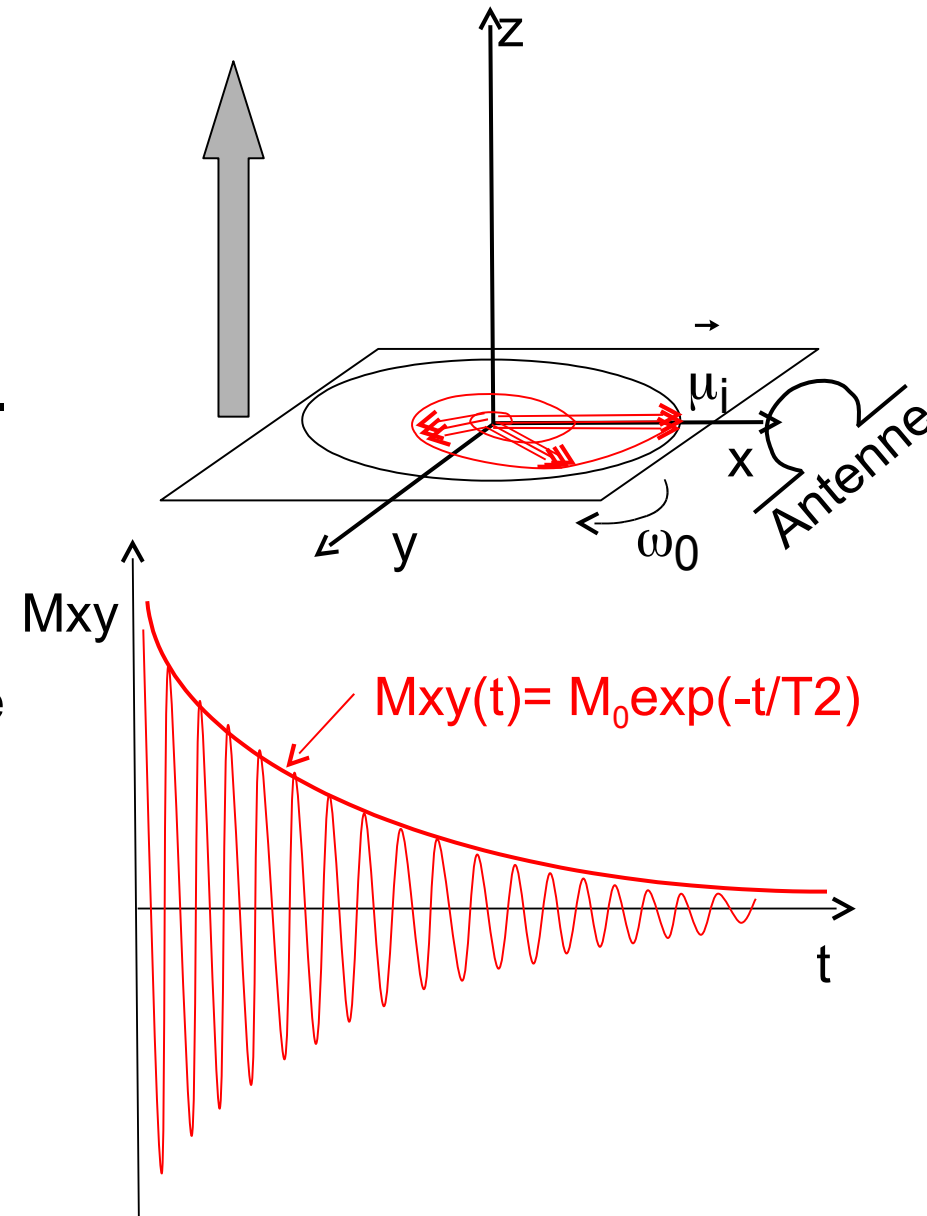
- Durant la résonance, l'onde radiofréquence (ou le champ $B_1 \perp$ tournant) sont appliqués un temps tel que M s'oriente dans le plan xOy .
- Lors de la relaxation, la composante transverse de M , M_{xy} tourne dans le plan xOy et son module s'annule progressivement.



2.2.1- Effets de la bascule $\pi/2$.**Signal théorique**

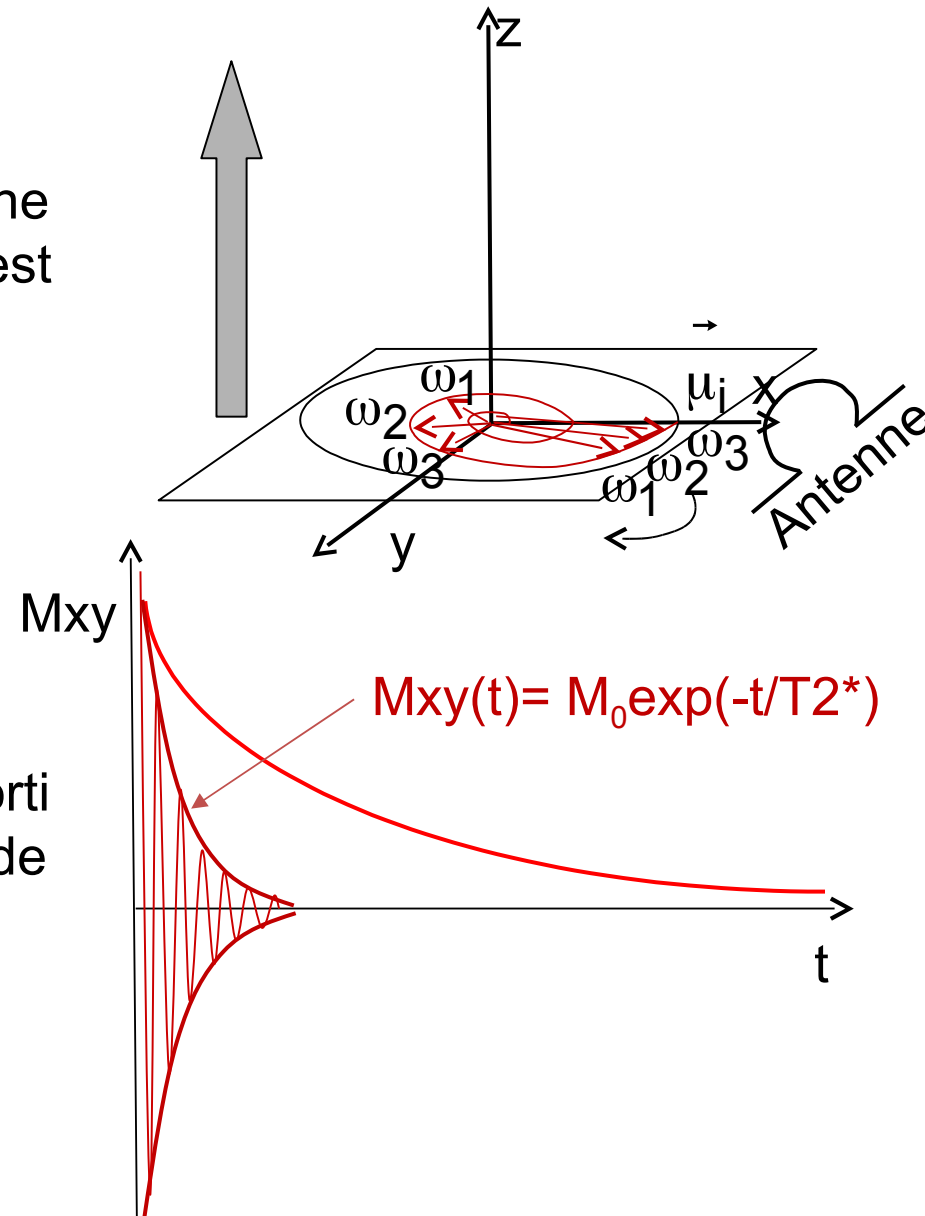
■ A l'échelle individuelle des différents noyaux d'hydrogène, ce mouvement correspond théoriquement à la même évolution des spins qui sont en phase.

■ Explique le signal de précession libre qui est théoriquement mesuré.



2.2.1- Effets de la bascule $\pi/2$.**Signal réel**

- Mais les différents noyaux d'hydrogène tournent à des vitesses différentes: c'est le **déphasage des spins**.



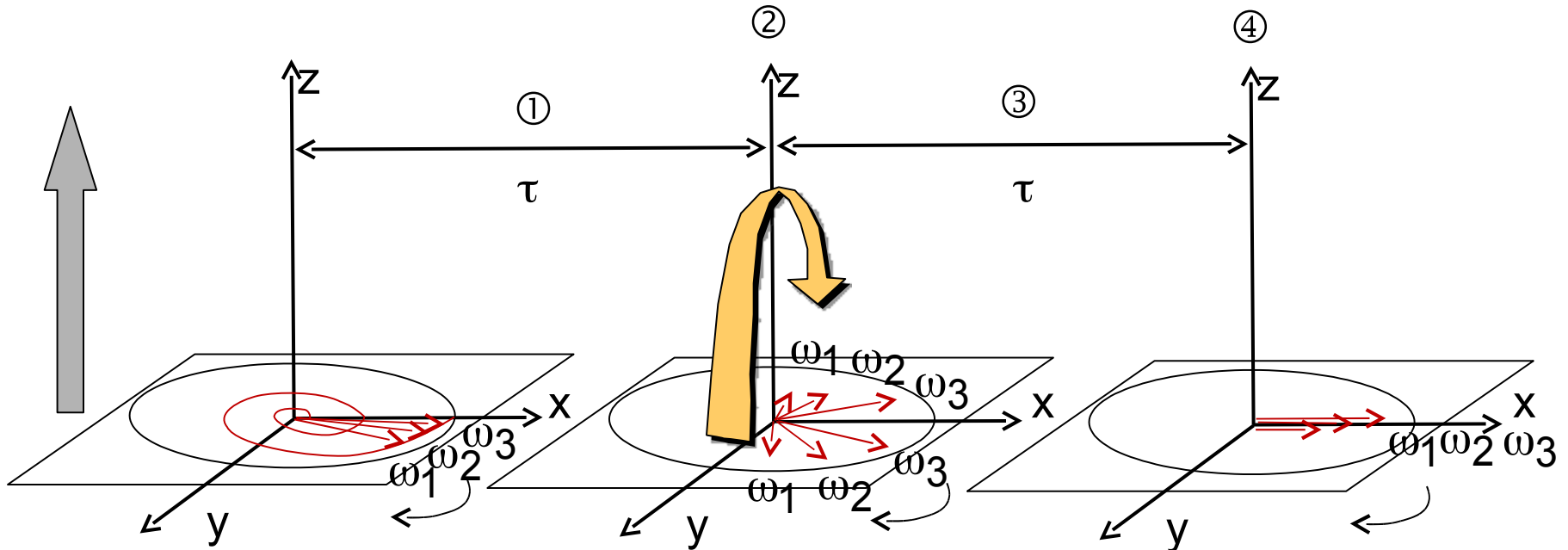
- Le signal de précession libre est amorti plus rapidement; avec une constante de temps $T2^* < T2$.

- Le signal est difficile à mesurer.

2.2.2- Principe de l'écho de la séquence écho de spin.

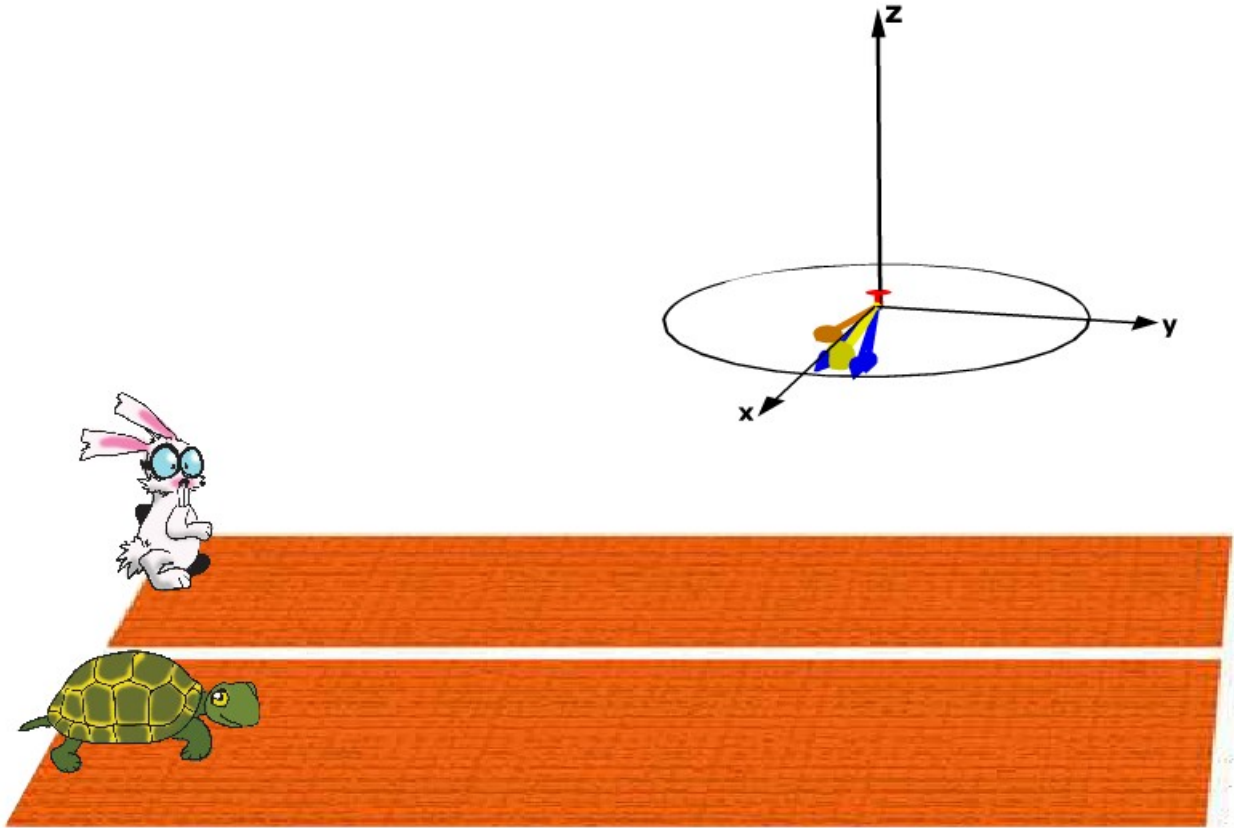
■ Elle a pour but de compenser le déphasage des spins pour rendre le signal mesurable grâce à un phénomène d'écho.

- ① Déphasage pendant un temps τ ;
- ② Bascule π dans le plan xOy ;
- ③ Déphasage pendant un temps τ ;
- ④ **Echo.**



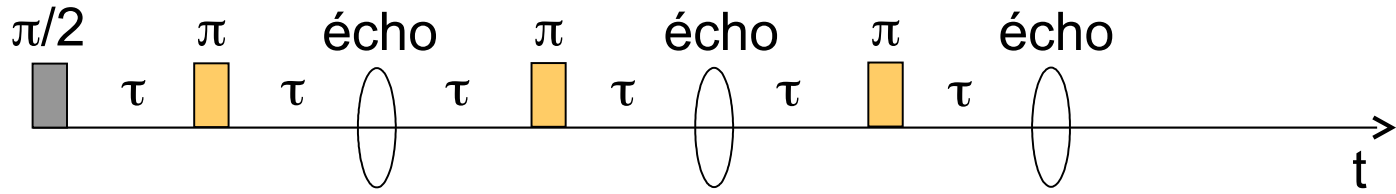
2.2.2- Principe de l'écho de la séquence écho de spin.

Spin echo
Short TE
Large reception bandwidth

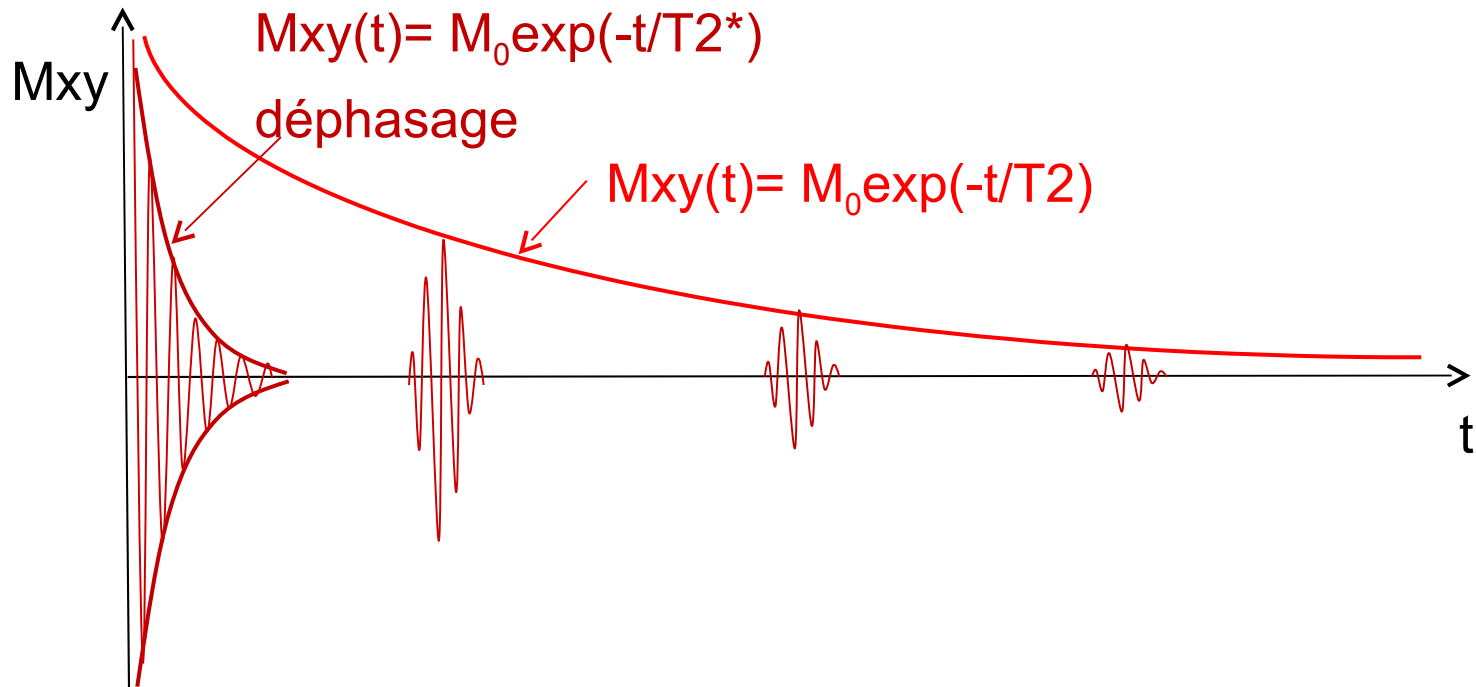


2.2.3- Le signal de la séquence écho de spin.

