



50 Shades of Neuroradiological Grey

Dr Rémi Duprès

En scanner

- L'échelle des unités de Hounsfield (UH) est une transformation linéaire de la mesure du coefficient d'absorption original dans laquelle la densité de l'eau distillée, aux conditions normales de température et de pression (CNTP), est définie à zéro unité d'Hounsfield (UH), tandis que la densité de l'air aux CNTP est définie à -1 000 UH
- Dans un voxel avec un coefficient d'absorption moyen μ_X , la valeur correspondante en UH est alors donnée par

$$UH = 1\,000 \times \frac{\mu_X - \mu_{eau}}{\mu_{eau}}$$

- où μ_{eau} est le coefficient d'absorption linéaire de l'eau
- Ainsi, une variation de une unité de Hounsfield (UH) représente une variation de 0,1 % du coefficient d'absorption de l'eau puisque le coefficient d'absorption de l'air est proche de zéro



Godfrey Newbold Hounsfield est un ingénieur britannique né le 28 août 1919 à Nottinghamshire et mort le 12 août 2004 à Kingston upon Thames

Il est connu pour avoir conçu le premier scanner médical, ou scanographe selon la terminologie officielle, en 1972, alors qu'il est ingénieur de la société britannique EMI (Electronical Musical Instrumental)

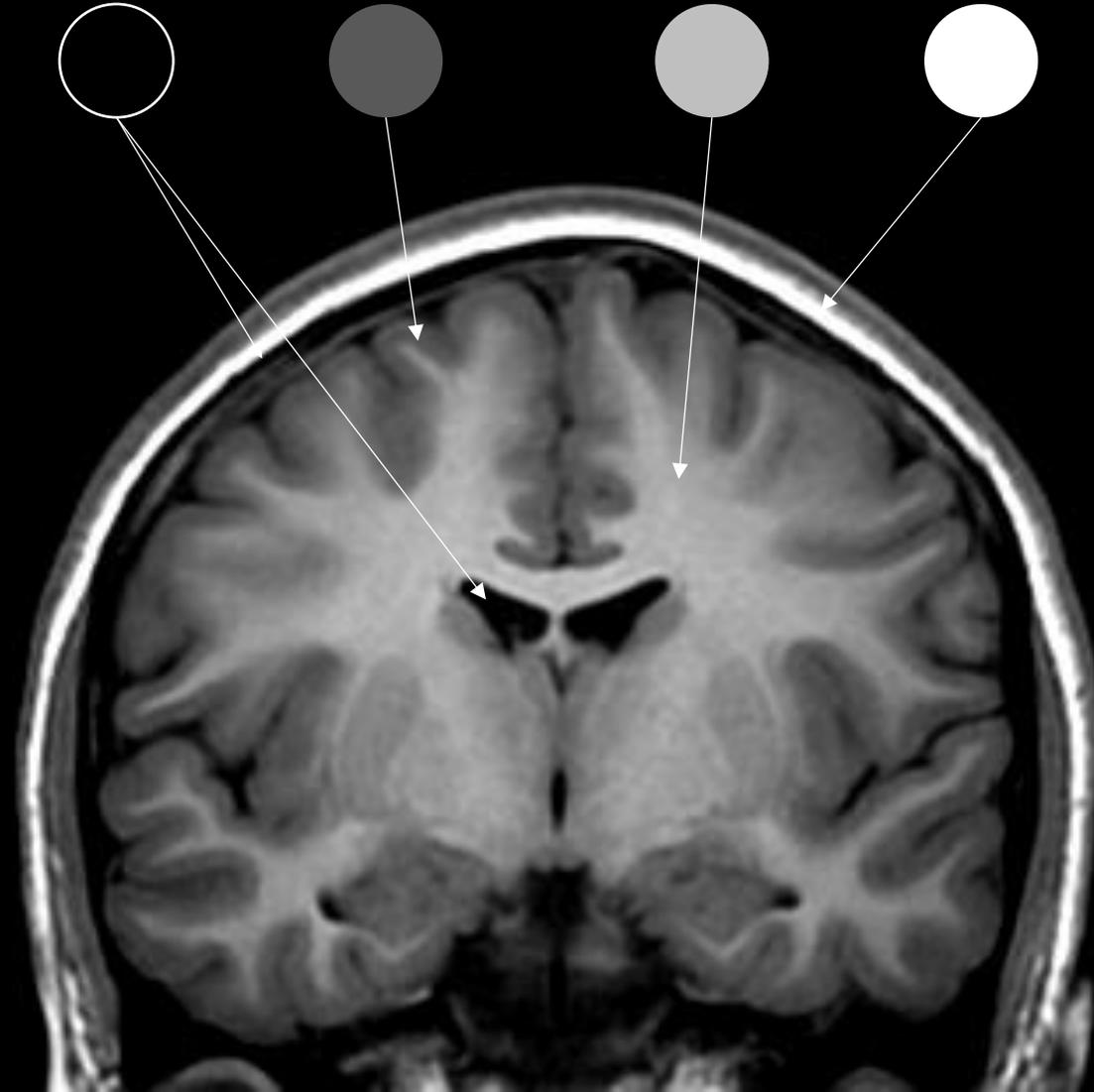
THINK LIKE A PROTON
ALWAYS POSITIVE.

