

*Imagerie par Résonance
Magnétique :*
bases physiques

Pr I. Peretti

service de biophysique et médecine nucléaire


CHU Lariboisière

Faculté de médecine Paris-Diderot

DFGSM2 UE2 Biophysique

Généralités sur l'IRM

Un peu d'histoire

- Bloch et Purcell (1946) : RMN
- 1^{ères} applications : spectroscopie par RMN (chimie, biochimie)
- Damadian (1971) :
tissu sain  tissu cancéreux
- Lauterbur (1973) : 1^{ère} image
- 1980 : 1^{ères} images : tête et abdomen

- **Paul C. Lauterbur (né en 1929, USA)**
- **et Peter Mansfield (né en 1933, GB)**

Conjointement

PRIX NOBEL DE MEDECINE 2003

Pour leurs découvertes concernant l'IRM

* Intérêt de l'IRM

- qualité des images (contraste, résolution)
- images tomographiques d'incidence quelconque
- atraumatique
- images plus riches : 3 paramètres principaux, informations sur la structure de la matière
- imagerie anatomique et fonctionnelle

Autres méthodes d'imagerie : 1 paramètre

- **RX**
- **Scintigraphie**
- **Echographie**

* PARAMETRES PRINCIPAUX DE L'IRM

ρ : densité de protons

T_1 : temps de relaxation

T_2 : temps de relaxation

renseignements

▷ MORPHOLOGIQUES

et BIOLOGIQUES

*** Principe Général de l'I.R.M.**

MESURE des propriétés MAGNETIQUES

des tissus biologiques

- Patient soumis à l'action simultanée :

☒ champ magnétique principal B_0 constant

(0,01 à 3 T)

☒ onde radio de durée brève :

impulsion radiofréquence

p. ex. : 21 MHz à 0,5 T

☒ champs magnétiques variables

"gradients" de champ magnétique,
d'intensité beaucoup plus faible
que celle de B_0

remarques :

- **champ magnétique terrestre**

$$1,5 \text{ T} = 30\,000 B_{\text{terr}}$$

- **attraction des objets métalliques**

clefs, ciseaux, ...

C.I. : pace-maker

- **isolation par rapport aux rayonnements électromagnétiques extérieurs**

Première partie : la RMN

Deuxième partie : la formation de l' image

Première partie : la RMN

1

MAGNETISATION

2

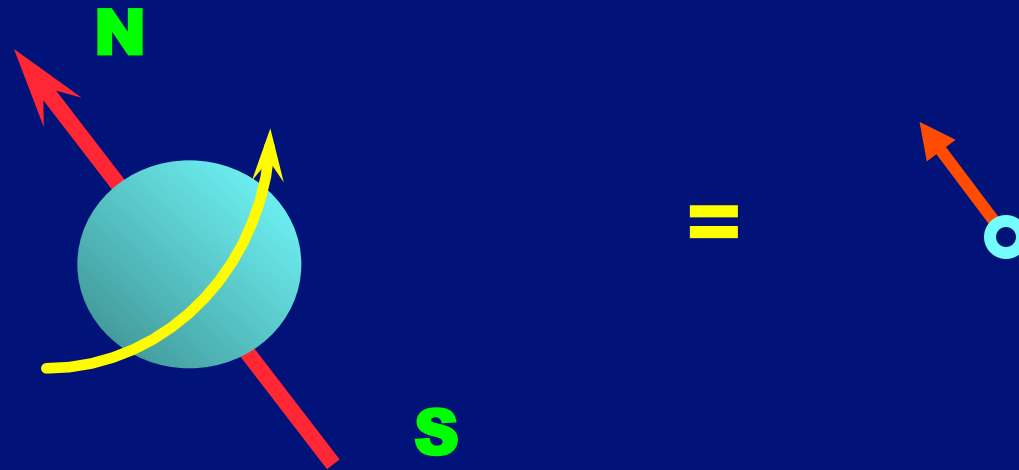
RESONANCE

3

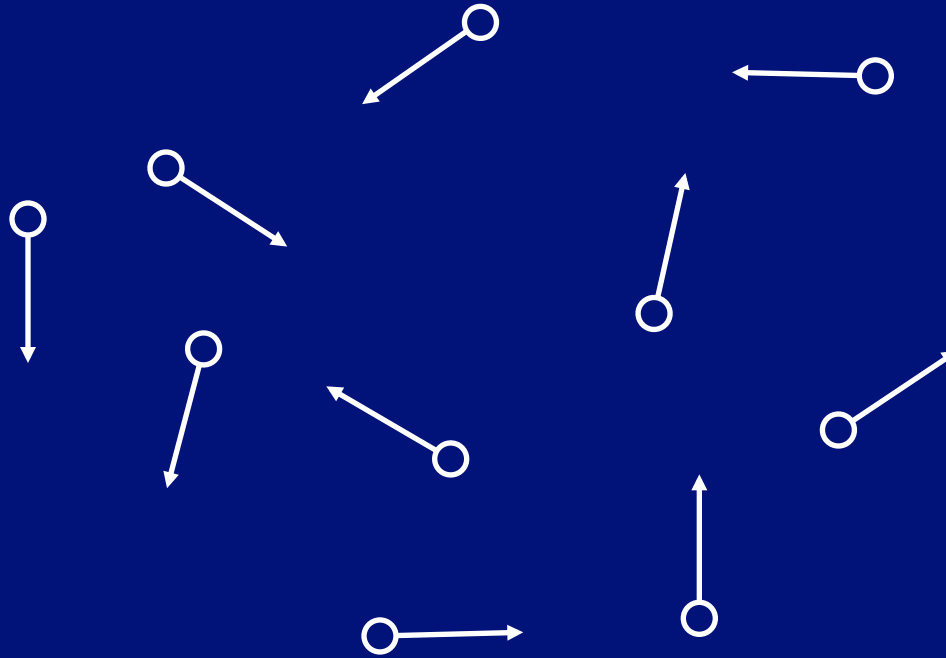
RELAXATION

noyau de l'atome d'hydrogène = proton

spin : rotation intrinsèque  petit aimant



moments magnétiques nucléaires



environnement naturel

aimantation totale : $M = 0$

1

MAGNETISATION

\hbar action de B_0 :

les
protons tournent autour de B_0 à la
fréquence :