- Les actions de la séquence.

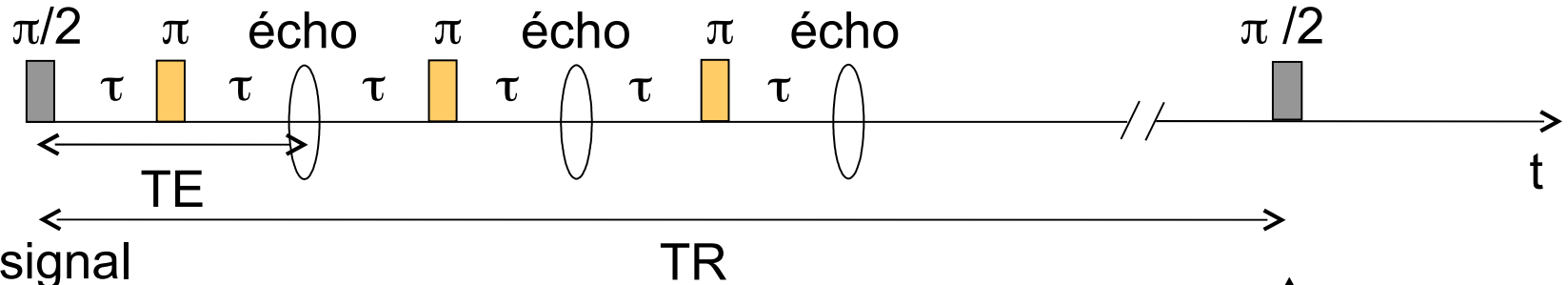


- Le signal

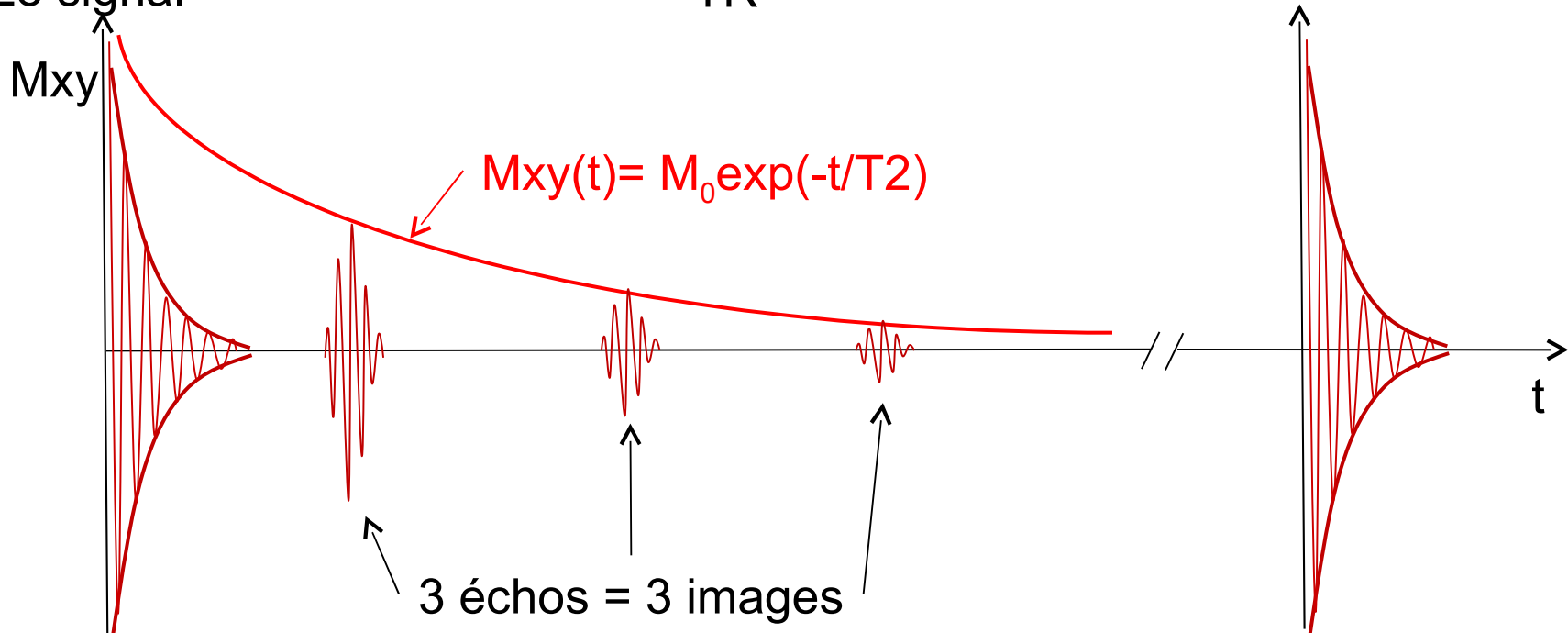


2.2.3- Le signal de la séquence écho de spin.

- On choisit: le nombre d'échos; le temps d'écho ($TE = 2\tau$); le temps de répétition TR



- Le signal



2.2.4- Rapports entre les paramètres de la séquence ceux de la relaxation (en séquence spin écho).

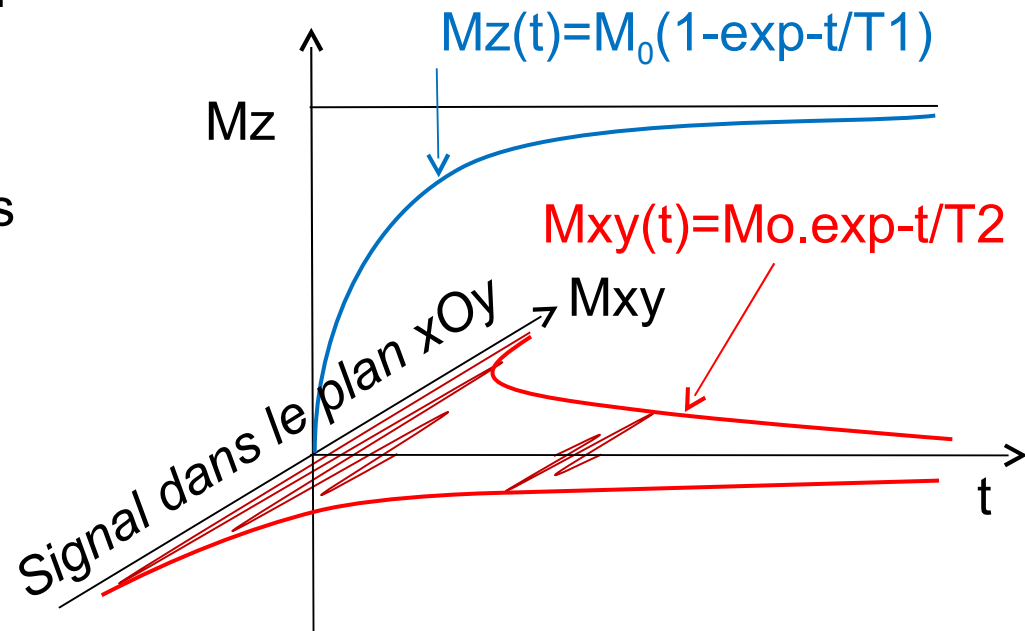
Il s'agit de voir comment le choix des paramètres de la séquence permet de favoriser ρ , T1 ou T2 dans le contraste de l'image.

On peut jouer sur:

- Le rythme des bascules $\pi/2$: le temps de répétition (TR), car la séquence doit être répétée de nombreuses fois;
- Le rythme des bascules π : le temps d'écho (TE), en fait le temps de déphasage $\tau = TE/2$.

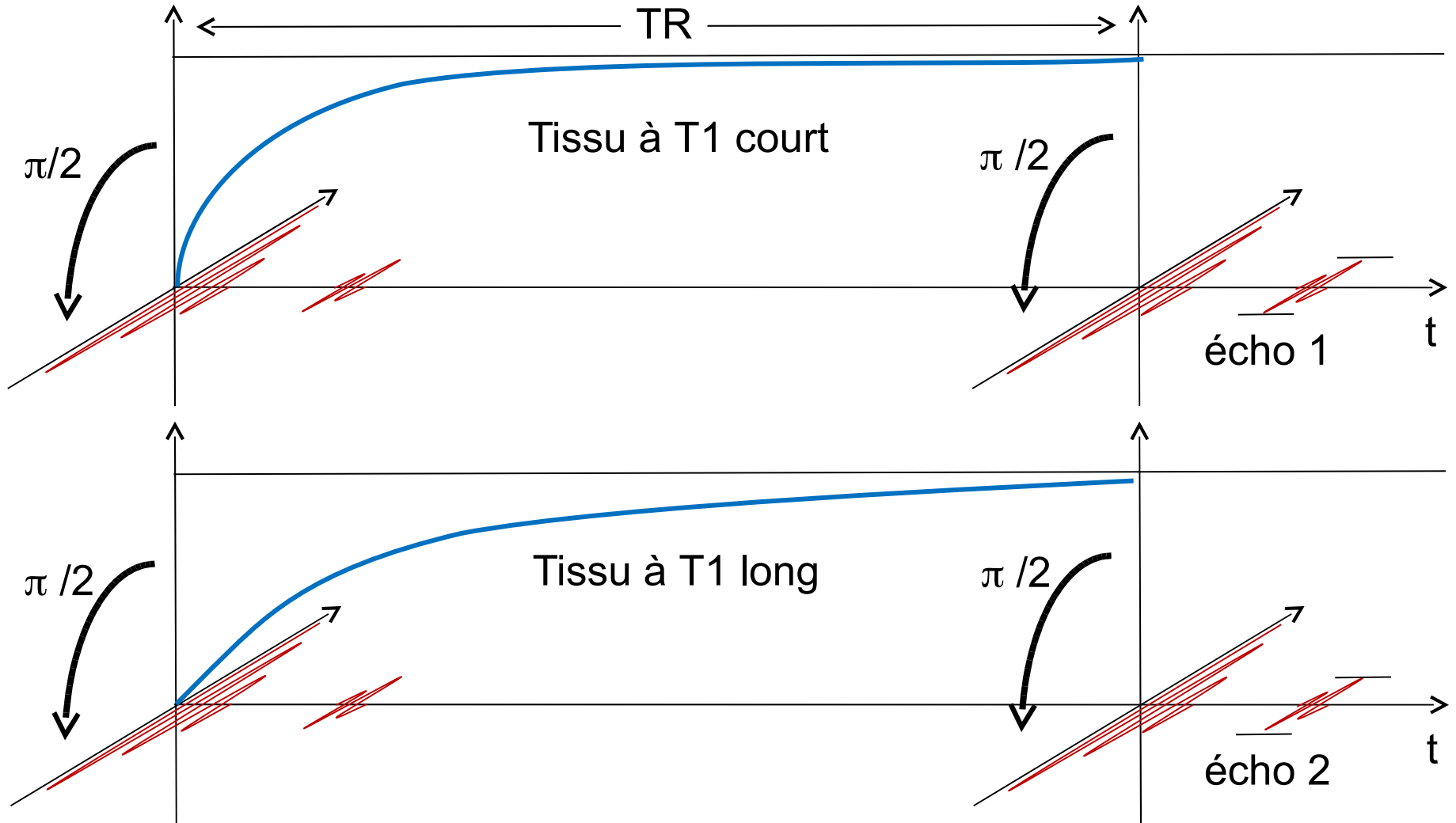
2.2.4.1- Rapport entre TR et T1

- Rappel: le signal mesuré est celui généré par M_{xy} .
- Comment T1 (constante de temps de recroissance en Z) intervient dans le signal mesuré?
- Il faut prendre en compte le mouvement 3D de M pendant la relaxation.



2.2.4.1- Rapport entre TR et T1

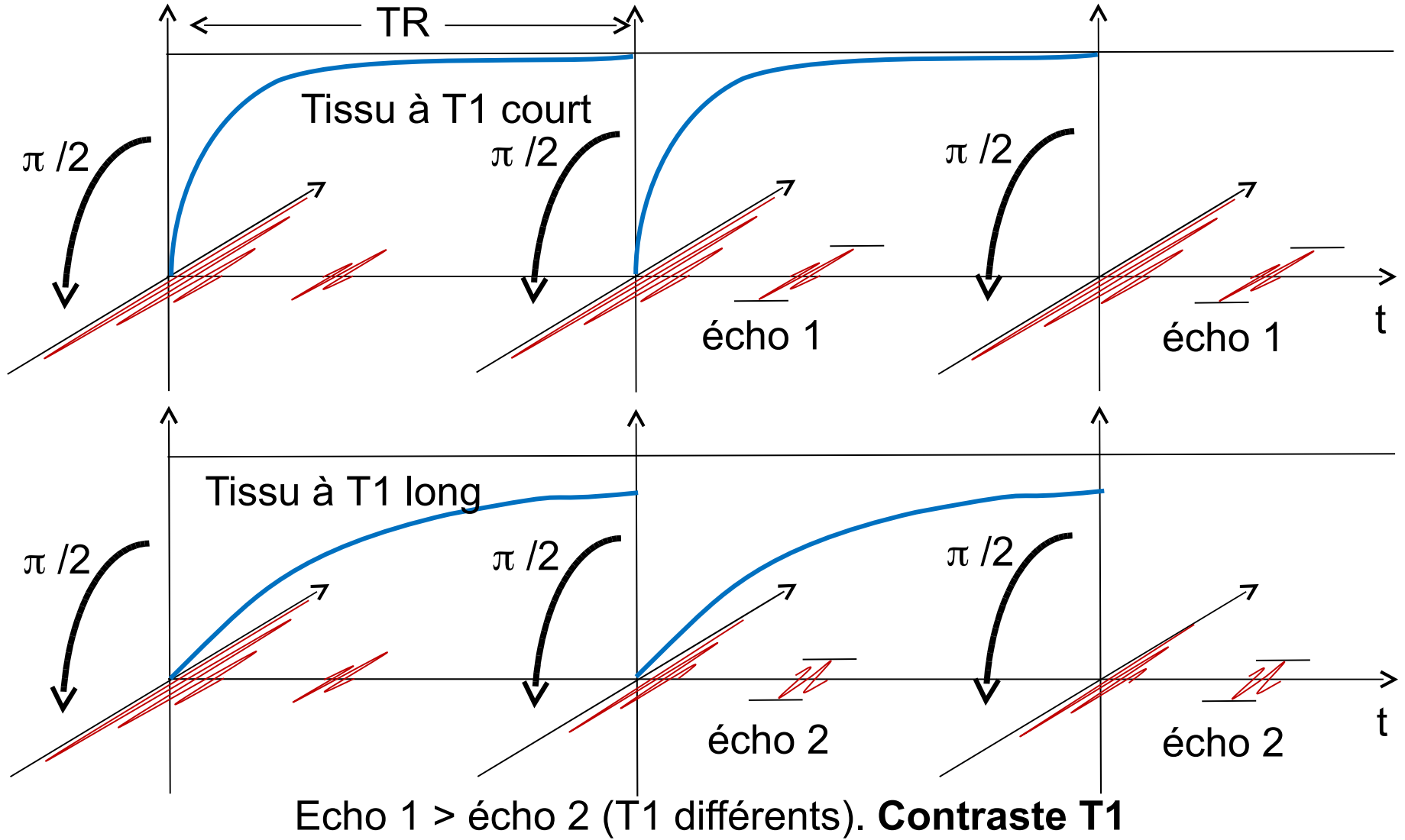
Si on choisit un TR long



Echo 1 = écho 2 (malgré des T1 différents). **Pas de contraste T1**

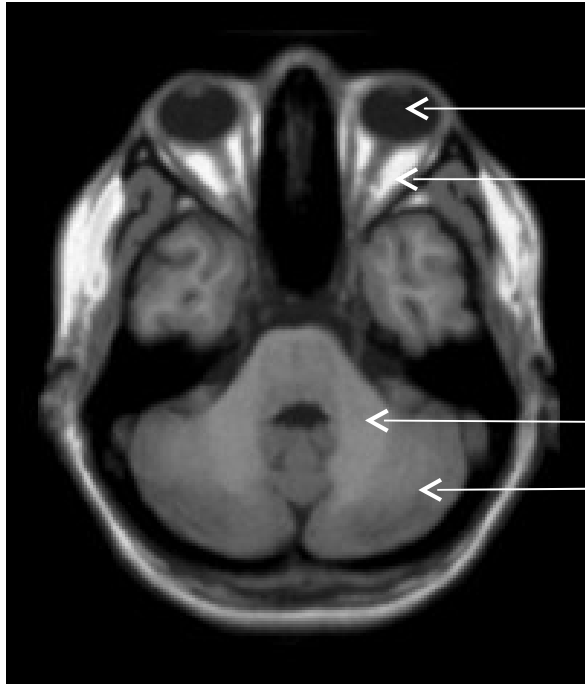
2.2.4.1- Rapport entre TR et T1

Si on choisit un TR court



2.2.4.1- Rapport entre TR et T1

TR = 500 ms



Liquide (vitré)