Pondération T1

T1 weighted sequence

(black)	low SI	intermediate SI	high SI
			
<i>air, calcium, cortical bone, rapidly flowing blood</i>	<i>fluid, ligaments/ muscles/tendons, abdominal organs, cartilage</i>	<i>high-protein tissue (abscess, complex cysts, synovial fluid)</i>	<i>fat, blood, gadolinium (= contrast), melanin, protein</i>

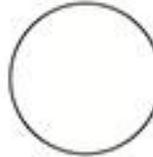
- Les lésions apparaîtront généralement en hyposignal (\pm franc) par rapport au cerveau
- En effet, la plupart des phénomènes pathologiques allongent les temps de relaxation (car ils s'accompagnent d'une inflation hydrique : augmentation de l'eau libre à forte agitation moléculaire), donc le signal se modifiera en se rapprochant de celui du LCS (liquide)
- La présence de protéines au sein d'une lésion kystique ou d'un épanchement (eau liée avec des macromolécules ralentit l'agitation moléculaire – facilite l'échange d'énergie entre protons et milieu environnant – favorise la relaxation T1) raccourcit le T1
- L'os et les calcifications dont les molécules sont fixes n'engendrent que peu de signal, de même que les cavités et les conduits aériques car l'air contient peu de protons



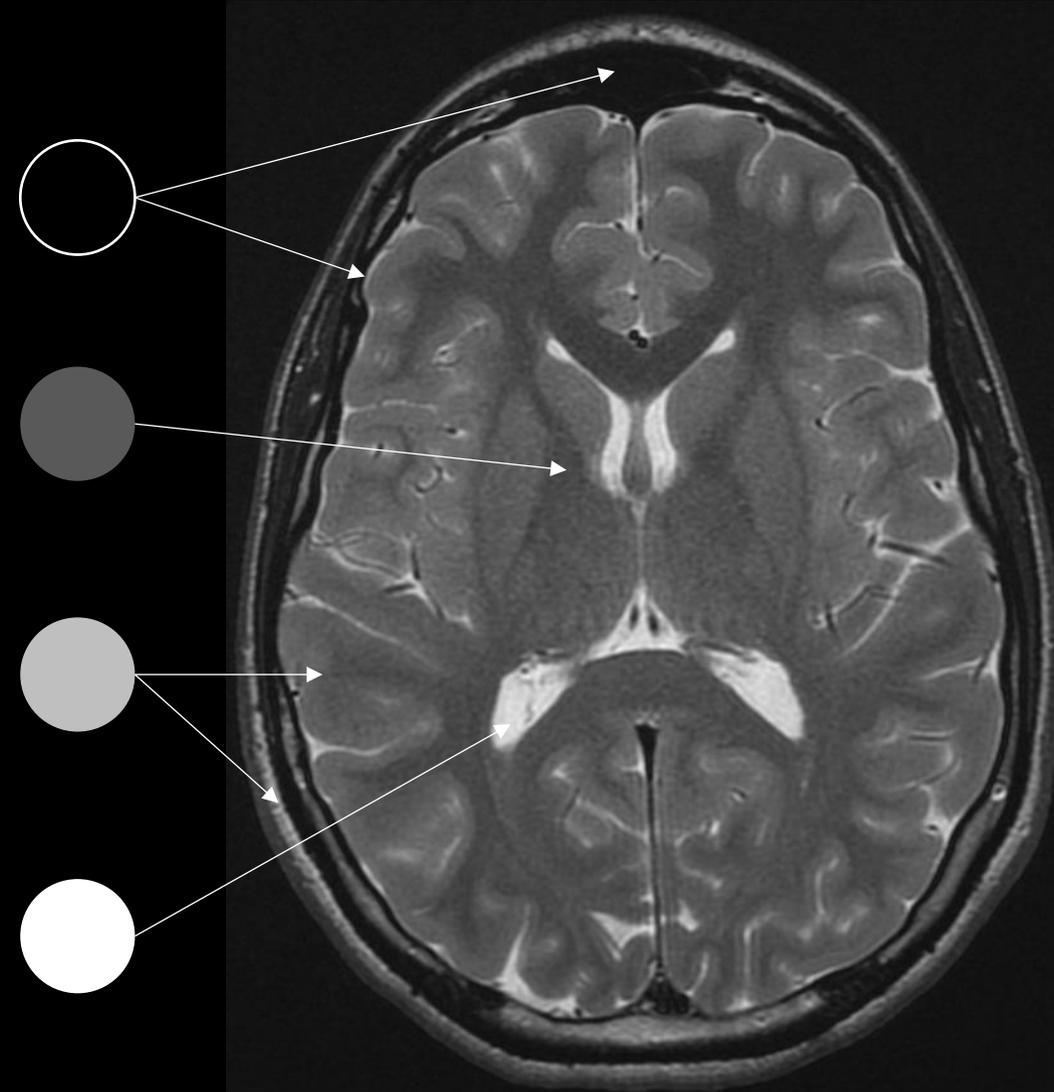
THINK LIKE A PROTON
ALWAYS POSITIVE.