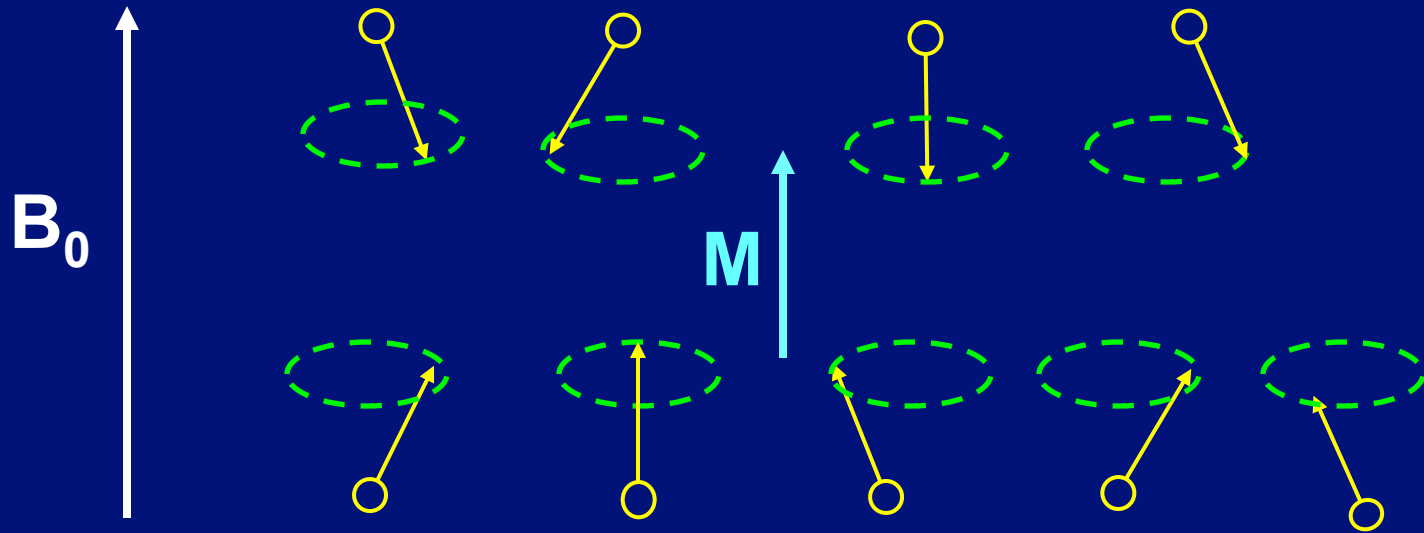
$$f_0 = \hbar B_0 / 2 \hbar$$

fréquence de Larmor

g : rapport gyromagnétique

$$g_{\text{proton}} / 2p = 42,58 \text{ MHz} / \text{T}$$

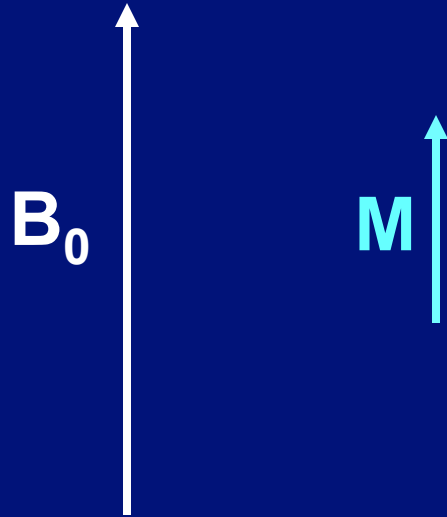
action d'un champ magnétique extérieur uniforme et constant B_0



dans un champ intense B_0

aimantation totale : M non nulle

à l'équilibre :



aimantation M : parallèle à B_0

$$M_L$$

$$M_T = 0$$

2

RESONANCE

\hbar action de l'impulsion radio :

impulsion d'excitation

perturbation de l'état d'équilibre
magnétique

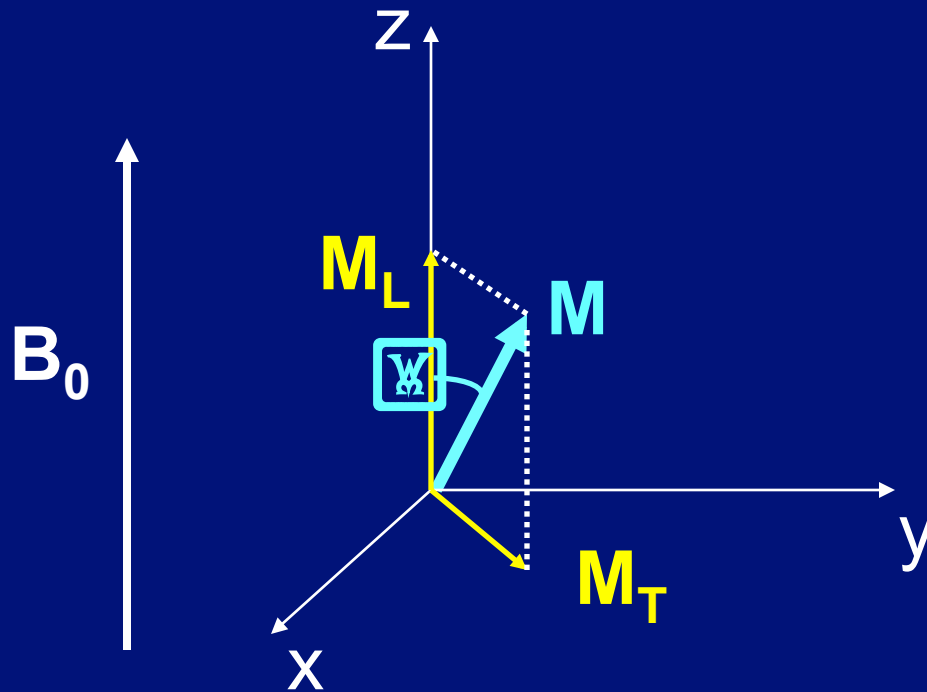
RESONANCE : fréquence de l'onde
radio égale à la fréquence
caractéristique du proton

fréquence de Larmor

$$f_0 = \hbar B_0 / 2 \hbar$$

à l'arrêt de l'impulsion :