Graisse

Substance blanche

Substance grise

T1 (ms)

2500

150

750

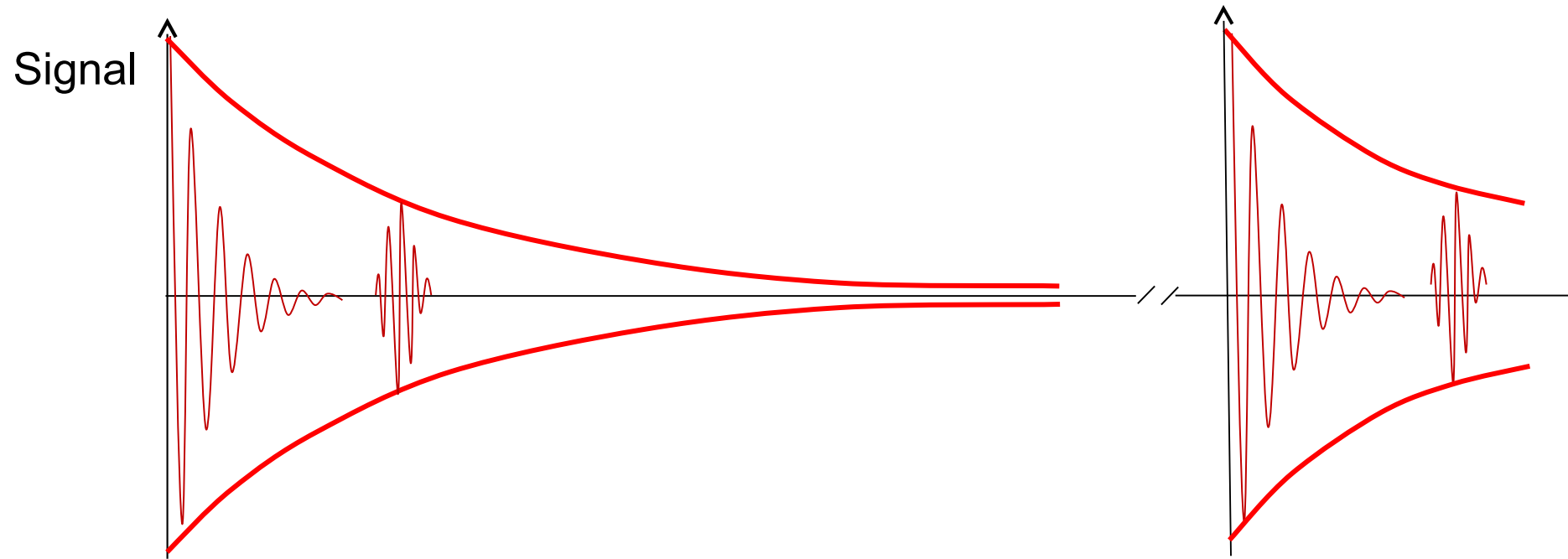
850

TR = 3000 ms



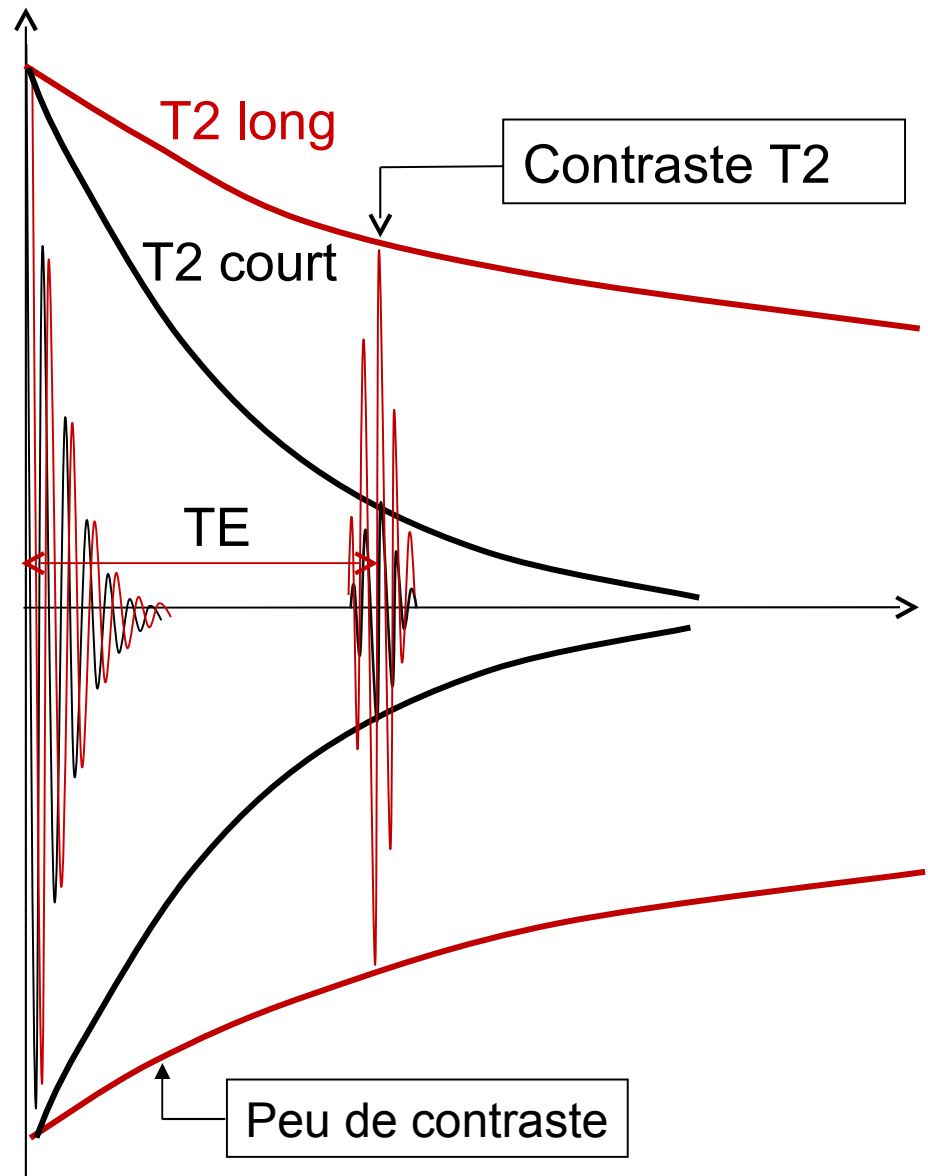
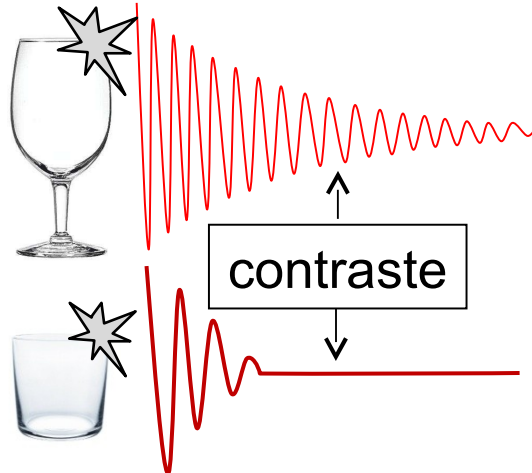
2.2.4.2- Rapport entre TE et T2 & rho

- On choisit un TR long qui annule l'influence de T1: seuls T2 et rho peuvent intervenir dans le contraste.



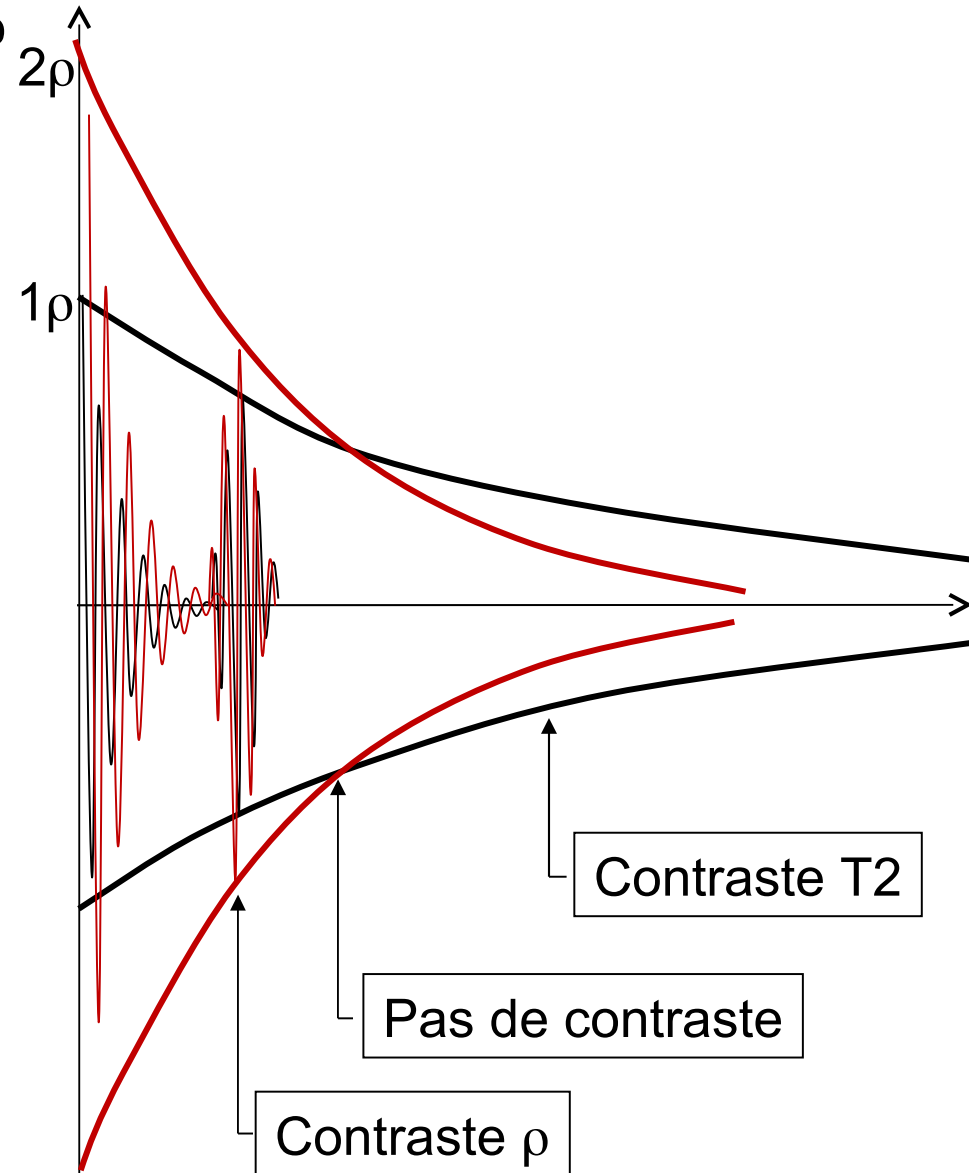
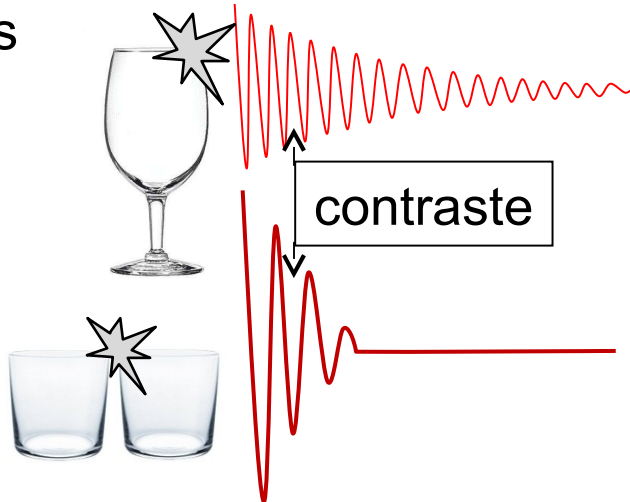
2.2.4.2- Rapport entre TE et T2 & rho

- L'intensité de l'écho dépend du T2.
- L'effet est d'autant plus sensible que l'écho est tardif: **TE long.**
- TE long → contraste T2 avec hypersignal si T2 long.
- Analogie avec la vibration d'un verre



2.2.4.2- Rapport entre TE et T2 & rho

- L'intensité de l'écho dépend de rho.
- L'effet est d'autant plus sensible que l'écho est précoce: **TE court**.
- TE court → contraste rho avec hypersignal si rho élevé.
- Analogie avec la vibration de verres



2.2.4.2- Rapport entre TE et T2 & rho

TR = 3000 ms

TE = 40 ms



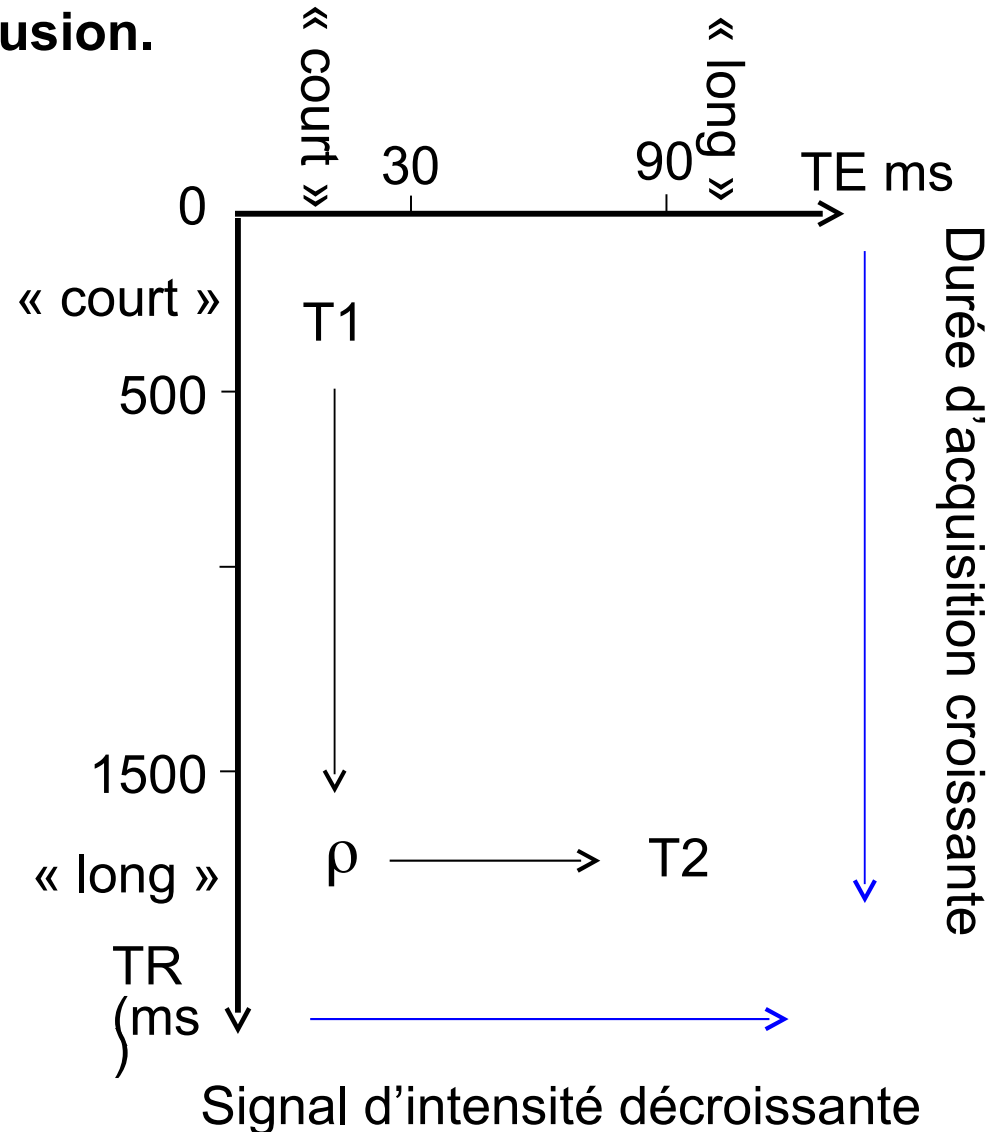
	ρ	T2
Liquides	100	1000
Graisse	100	75
SB	73	90
SG	87	100

TE = 80 ms

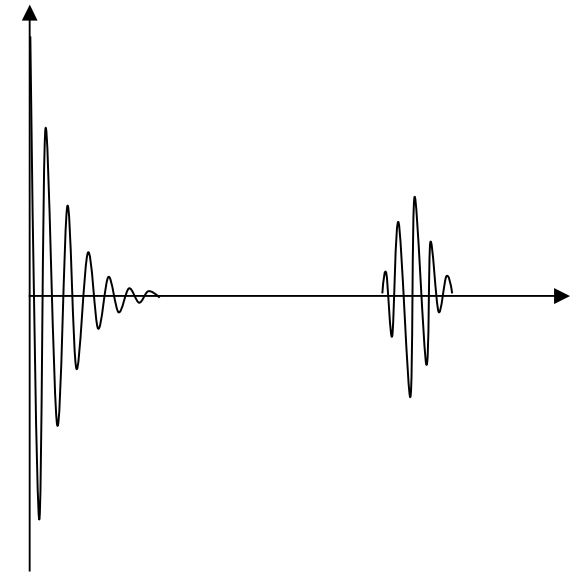


2.2.4- Rappports entre les paramètre de la séquence ceux de la relaxation (en séquence spin écho). **Conclusion.**