Pondération T2

T2 weighted image

(black)	low SI	intermediate SI	high SI
			
<i>air, calcium, cortical bone, rapidly flowing blood</i>	<i>ligaments, tendons, liver, pancreas, adrenals, cartilage</i>	<i>fat, liver, pancreas, adrenals, muscles, cartilage</i>	<i>fluid, CSF, bladder, bile/ gallbladder, kidneys</i>

- En pondération T2, le contraste est inversé par rapport au T1
- Les phénomènes pathologiques allongent en général le T2, conduisant à un hypersignal

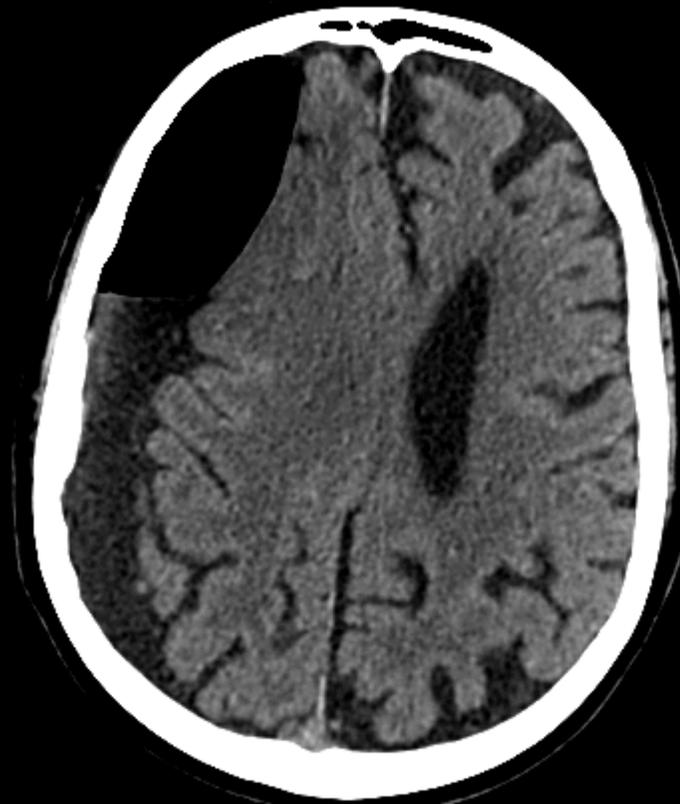
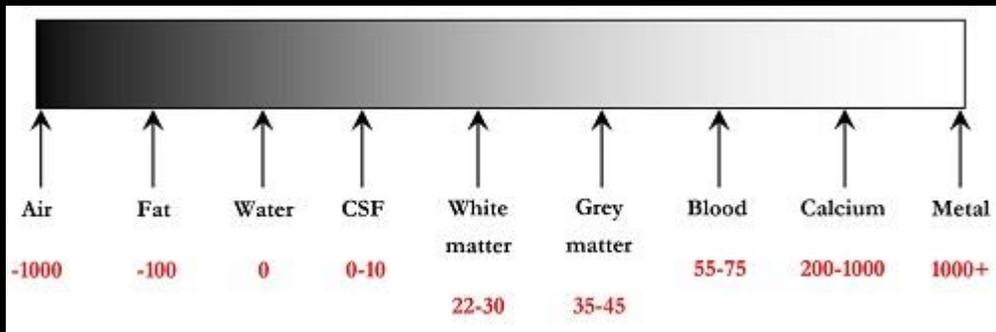