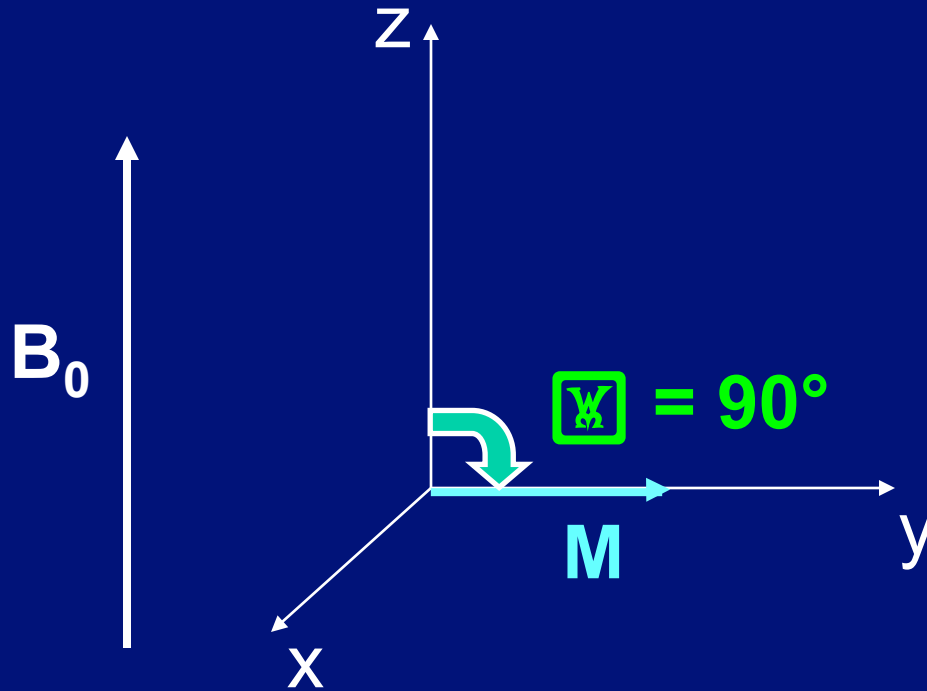
L'aimantation est inclinée, par rapport à B_0 ,
d'un angle Ψ