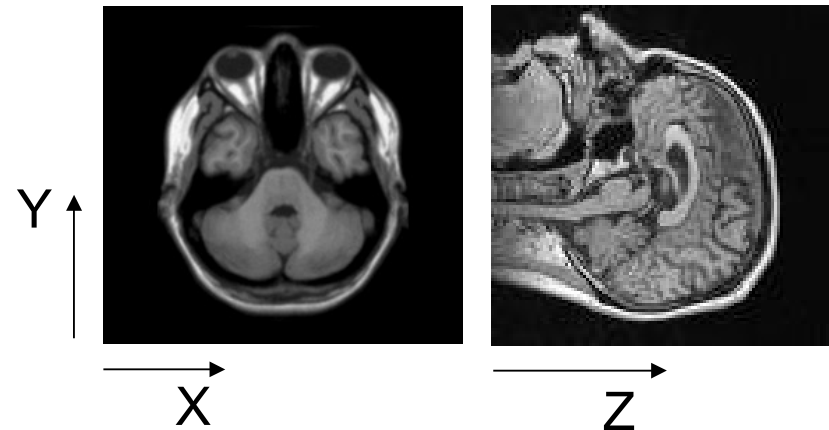
- Les 3 paramètres de relaxation ρ , T1 et T2 interviennent toujours simultanément.
- Mais le choix des paramètres de la séquence TR et TE permet de favoriser l'un ou l'autre.
- Les images sont dites: « pondérées en ρ , T1 ou T2 »



$$S(t) = [\underbrace{\rho (1-\exp-t/T1)}_{\text{Contraste}} \underbrace{\exp-t/T2}_{\text{Codage spatial}}] \sin\omega t + \phi$$

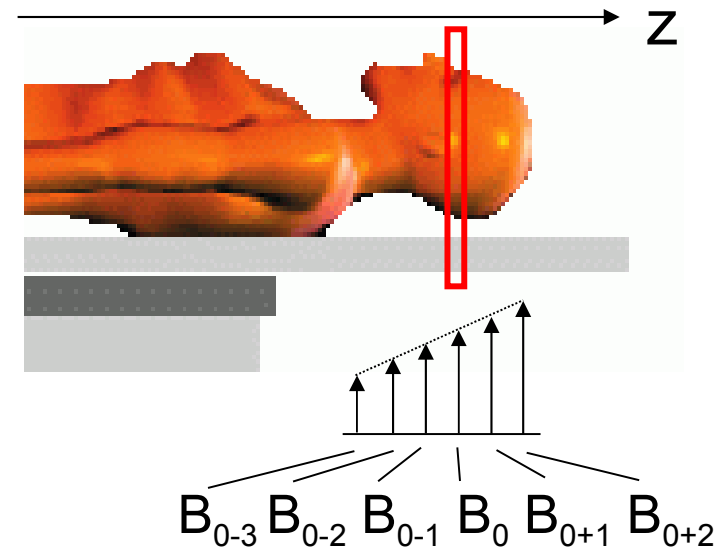


- Codage dans 3 dimensions



- Codage spatial:
 - a- Sélection du plan de coupe
 - b- Codage x par la fréquence et y par la phase

■ Sélection du plan de coupe

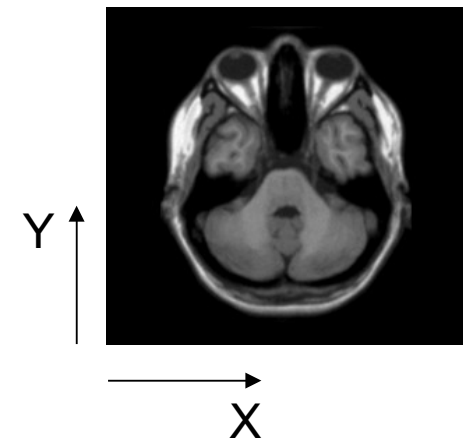


Gradient de champ pendant la résonance

La fréquence de Larmor: B_0

La résonance ne concerne qu'un plan de coupe

Le signal recueilli ne vient que d'une coupe

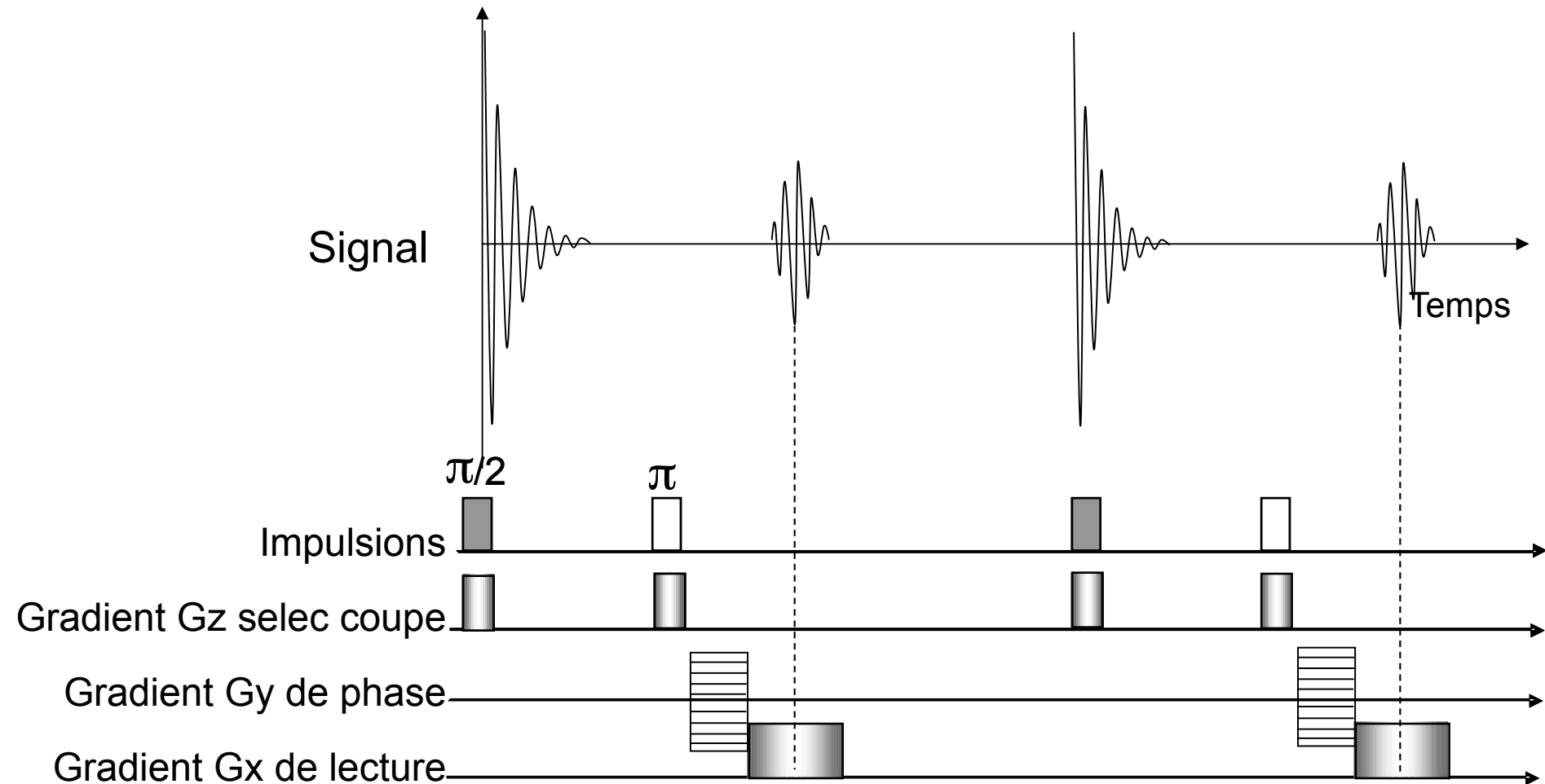


■ Codage x par la fréquence et y par la phase

Codage ligne par ligne de l'image

$$S(t) = [\rho (1 - \exp(-t/T1)) \exp(-t/T2)] \sin \omega t + \phi$$

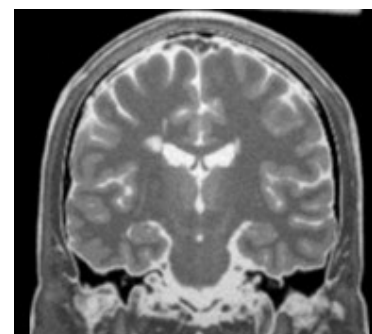
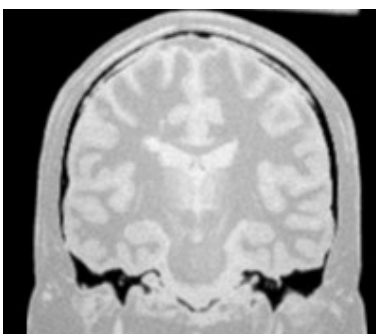
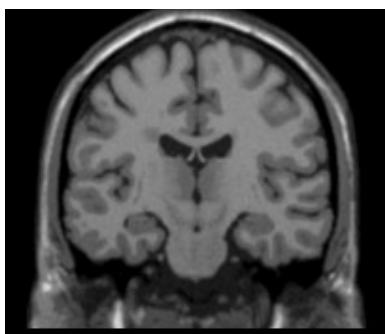
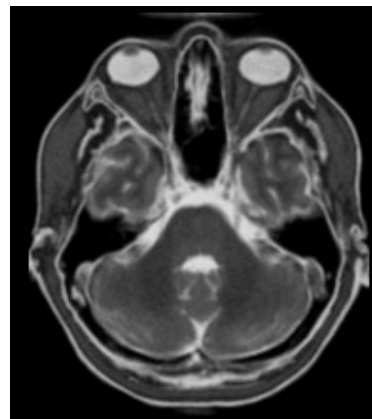
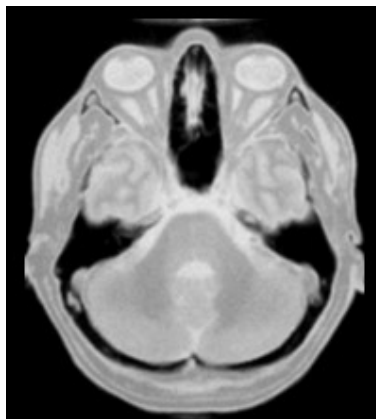
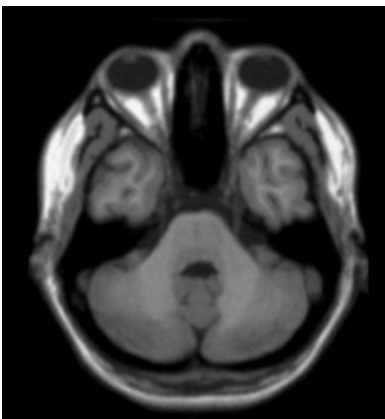
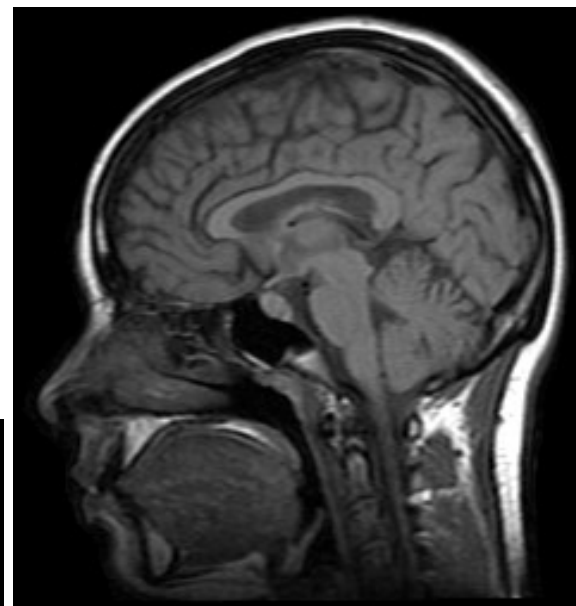
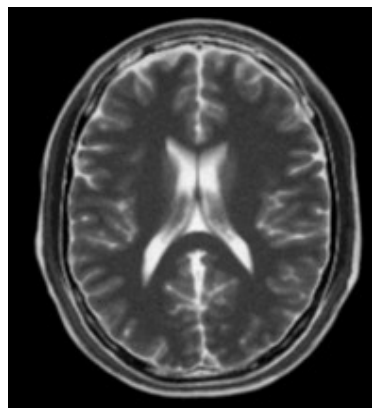
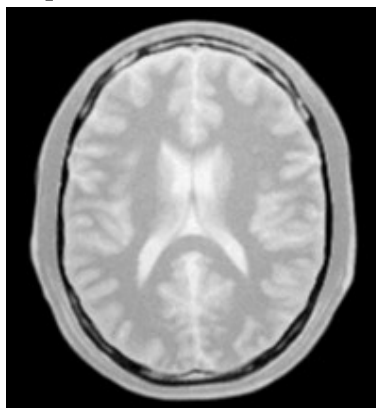
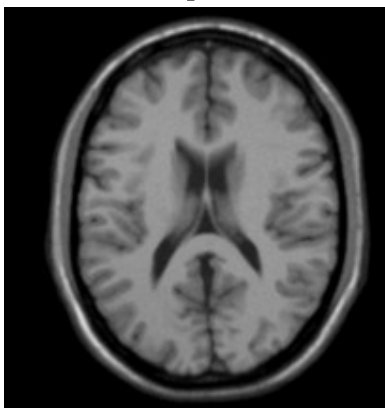
■ Description de la séquence



Répétition autant de fois qu'il ya de lignes

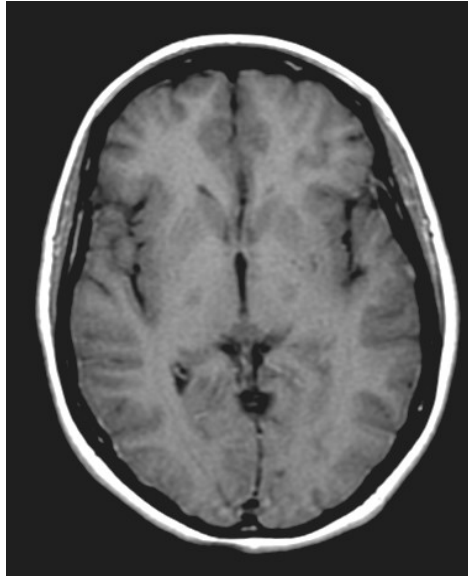
2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

2.4- Quelques exemples

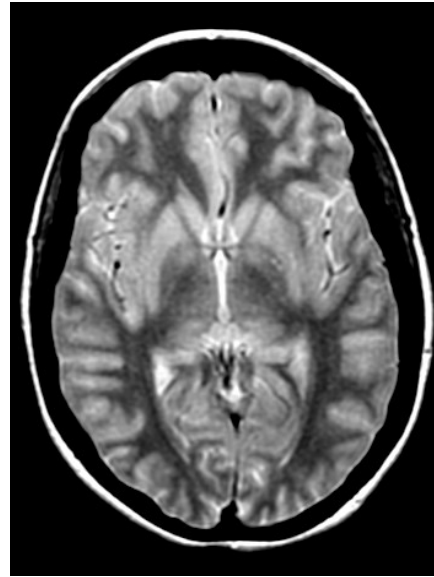


2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

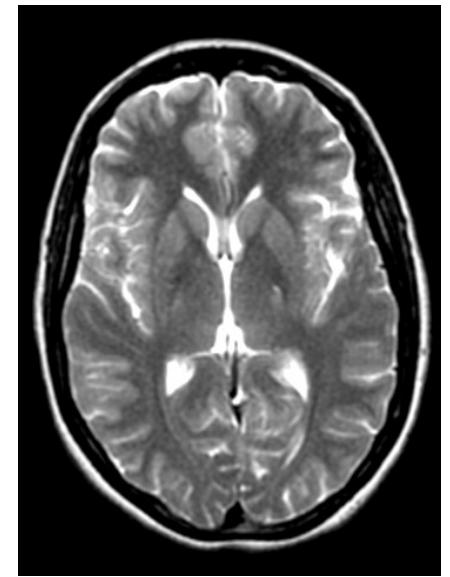
2.4- Quelques exemples



TR 480
TE 10



TR 5000
TE 10



TR 5000
TE 103

Pondération:

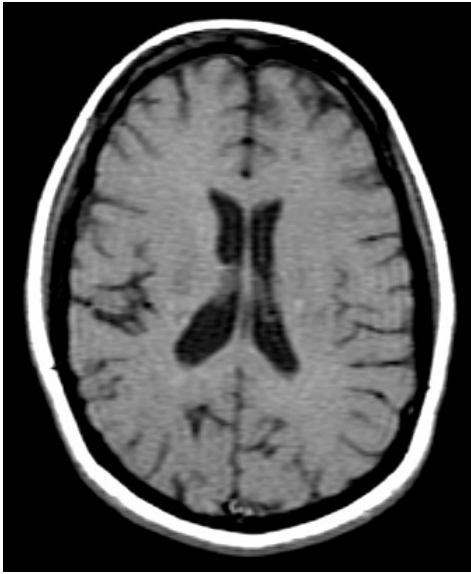
T1

ρ

T2

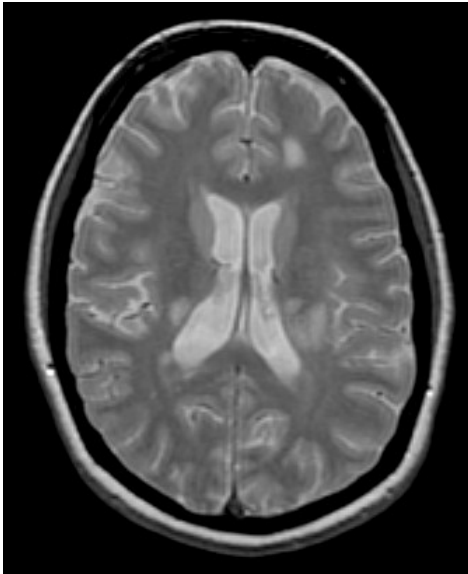
2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

2.4- Quelques exemples



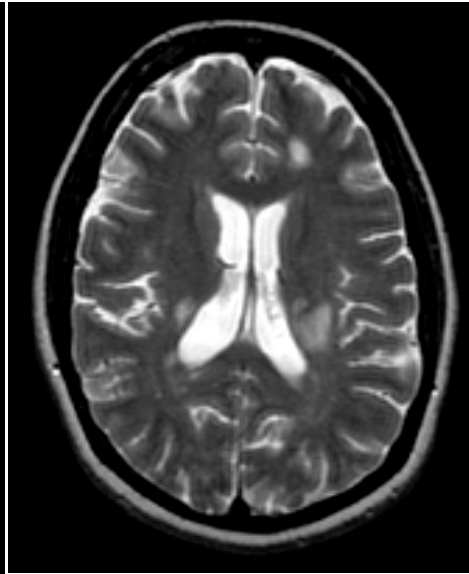
TR 580
TE 10

T1



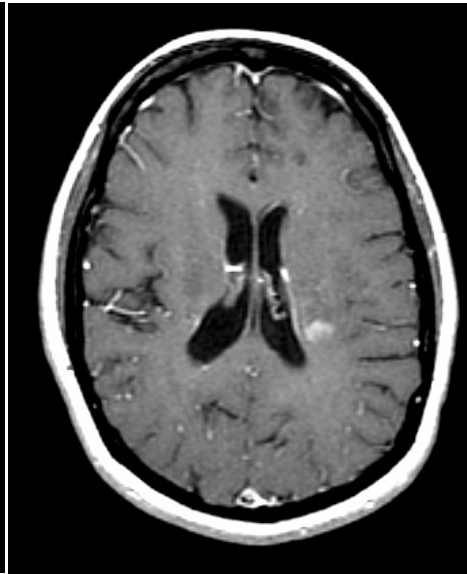
TR 3000
TE 14

ρ



TR 3000
TE 82

T2



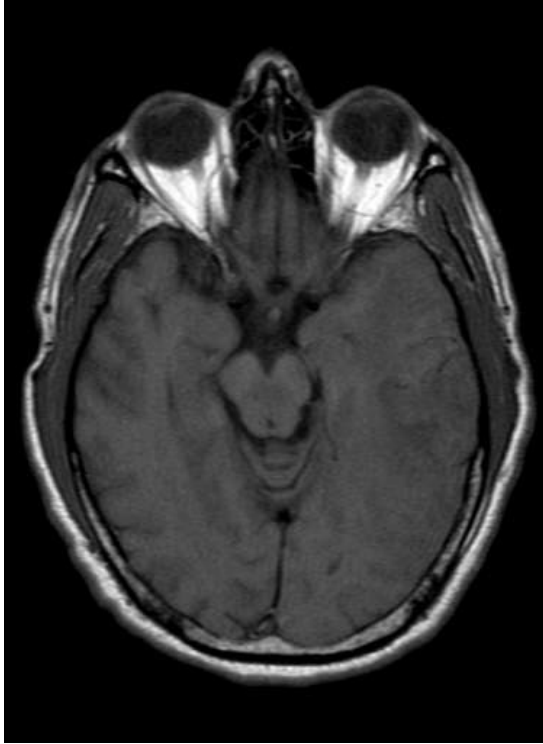
TR 580
TE 10

T1+contraste

Pondérations:

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

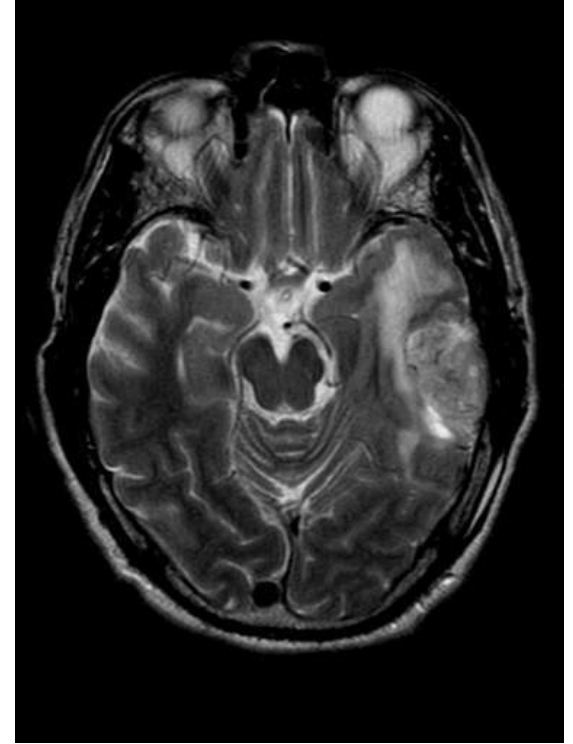
2.4- Quelques exemples



TR 450
TE 20



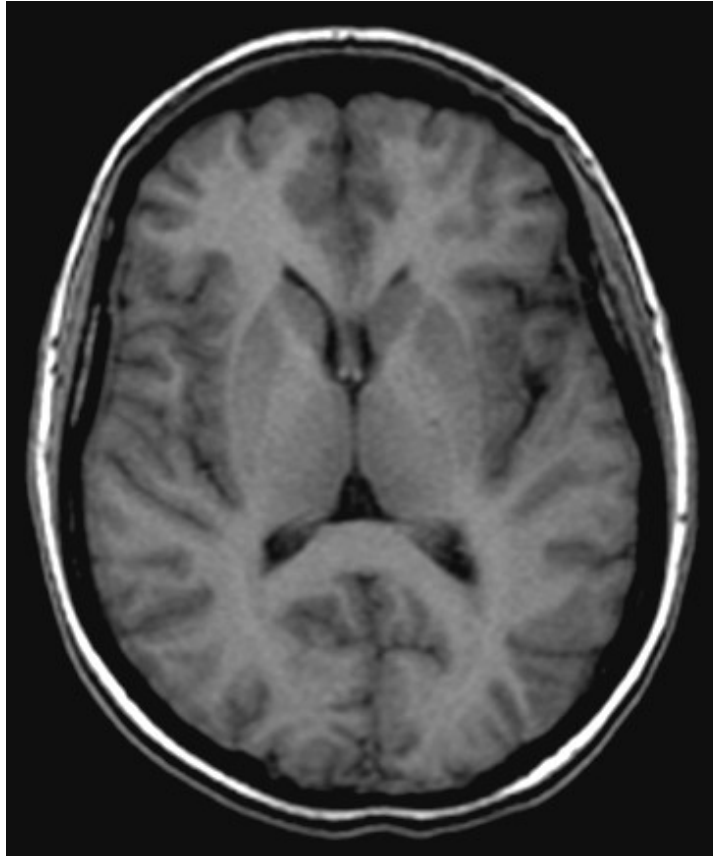
TR 450
TE 20



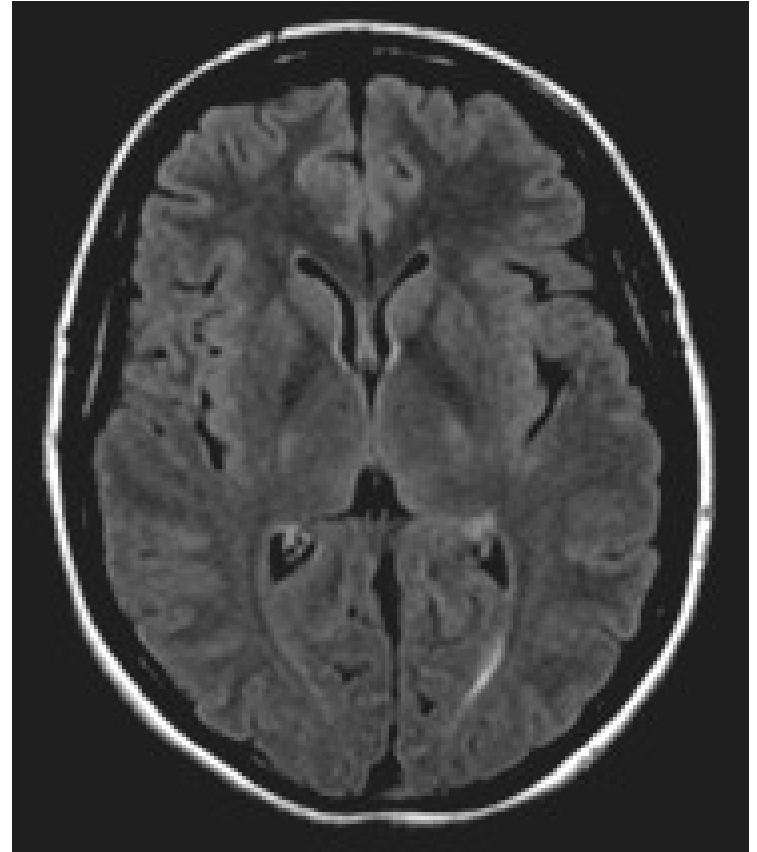
TR 4000
TE 120

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

2.3- Quelques exemples



TR=7 ms
TE= 1,7 ms
Echo de gradient

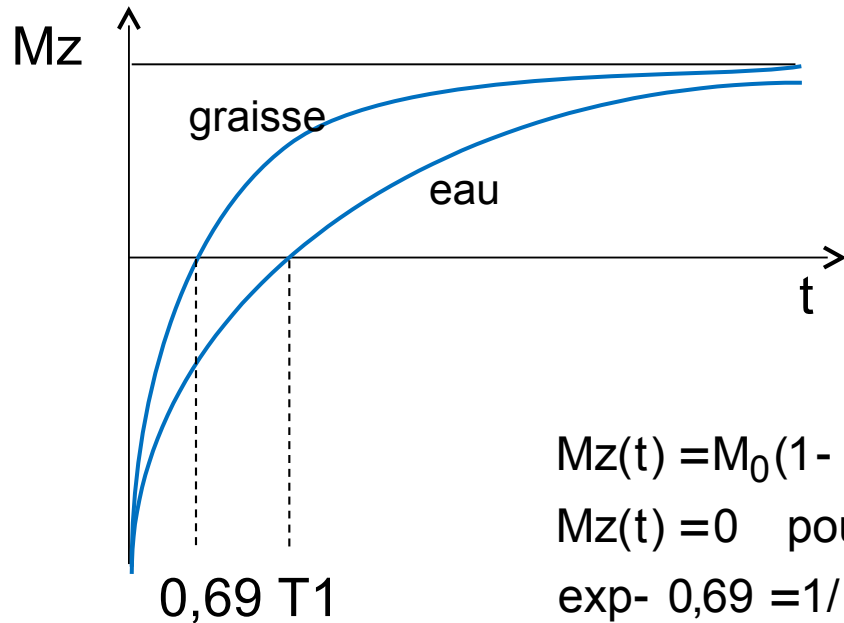


TR=1000 ms
TE= 147 ms
TI= 2200

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

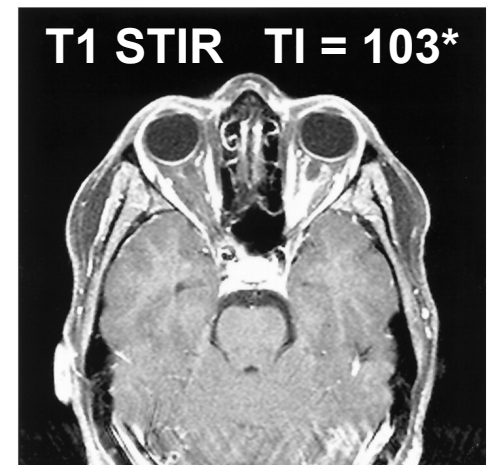
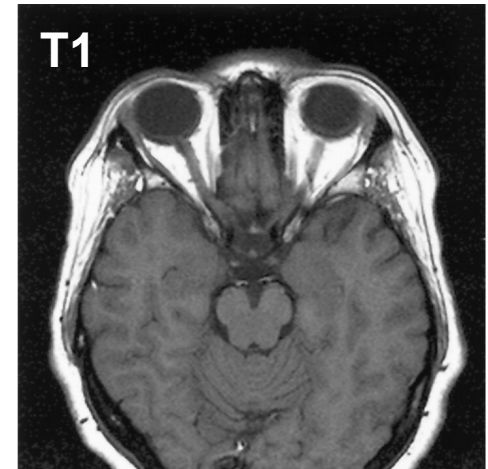
2.4- Quelques exemples: séquences d'inversion récupération

Bascule π , TI temps d'inversion puis $\pi/2$ echo...



$$M_z(t) = M_0(1 - 2 \exp^{-\frac{t}{T_1}})$$
$$M_z(t) = 0 \text{ pour } T_1 = 0,69 \cdot T_1$$
$$\exp^{-0,69} = 1/2$$

- Séquence STIR (Short T inversion recovery)
TI = 0,69.T1 graisse



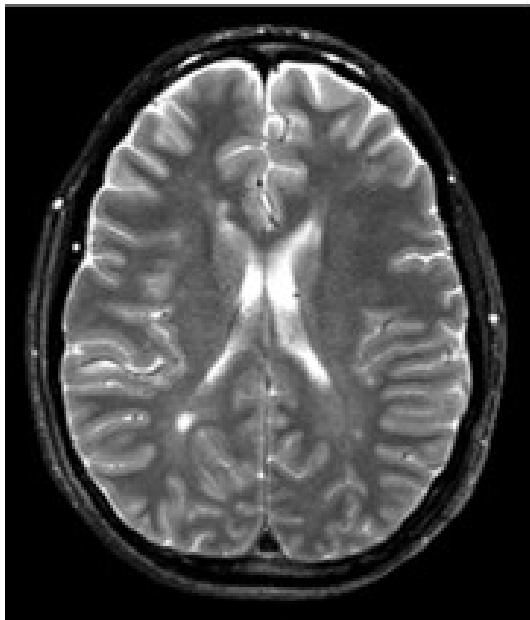
***suppression de la graisse**

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

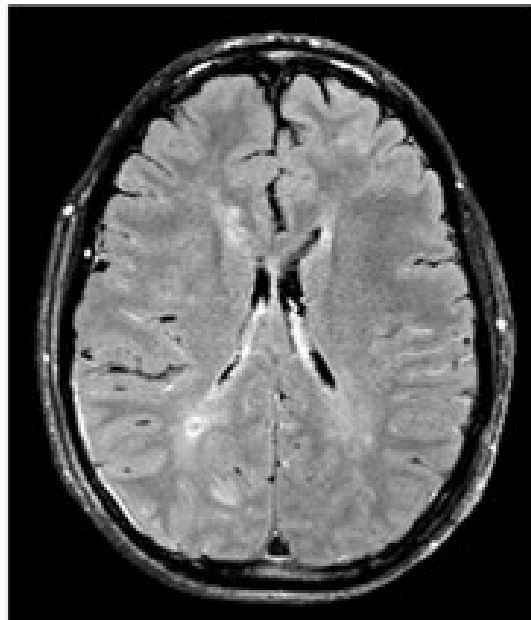
2.4- Quelques exemples: séquences d'inversion récupération
Bascule π , T1 temps d'inversion puis $\pi/2$ echo...

- Séquence T2 FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery)
Annulation LCR

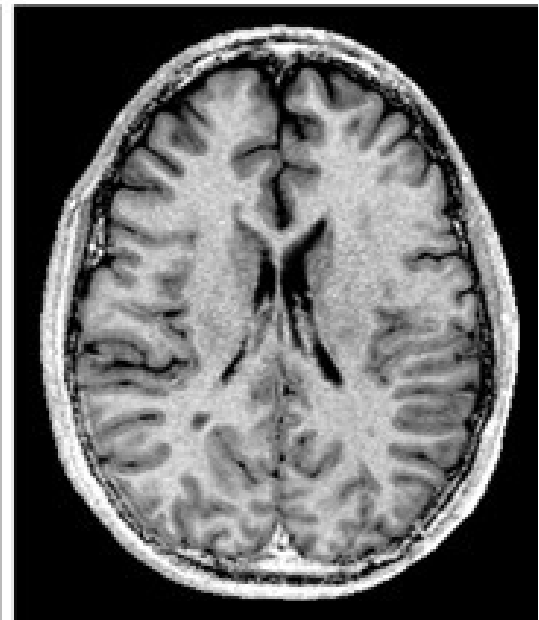
T2



T2 FLAIR



T1 (Gd)



Expliquer l'extrait suivant (Ref: Principes physiques. IRM cardiaque. Chambron)

« Un noyau d'hydrogène se comporte comme un petit aimant de moment magnétique μ_i .

En l'absence de champ magnétique externe, la résultante $\Sigma\mu_i$ appelée aimantation macroscopique est nulle.