Air

Scanner

- Hypodensité franche sur les fenêtrages parenchymateux et osseux
- Densité avoisinant -1000UH

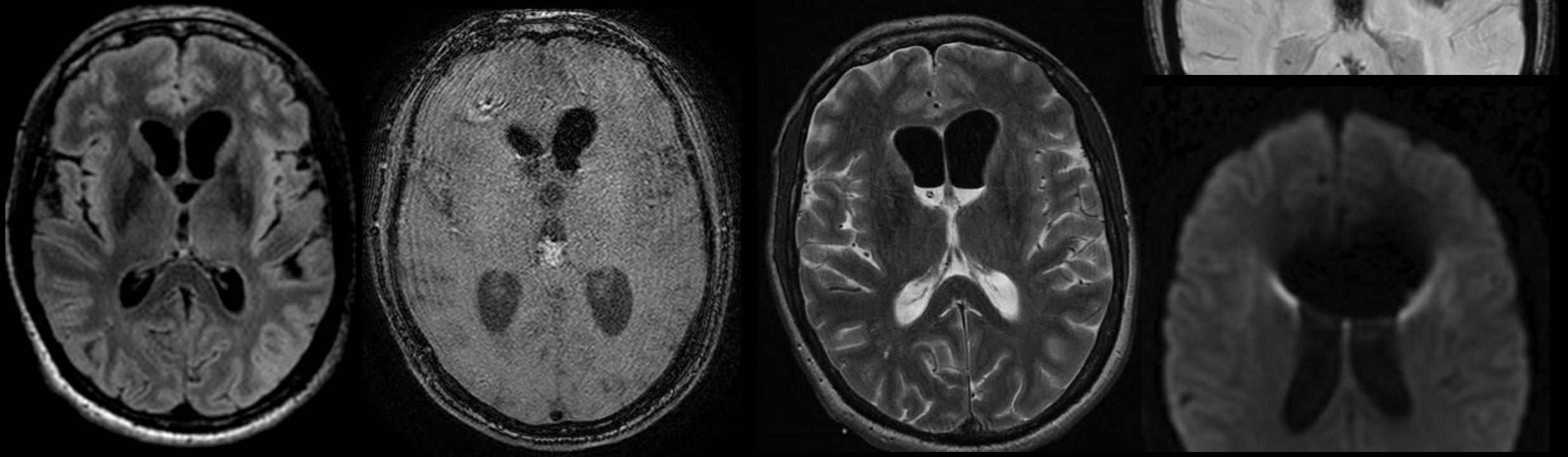




Air

IRM

- Absence de signal sur l'ensemble des séquences en raison du peu de protons
- Artéfact de susceptibilité magnétique (cf. infra)