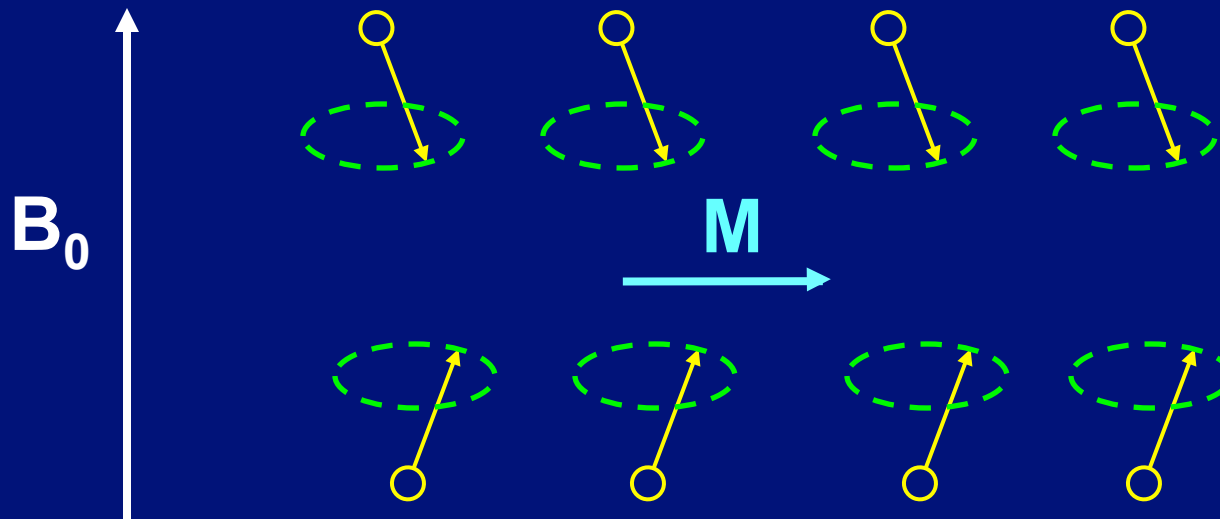
aimantation M

M_L
 M_T

aimantation totale M juste après une impulsion de 90°



moments magnétiques nucléaires juste après une impulsion de 90°



- égalisation
- mise en phase

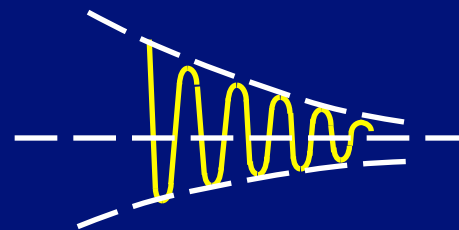
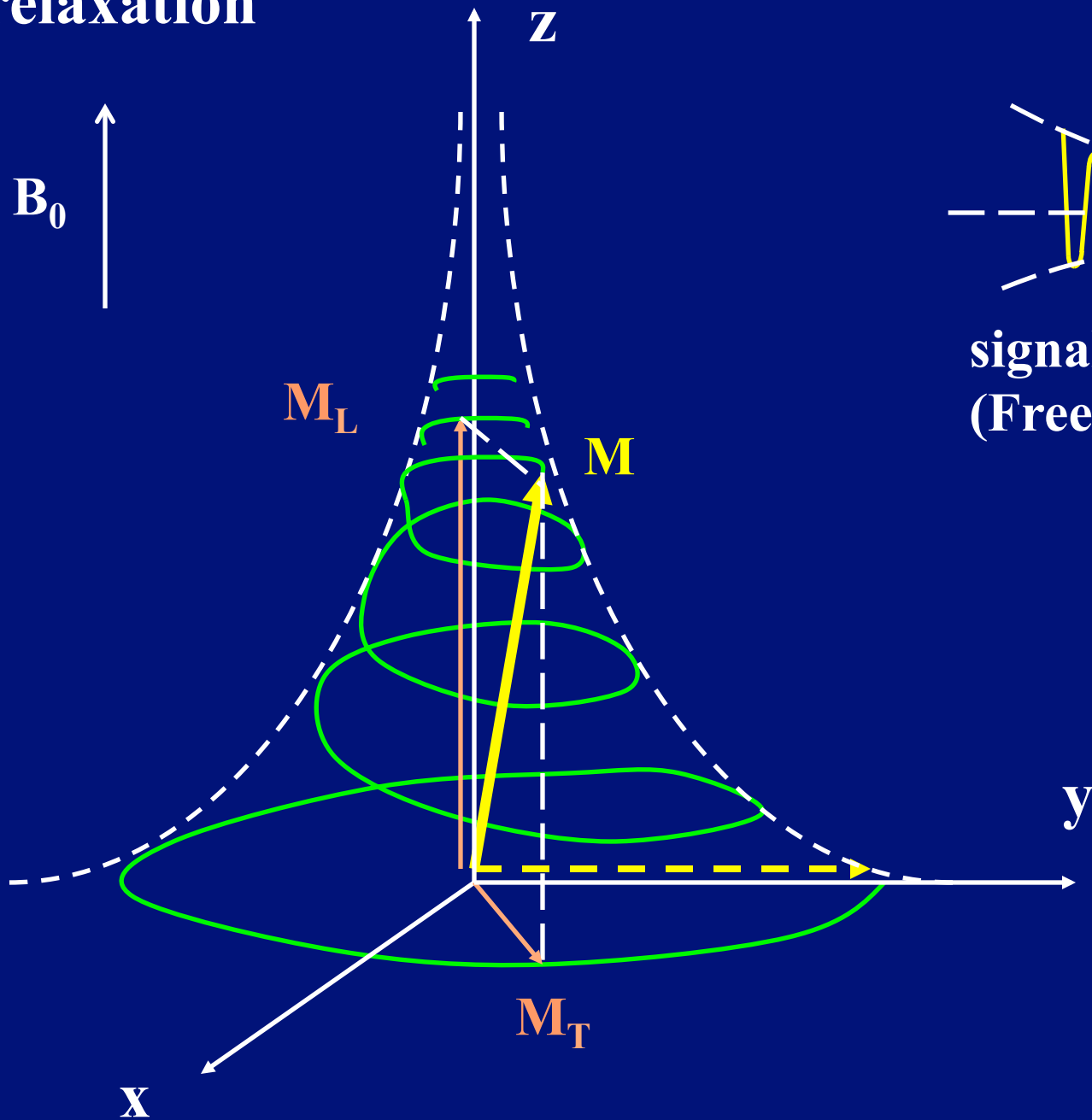
3

RELAXATION

☒ retour à l'état d'équilibre :

la RELAXATION caractérisée
par les temps T_1 et T_2

relaxation



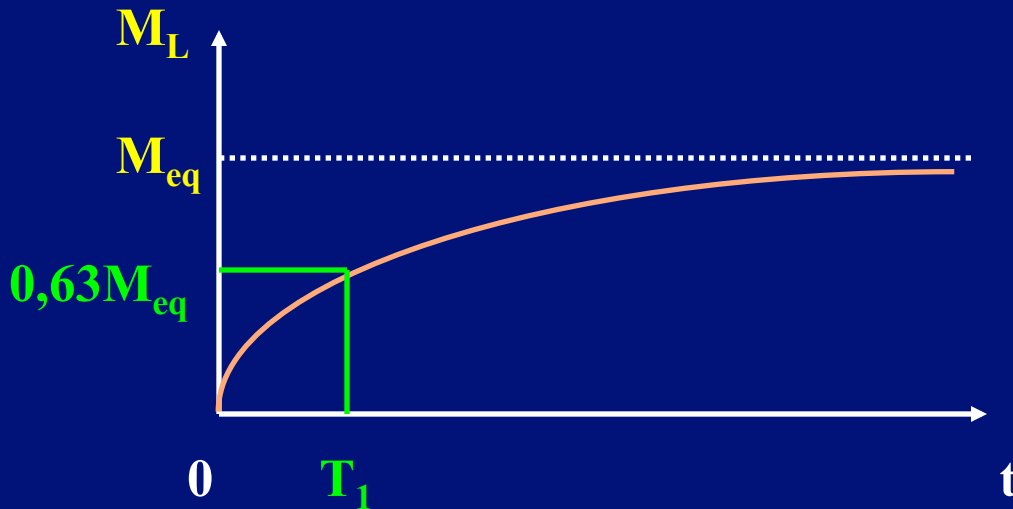
1 – La relaxation de l'aimantation longitudinale

**Après l'arrêt d'une impulsion de 90° ,
 M_L suit la 1ère loi de BLOCH :**

$$M_L = M_{eq} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right)$$

aimantation
longitudinale

valeur à l'équilibre de M_L



T_1 : temps caractéristique
décrivant l'évolution de M_L

(temps mis par l'aimantation
longitudinale pour atteindre
63 % de sa valeur à
l'équilibre M_{eq})