Par contre, placé dans un champ d'induction électromagnétique B_0 , un excès de protons dont le moment est dirigé dans le sens de B_0 , précessionne autour de B_0 à la vitesse angulaire $\omega_0 = \gamma B_0$.

Il y a une aimantation macroscopique M non nulle.»

1- $\mu_i = \gamma \hbar I$ nombre quantique de spin non nul ($=1/2$) (1)

2- $M = \Sigma\mu_i = 0$ car orientation aléatoire (1)

3 – Phase de précession (1)

Deux directions de précession (parallèle et anti-parallèle) (1)

« excès de proton » (5/1 million) sens parallèle (1)

$M = \Sigma\mu_i \neq 0$ (1)

Vitesse = la **relation de Larmor** $\omega_0 = \gamma B_0$. (1)

Dépend du champ B_0 et des propriétés gyromagnétiques du proton γ (2)

Expliquer l'extrait suivant (Ref: Cranial and spinal MR)

« *La séquence la plus utilisée comporte une impulsion à 90° qui incline le vecteur magnétisation à 90° du champ magnétique suivie d'une impulsion à 180° qui restaure la cohérence.* »

Séquence écho de spin (1)

Bascule 90° = résonance (1) onde radiofréquence; fréquence de Larmor (1)

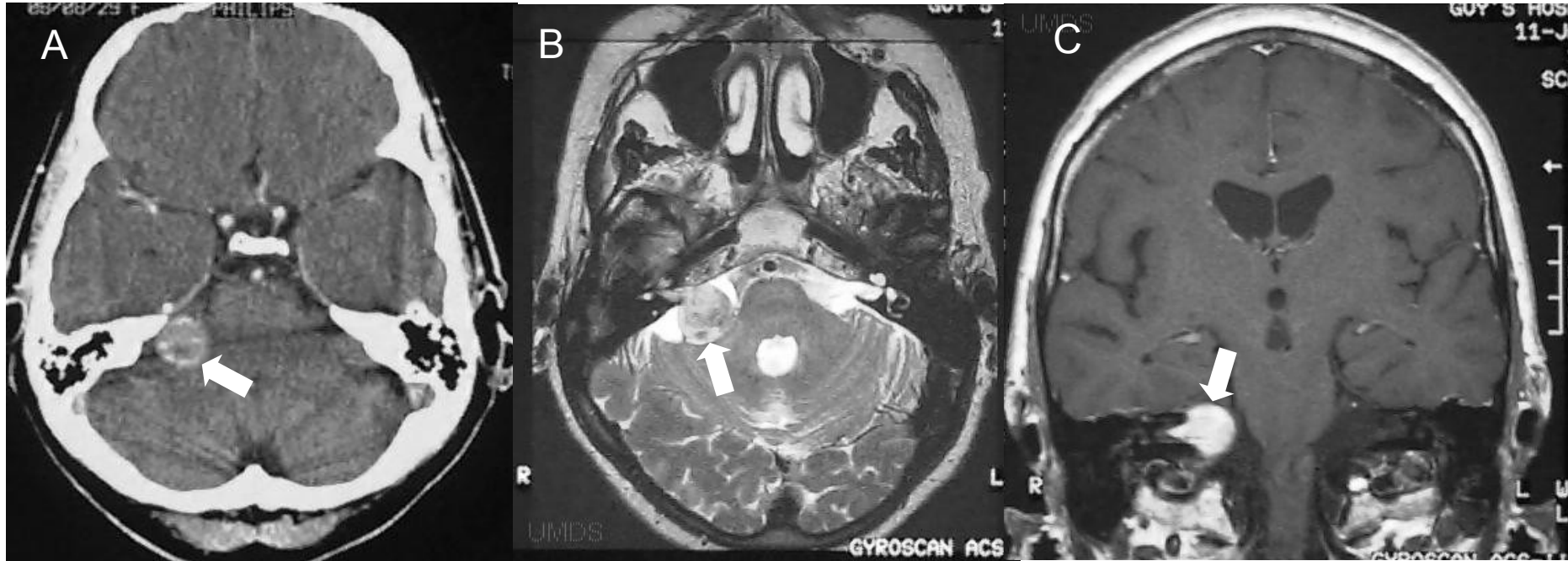
Spontanément: déphasage dû aux inhomogénéités (incohérences) (1)

décroissance en $T2^*$ (1)

Bascule 180° dans le plan xoy (1) corrige le déphasage des spins (2)

Passage simultané devant l'antenne = écho (2)

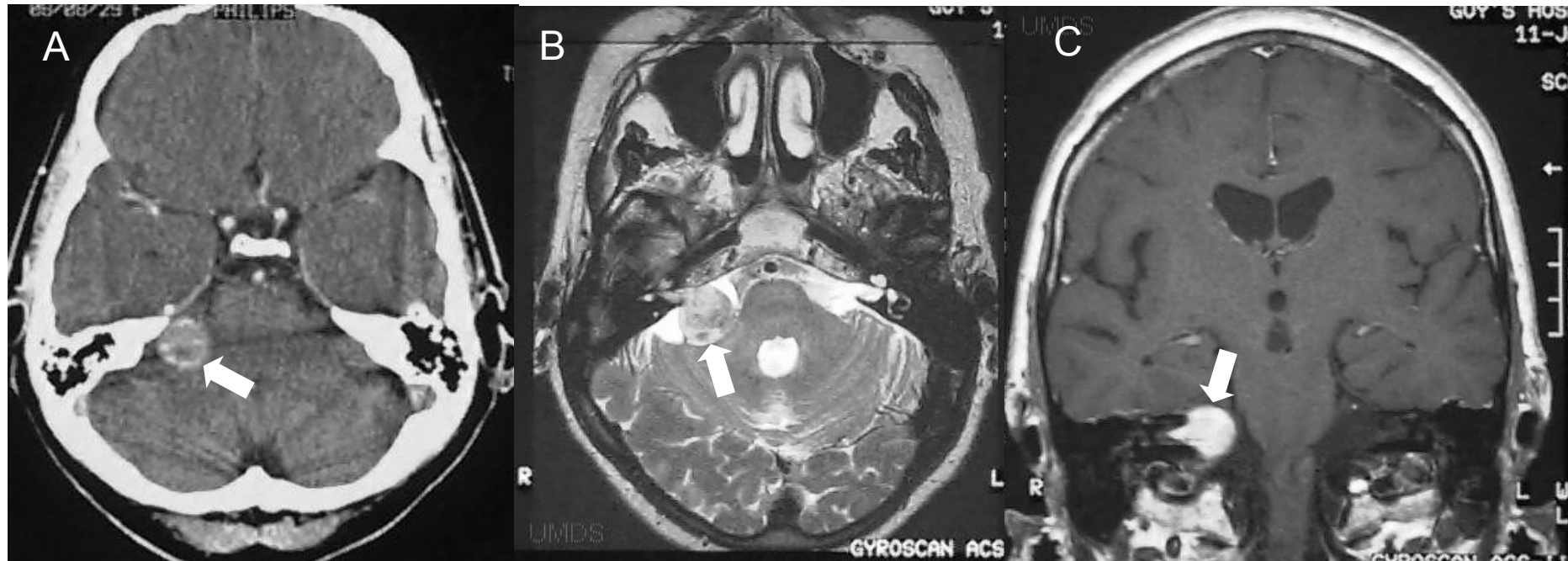
Ce patient présente un neurinome (tumeur bénigne) du nerf auditif droit.
La lésion est repérée par les flèches.



TR=2000 TE=120

TR=600 TE=20

- 1- Identifier les trois images présentées?
- 2- Décrire et expliquer le contraste de la lésion dans chaque image.



TR=2000 TE=120

TR=600 TE=20

- 1-A TDM (2)
- Avec injection de produit de contraste iodé (Z élevé) (1)
- B IRM pondérée en T2 (2)
- C IRM pondérée en T1 ; plan coronal (3)
- + contraste gadolinium (1)
- 2- A lésion hyperdense car prenant le contraste iodé; forte atténuation Rx (2)
- B Hyposignal/LCR; T2 < LCR (2)
- C Hypersignal; T1 court (spontané ou prise de contraste) (2)

2- Imagerie par résonance Exemples de questions

Données techniques:

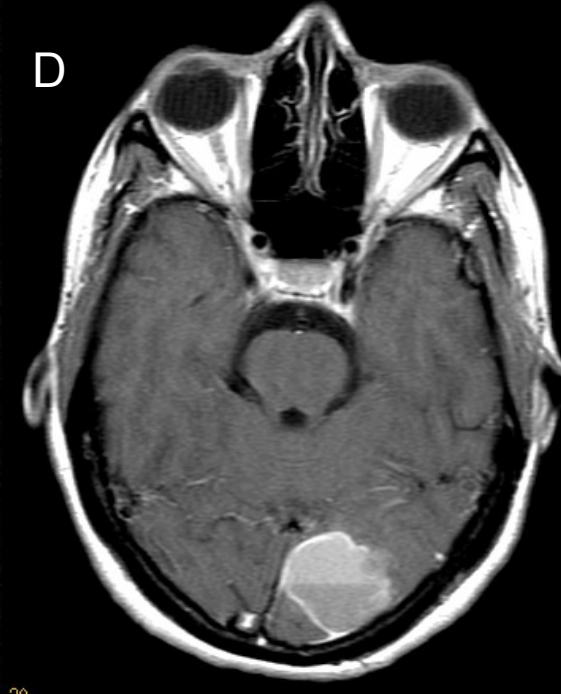
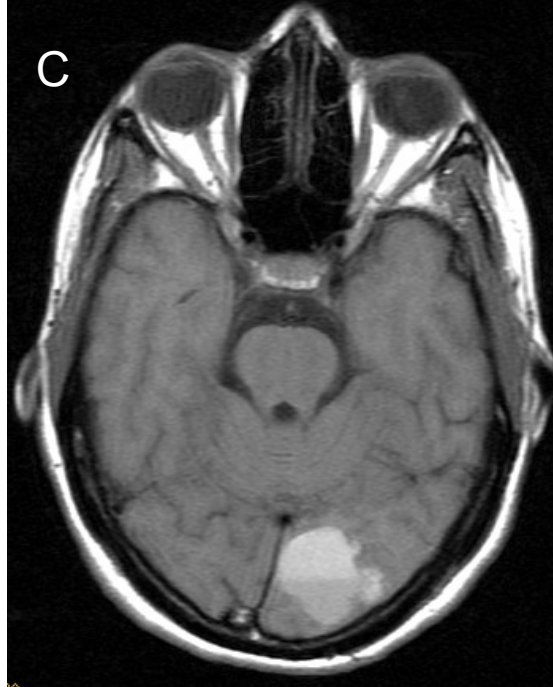
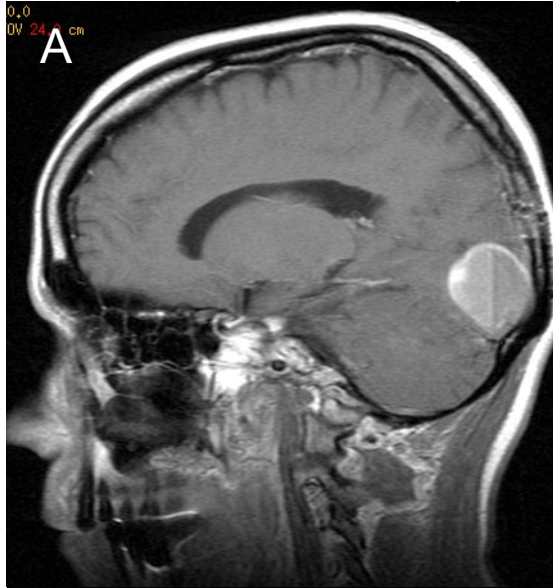
A: TR=600 TE=10

B: TR=4000 TE=101

C: TR=400 TE=10

D: TR=400 TE=10

- 1- Caractérisez les images.
- 2- Décrivez et interprétez la lésion occipitale



2- Imagerie par résonance Exemples de questions

Données techniques:

A: TR=600 TE=10

B: TR=4000 TE=101

C: TR=400 TE=10

D: TR=400 TE=10

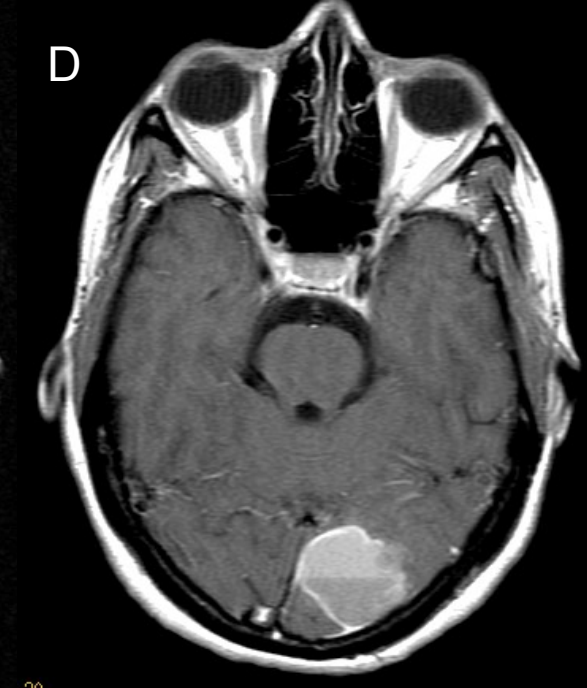
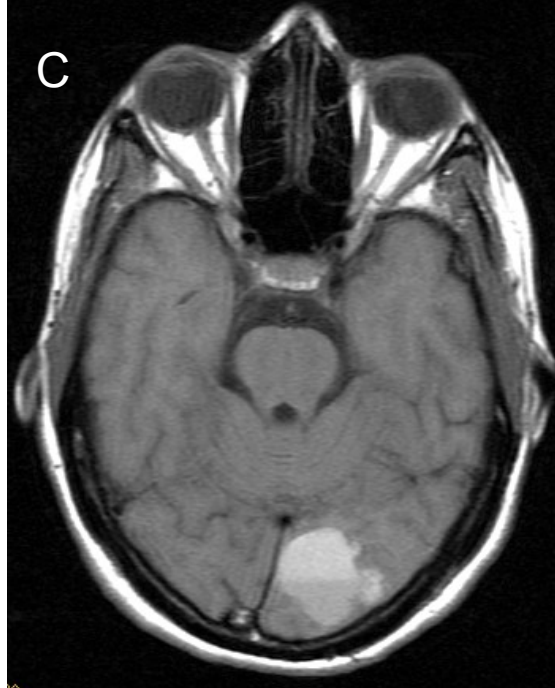
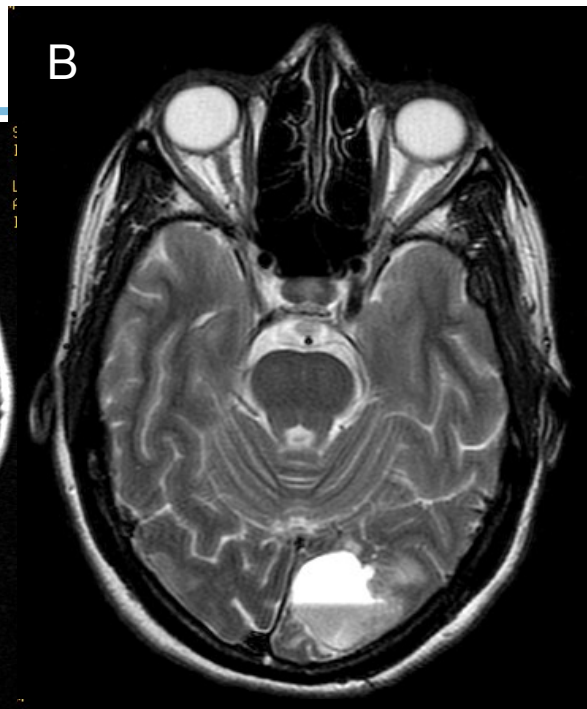
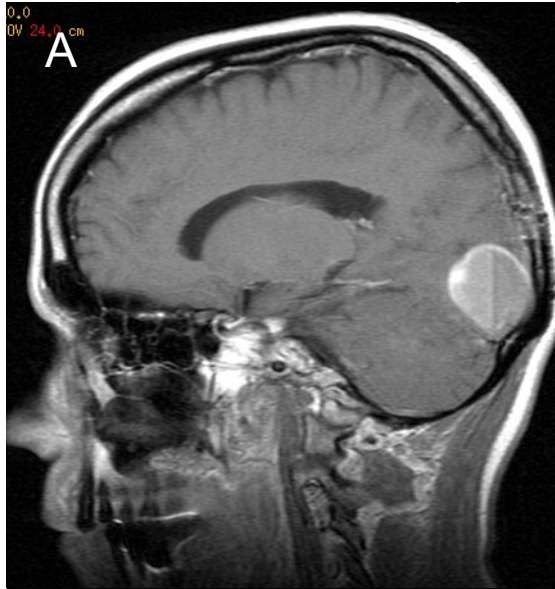
1- Caractérisez les images.