T_1 : temps de relaxation longitudinale

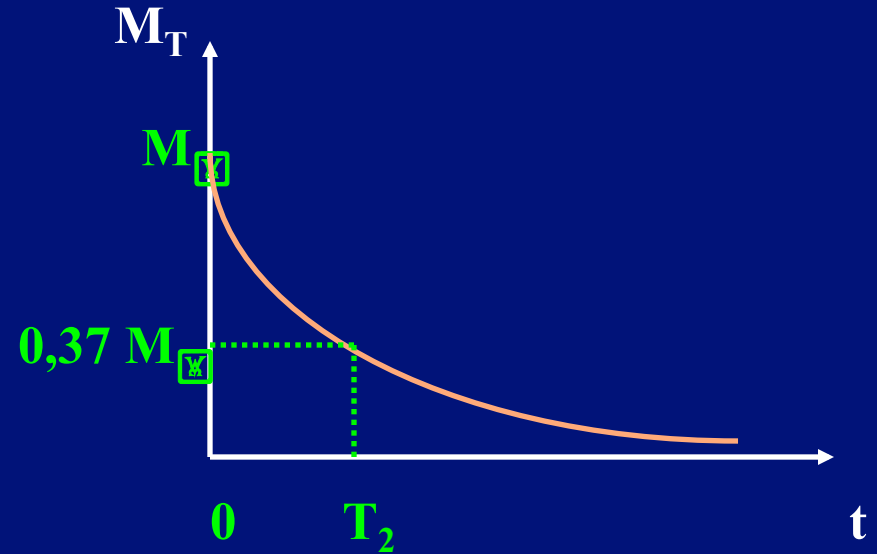
2 – La Relaxation de l'aimantation transversale

du point de vue macroscopique :

M_T suit la 2^{ème} loi de BLOCH

$$M_T = M_{\square} e^{-\frac{t}{T_2}}$$

valeur de M_T à l'instant
choisi comme origine



T_2 : temps caractéristique décrivant l'évolution de M_T
(temps mis par l'aimantation transversale pour
atteindre 37 % de sa valeur initiale)

T_2 : temps de relaxation transversale

Temps de relaxation de milieux biologiques

	T_1 (1,5 T)	T_2
eau	3000 ms	1500 ms
LCR	2500	1000
muscle	800	45
graisse	200	75
foie	500	45
subst. blanche	750	90
subst. grise	850	100

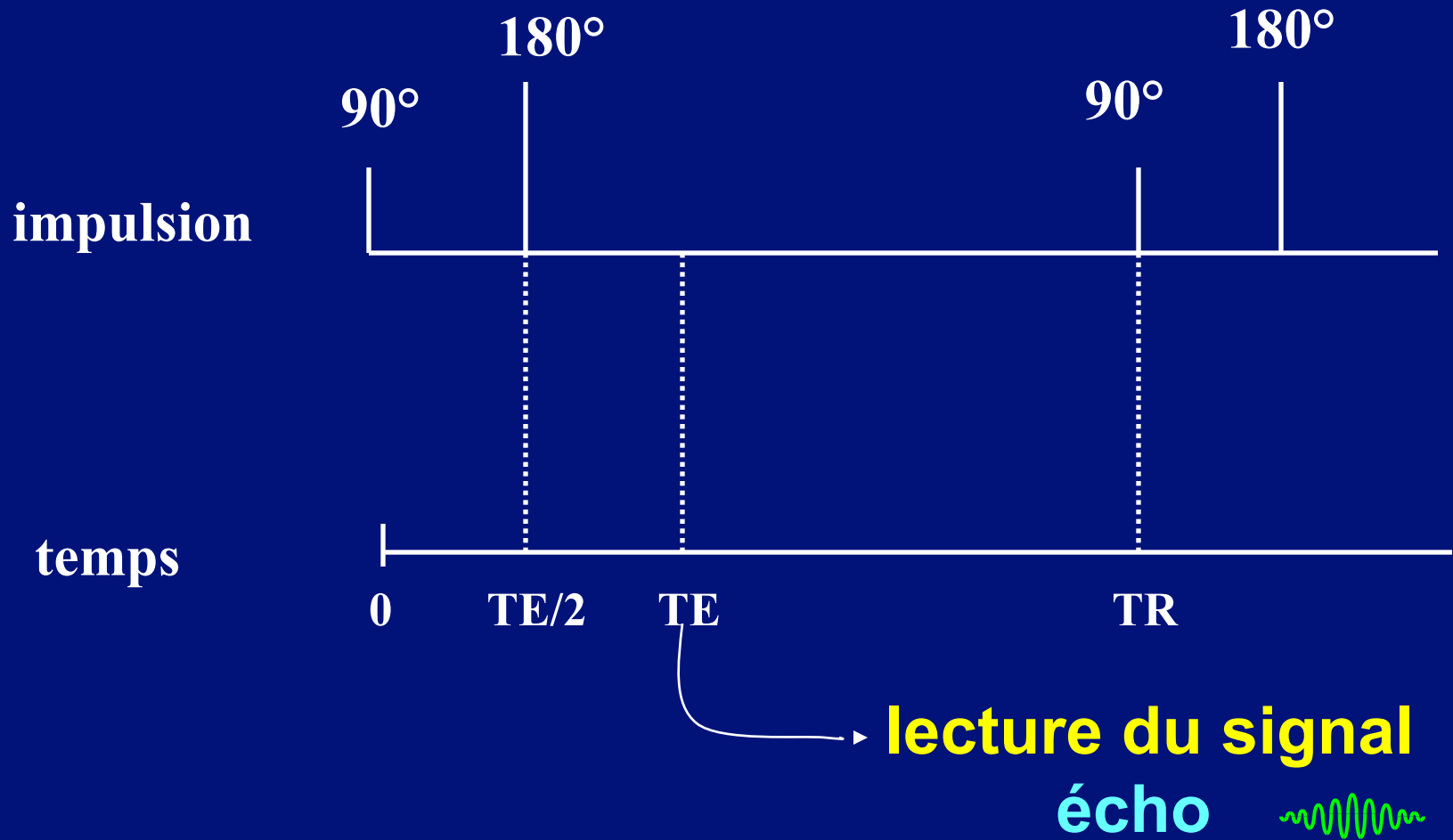
Deuxième partie : la formation de l' image

L'imagerie par résonance magnétique

les séquences d'impulsion :

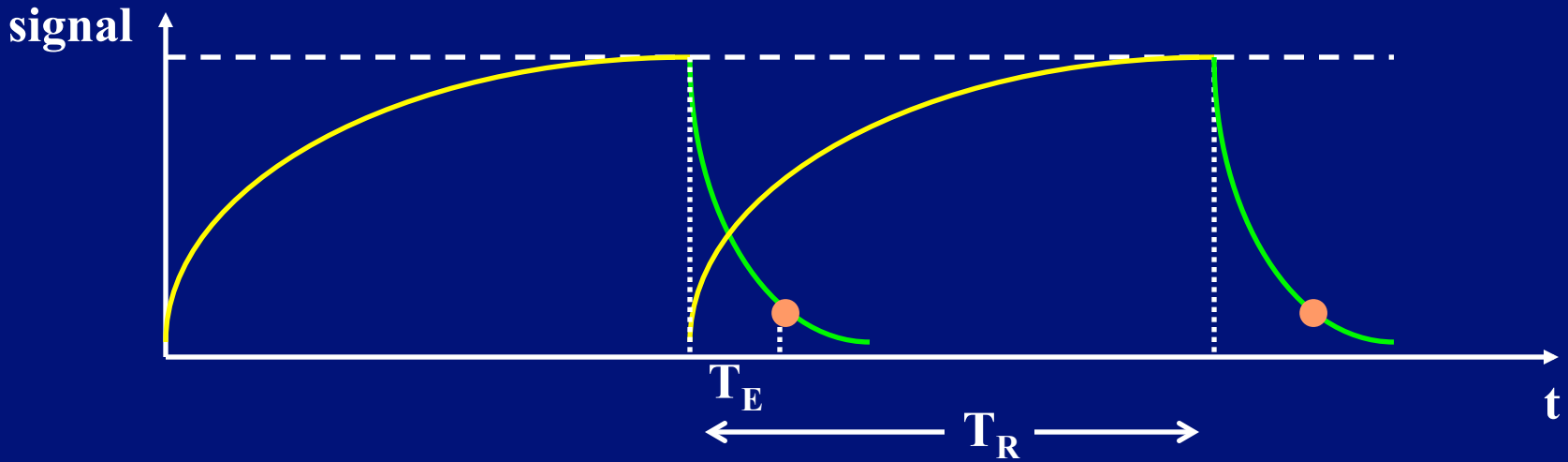
- **impulsion d'excitation et impulsion de détection séparées par $TE/2$**
TE : temps d'écho
- **deux séquences séparées par TR**
TR : temps de répétition

séquence écho de spin

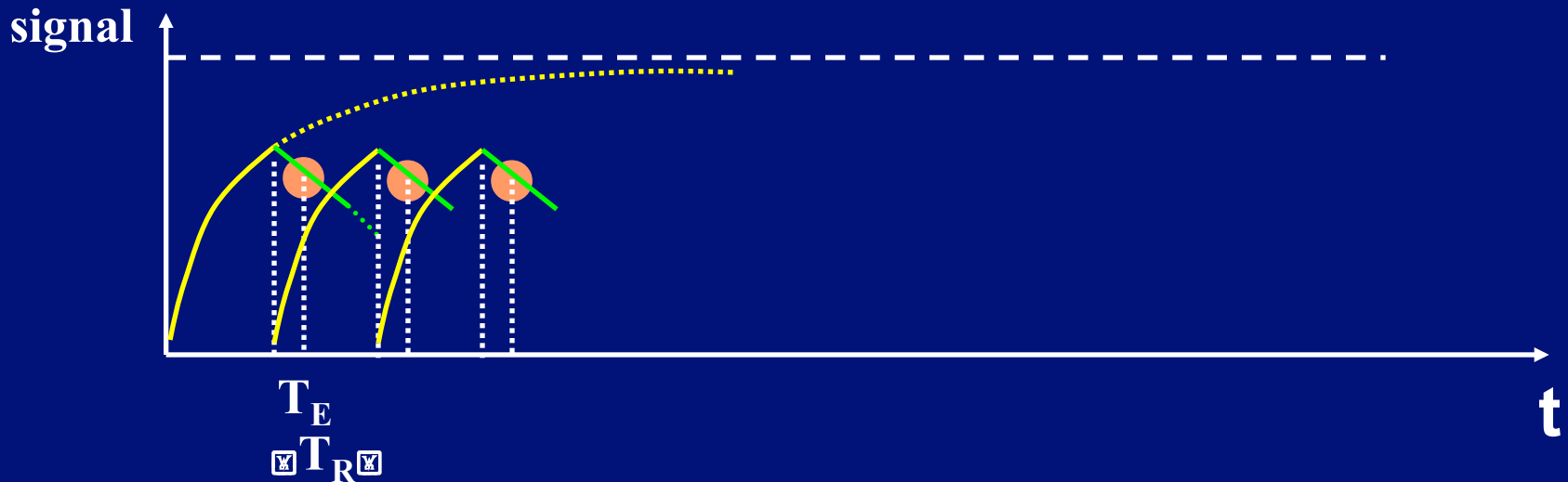




le contraste :