A Sagittale T1 (1)

B Transverse T2 (1)

C Transverse T1 (1)

D Transverse T1 + Gado (1)



2- Imagerie par résonance Exemples de questions

Données techniques:

A: TR=600 TE=10

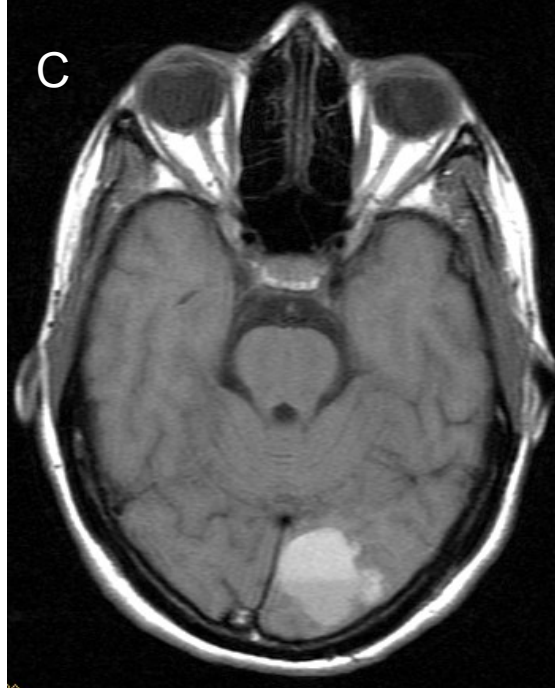
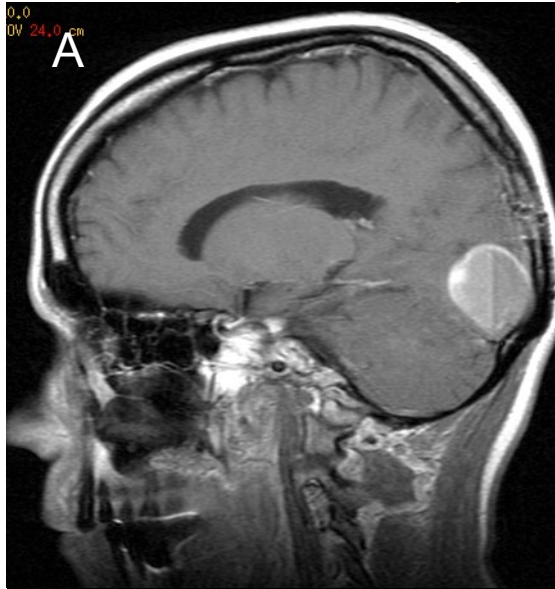
B: TR=4000 TE=101

C: TR=400 TE=10

D: TR=400 TE=10

2- Décrivez et interprétez la lésion occipitale

- Occipitale gauche (1)
- Niveau liquide (1)
- Partie sup hyper T1 (1)
- hyper ++ T2 (1)
- T1 court et T2 long (2)
- Partie inf hypo T1 (1)
- hypo T2 (2)
- T1 long et T2 court (2)
- Sur D hyper signal periph (T1 raccourci) par prise de contraste) (1)



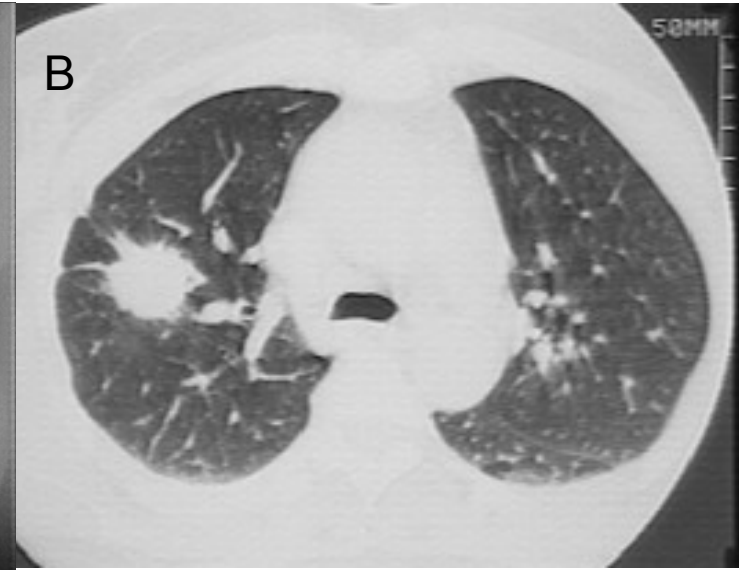
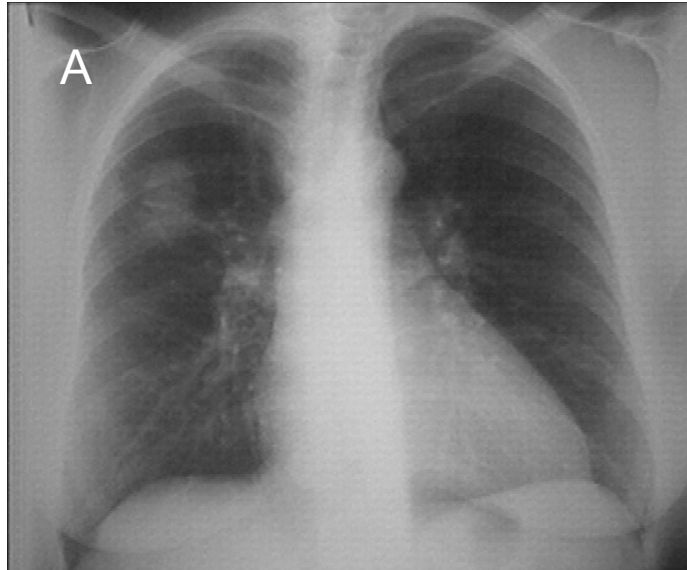
2- Imagerie par résonance Exemples de questions d'examen

Données techniques:

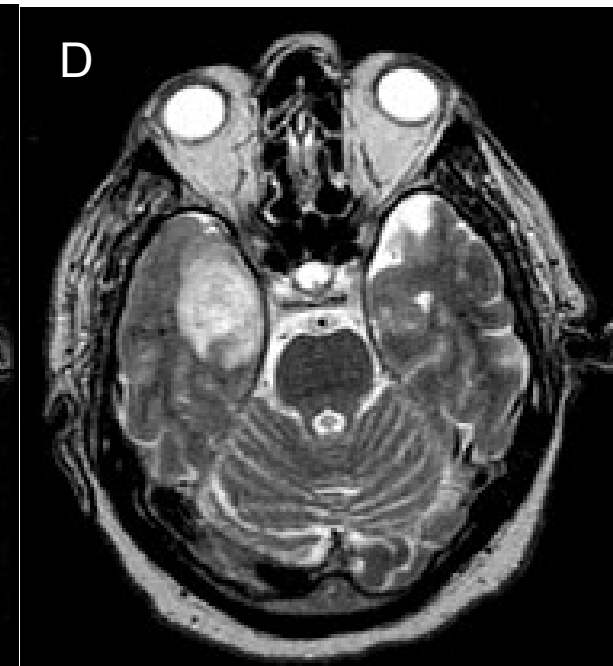
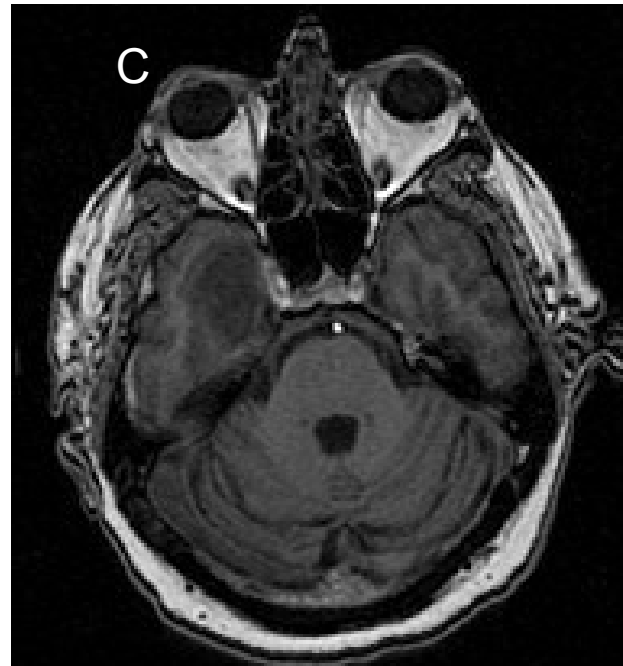
B: L = -420 W= 1000

C: TR 580 TE 10

D: TR 5000 TE 104



Vous disposez des examens suivants réalisés chez un patient fumeur présentant des signes neurologiques.



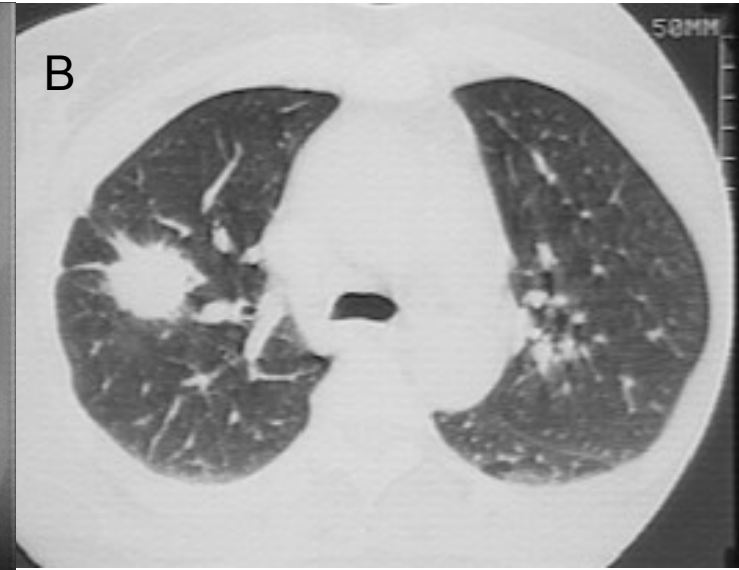
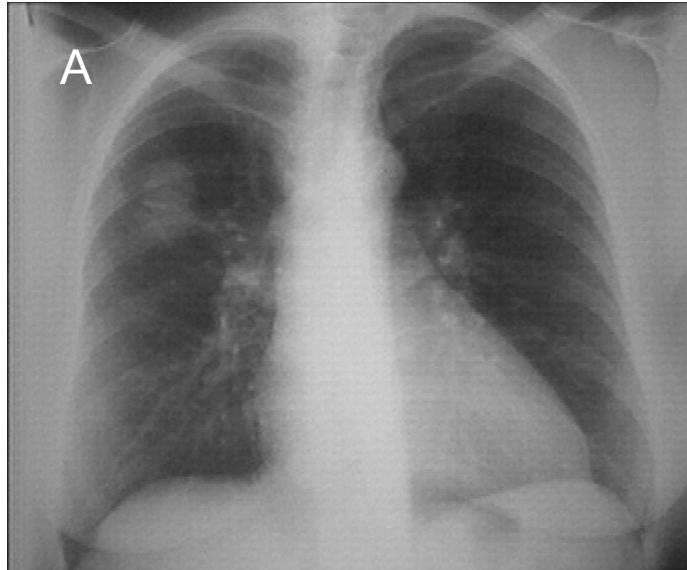
2- Imagerie par résonance Exemples de questions d'examen

Données techniques:

B: L = -420 W= 1000

C: TR 580 TE 10

D: TR 5000 TE 104



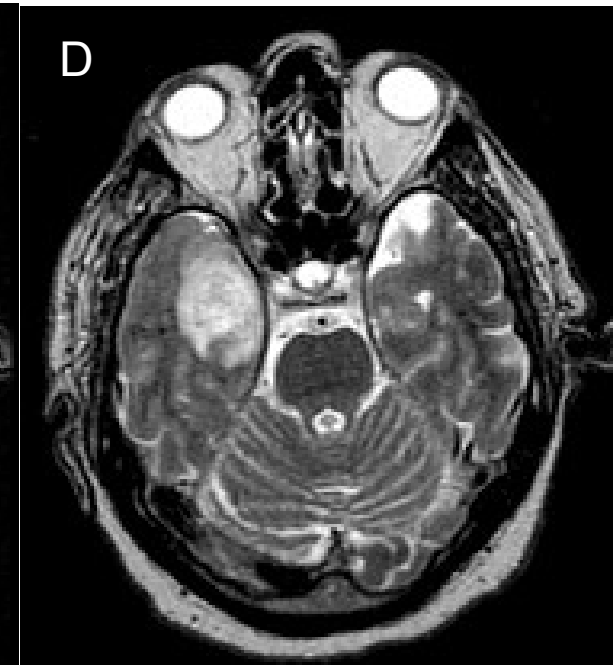
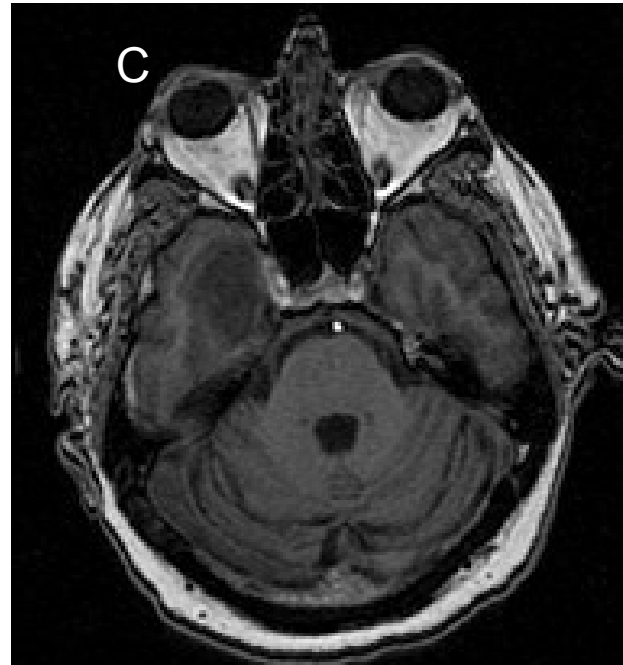
1- Que représente l'image A?

2- Que signifie la légende de l'image B ?

3- Décrire au plan physique l'anomalie principale sur l'image B.

4- Identifier les pondérations des images IRM.

5- Décrire au plan physique l'anomalie IRM principale et expliquer les contrastes observés.



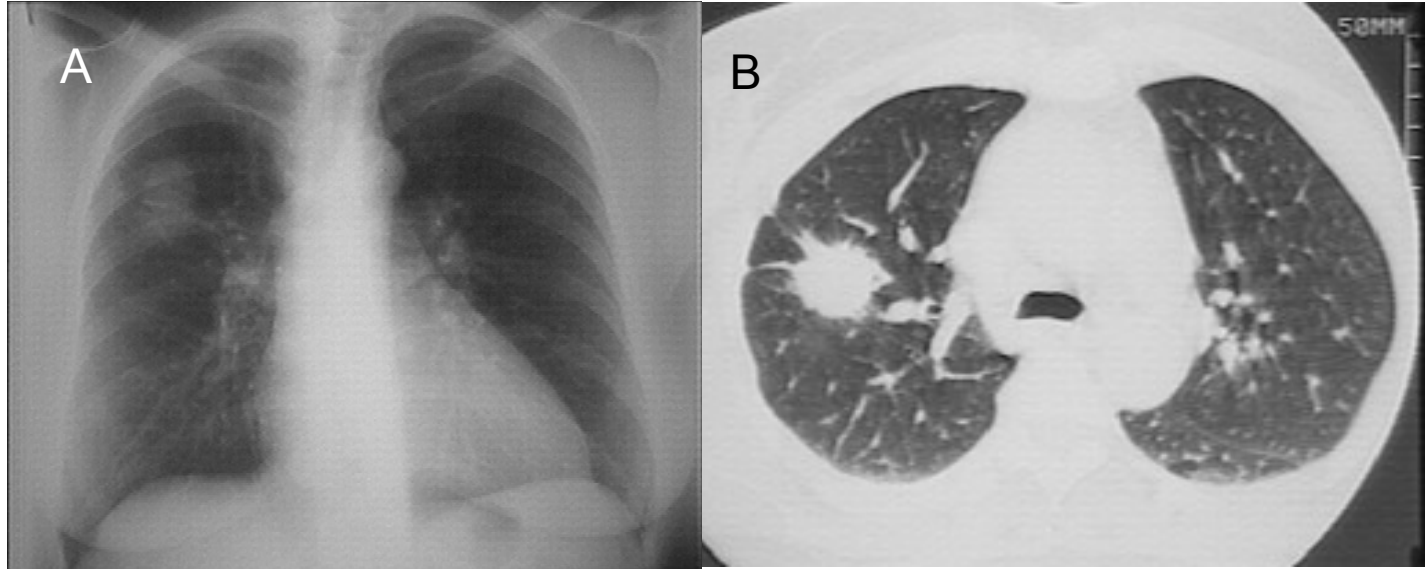
2- Imagerie par résonance Exemples de questions d'examen

Données techniques:

B: L = -420 W= 1000

C: TR 580 TE 10

D: TR 5000 TE 104



1- *Que représente l'image A?*

Radio du thorax de face (planaire) (1) rayons X (1) opacité poum droit (+1)

2- *Que signifie la légende de l'image B ?*

Fenêtrage de la TDM (1)

Centré sur -420 UH; entre -920 et +80 UH; décalée vers l'air; fenêtre pulmonaire (2)

3- *Décrire au plan physique l'anomalie principale sur l'image B.*

Image hyperdense (densité proche de celle des vaisseaux) (1)

Poumon droit (1)

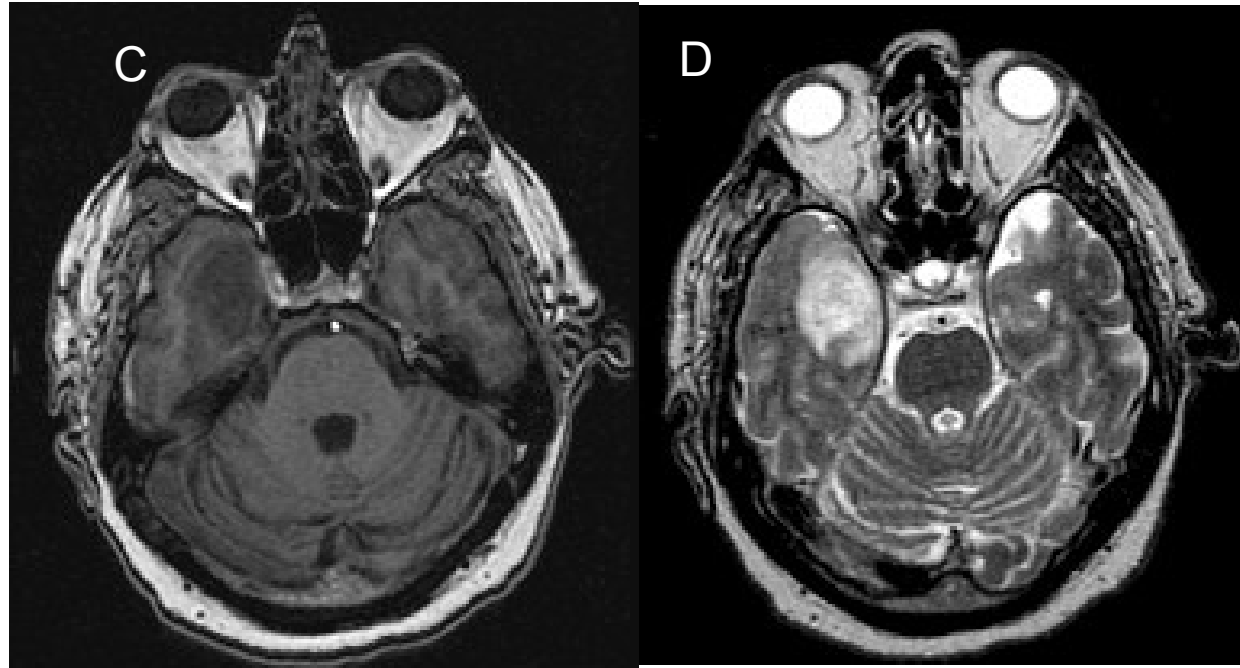
2- Imagerie par résonance Exemples de questions d'examen

Données techniques:

B: L = -420 W= 1000

C: TR 580 TE 10

D: TR 5000 TE 104



4- *Identifier les pondérations des images IRM.*

C T1 (TR et TE courts) et D T2 (TR et TE longs)

(2)

5- *Décrire au plan physique l'anomalie IRM principale et expliquer les contrastes observés.*

Lésion droite (temporale) (1)

Hyposignal T1 (1); Hypersignal T2 (1) par rapport SB

T1 et T2 longs (2) par rapport SB (1)

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

Un patient présente une métastase hépatique.