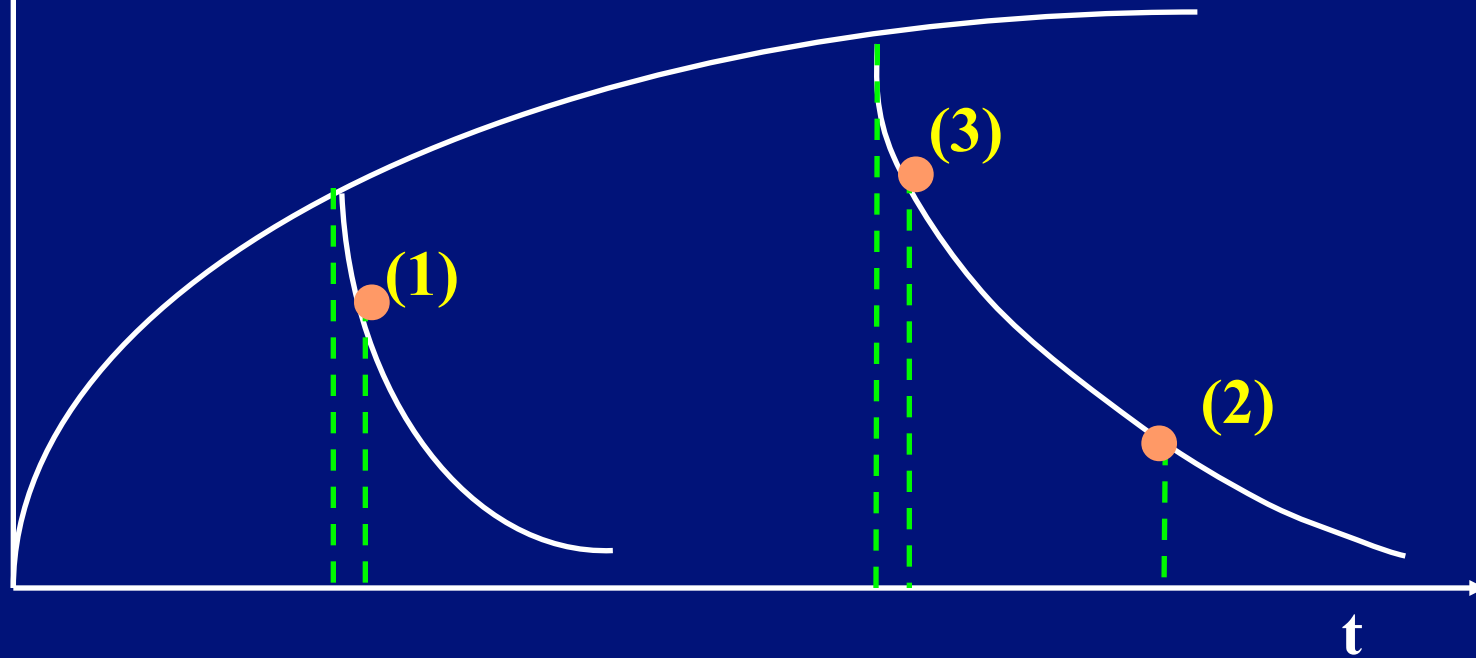


écho de spin : image pondérée en T_2



écho de spin : image pondérée en T_1

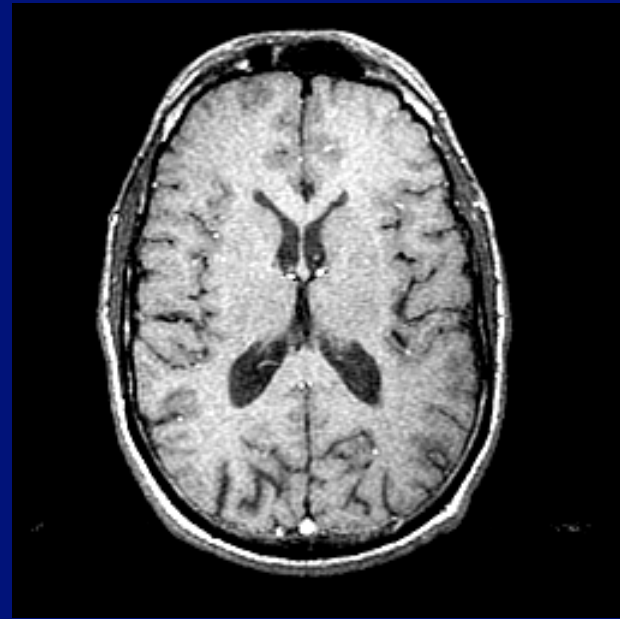
signal



$$M_t = M_0 \left(1 - e^{-\frac{TR}{T_1}} \right) \left(e^{-\frac{TE}{T_2}} \right)$$

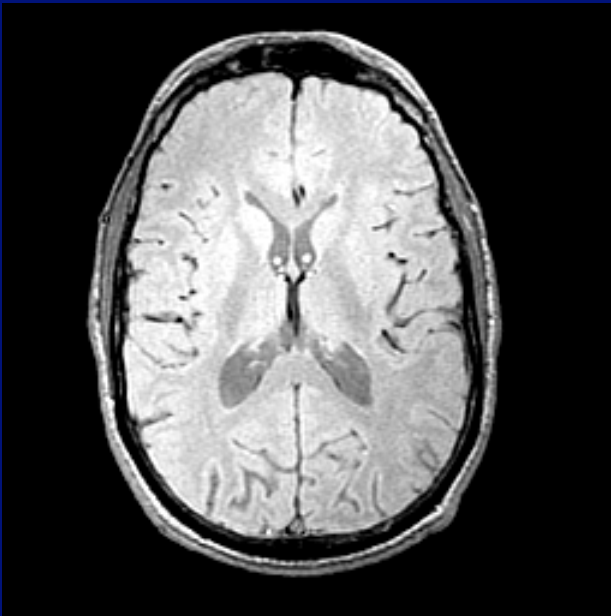
écho de spin

TR=500 ms

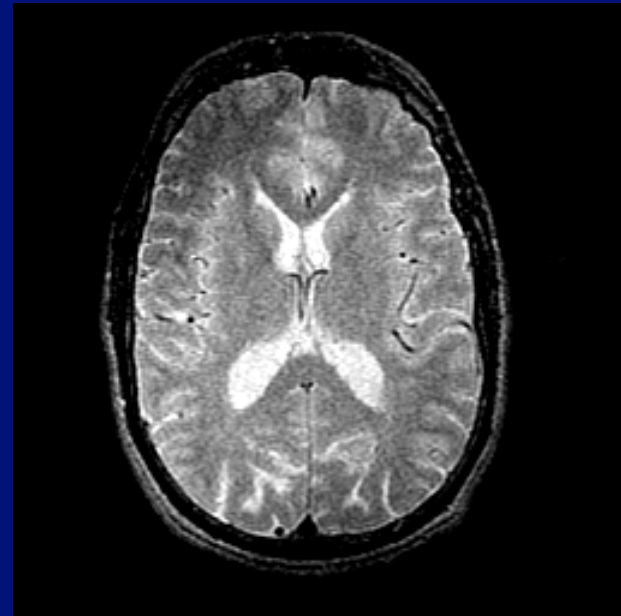


TE=20 ms

TR=2000 ms



TE=20 ms



TE=80 ms

Paramètres d'acquisition

ordres de grandeur :