A et B:

L=50 W=100

C: TR=1600

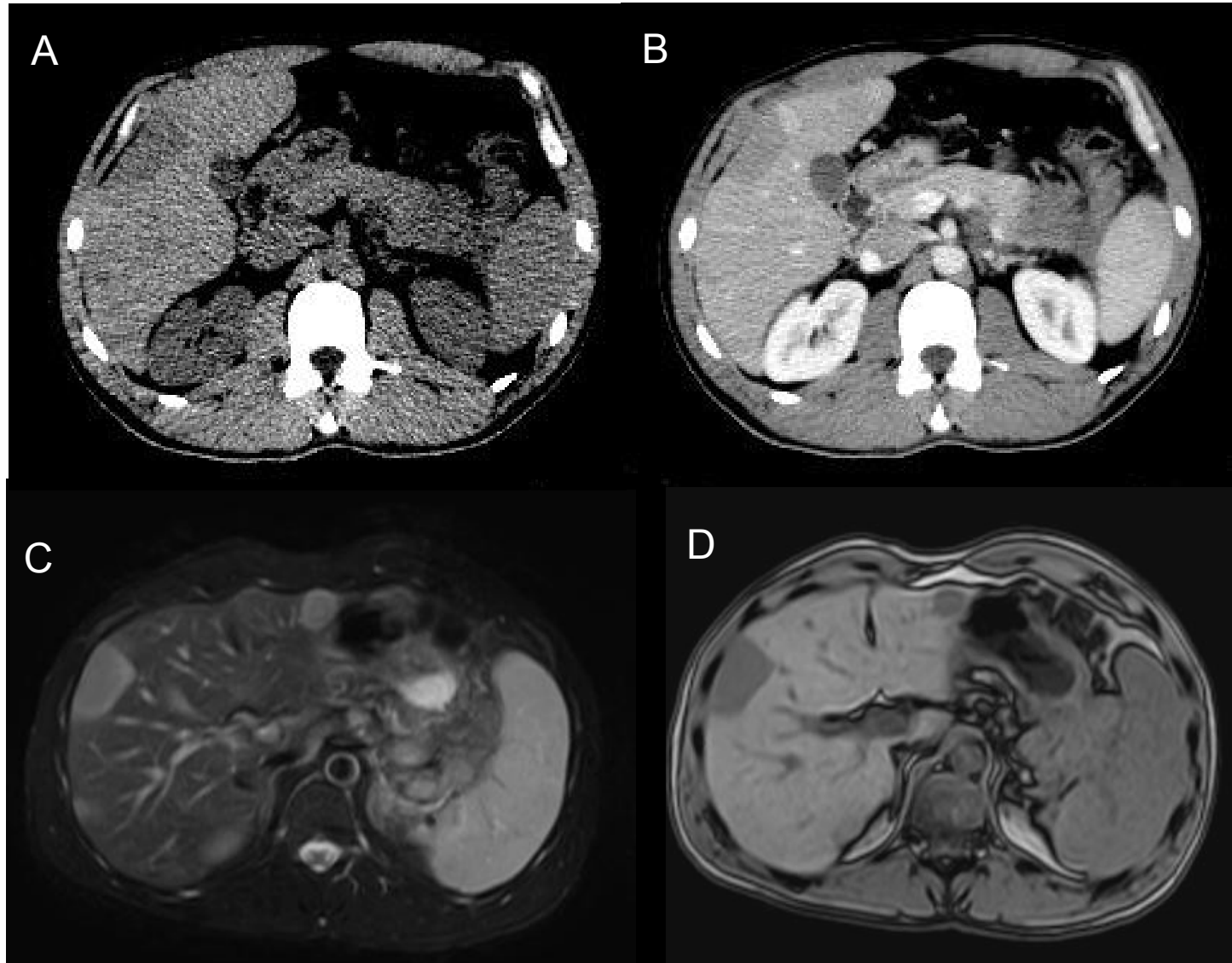
TE=100

D: TR=250

TE=30

1- Identifier les quatre coupes présentées.

2- Décrire au plan physique l'anomalie hépatique sur chacune des coupes.



2- IRM

A et B:

L=50 W=100

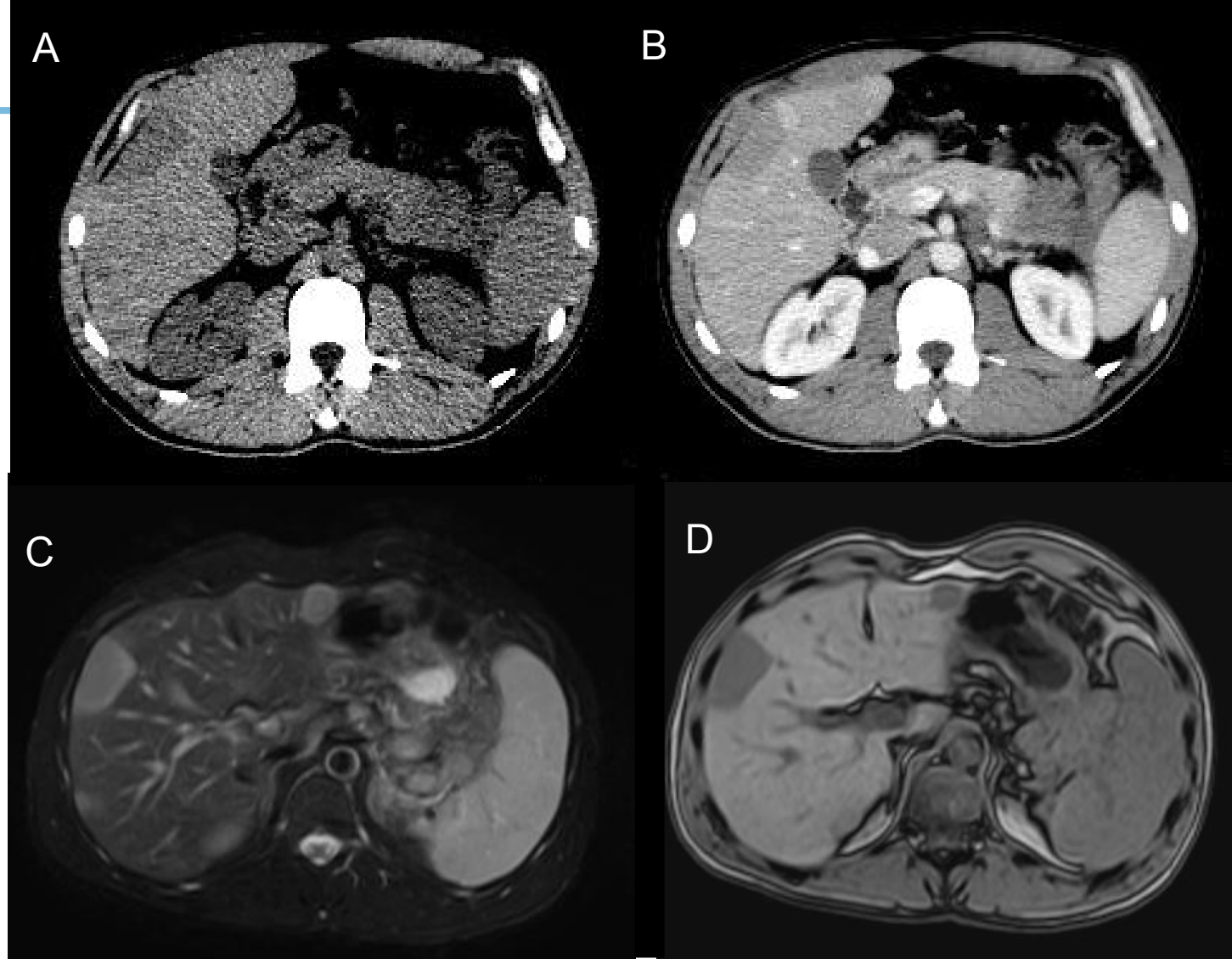
C: TR=1600

TE=100

D: TR=250

TE=30

1- Identifier les quatre coupes présentées.



A TDM hépatique centrée sur 50 UH; de 0 et 100 UH; décalée vers les parties molles(3)

B TDM idem + produit de contraste iodé (Z élevé)

(1)

C IRM T2 et D IRM T1

(2)

2- IRM

A et B:

L=50 W=100

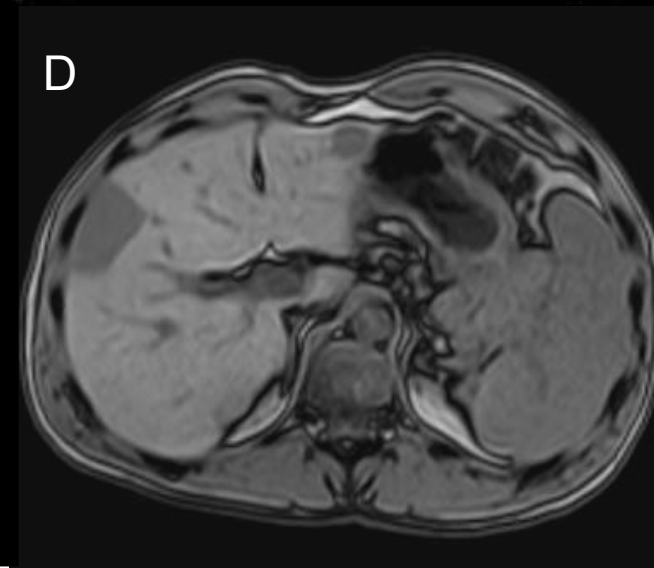
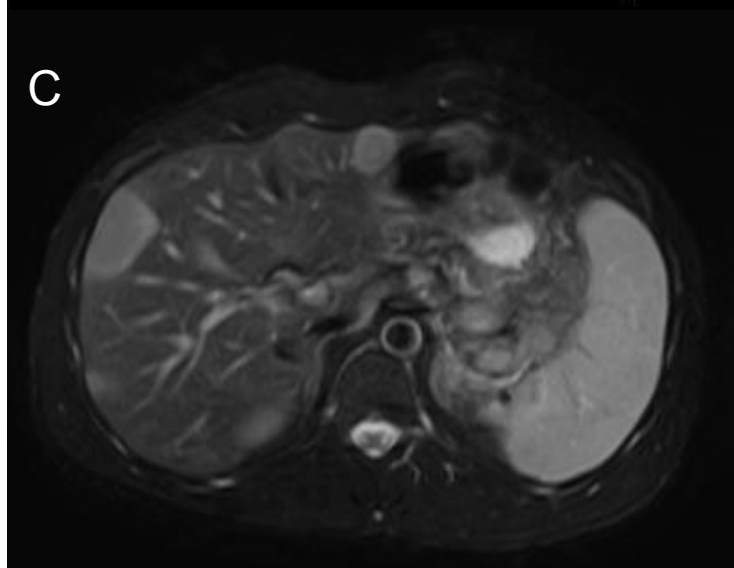
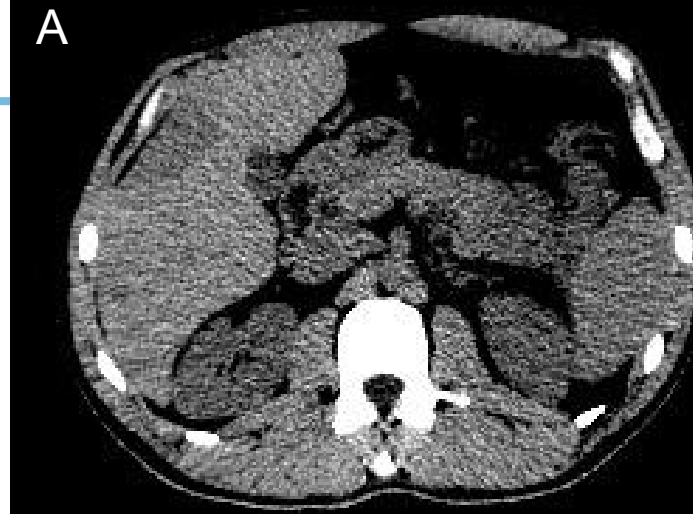
C: TR=1600

TE=100

D: TR=250

TE=30

1- 2- Décrire au plan physique l'anomalie hépatique sur chacune des coupes.



A hypodensité (1)

B hypodensité sans prise de contraste supplémentaire (1)

C hypersignal (1) T2 long (1)

D hyposignal (1) T1 long (1)

Par rapport au foie normal (1)

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

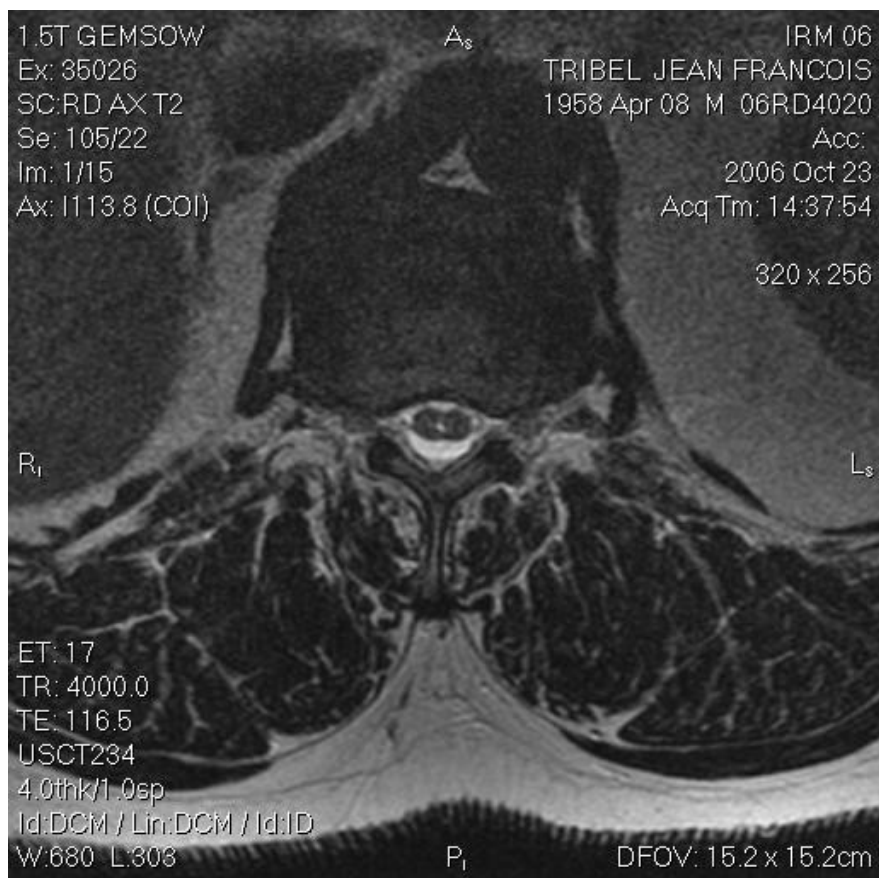
2.4- Quelques exemples



Pondération T1

2- Imagerie par résonance magnétique (IRM)

2.3- Quelques exemples



TR 4000

TE 116



TR 420

TE 9.8