TR de 300 à 4000 ms

TE de 10 à 120 ms

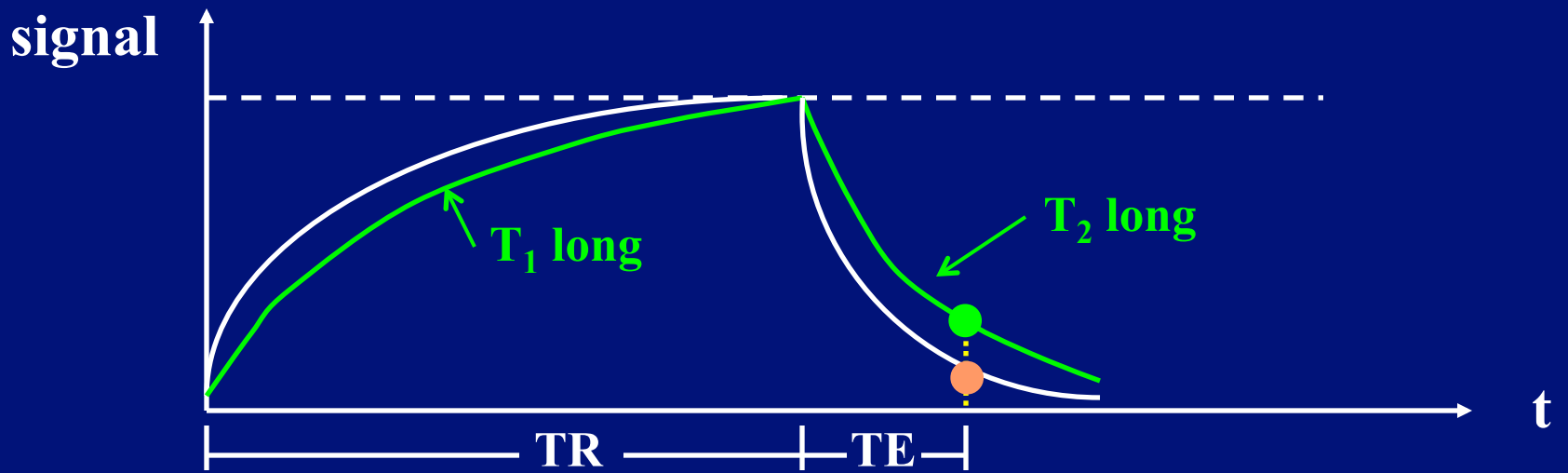
fixés par l'opérateur

images :

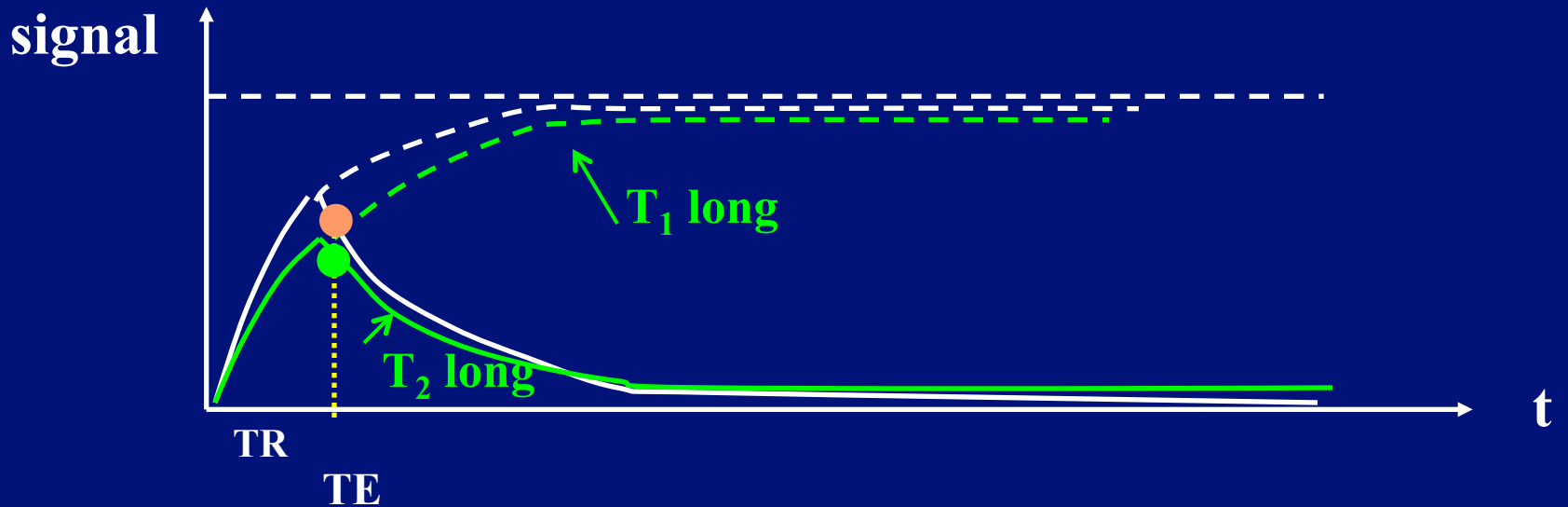
en T_1 : TR court et TE court

en T_2 : TR long et TE long

en \square : TR long et TE court



écho de spin : image en T_2



écho de spin : image en T_1

images en T_1 :

tissu à T_1 long \longrightarrow hyposignal

tissu à T_1 court \longrightarrow Hypersignal

images en T_2 :

tissu à T_2 long \longrightarrow Hypersignal

tissu à T_2 court \longrightarrow hyposignal

graisse
moelle osseuse

tissu cérébral

subst. blanche
subst. grise

muscle

liquides

os cortical

air

BLANC

(T₁ court)

GRIS

NOIR

images pondérées en T₁

liquides

tissu cérébral

subst. grise
subst. blanche

graisse

muscle

os cortical

air

BLANC

(T_2 long)

GRIS

NOIR

images pondérées en T_2



la localisation :

action des gradients de champ magnétique
codage spatial

Durée d' une acquisition

$$D = TR \cdot N_{\text{lignes}} \cdot N_{\text{acc}}$$

exemple :

$$TR = 2000 \text{ ms}$$

$$N_{\text{lignes}} = 256$$

$$N_{\text{acc}} = 1$$

$$D = 8,5 \text{ minutes}$$

Durée d' un examen

30 à 40 minutes