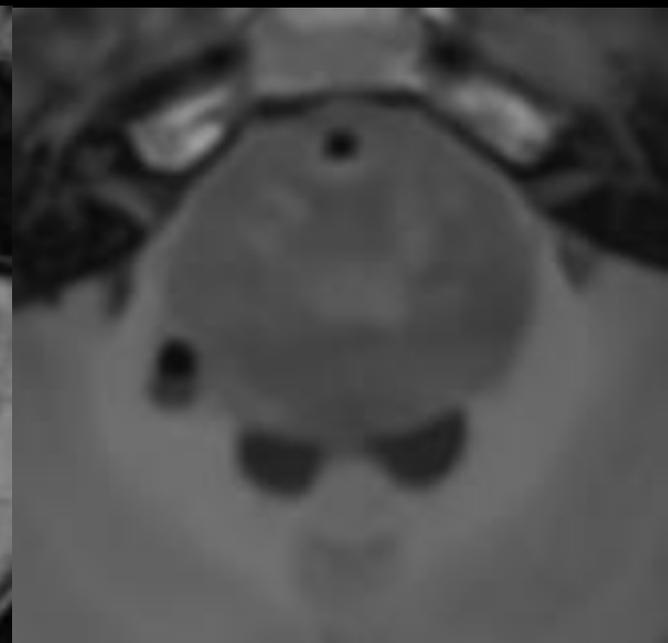
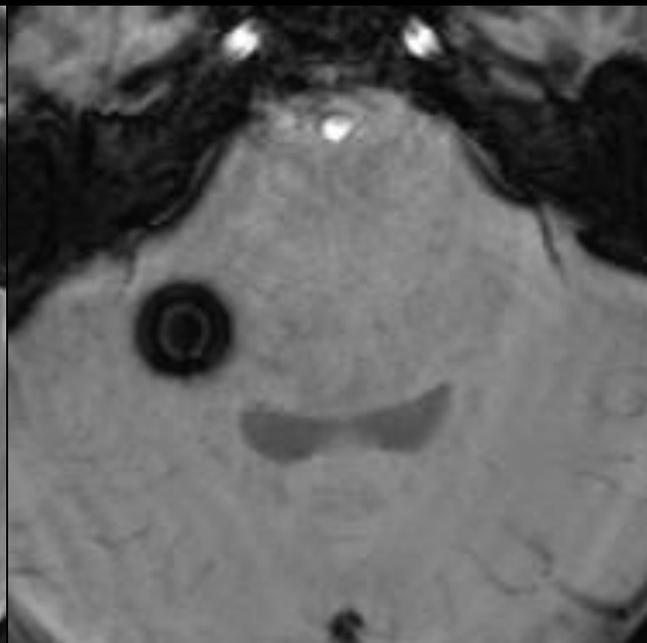
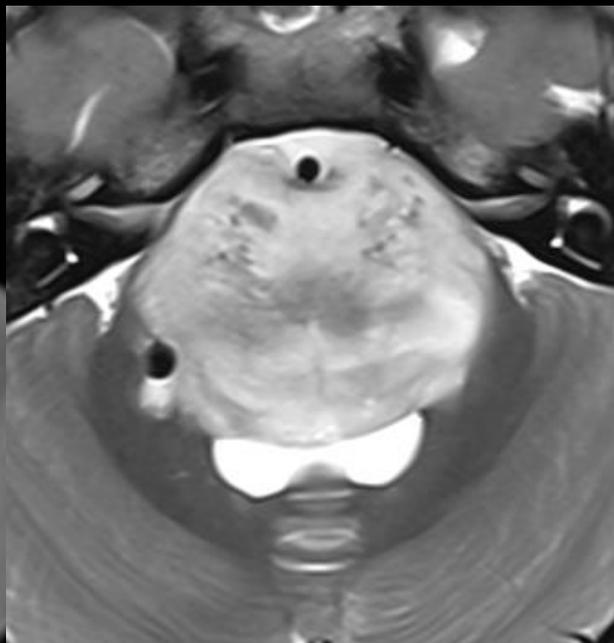
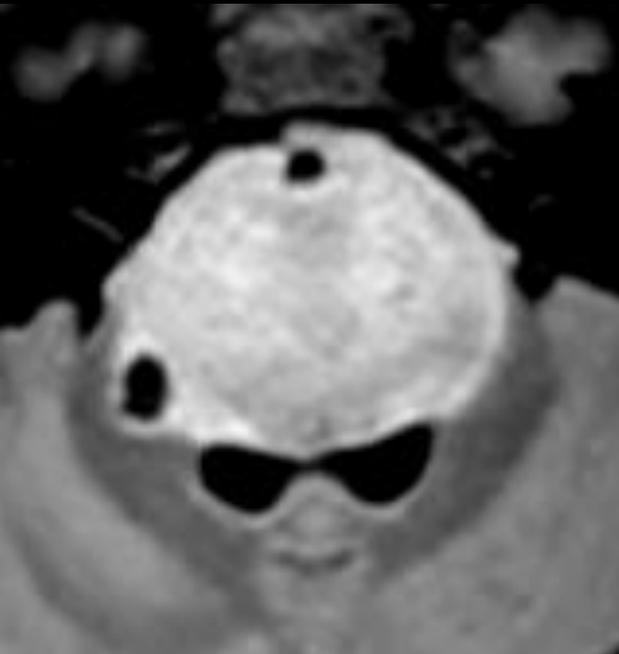




Air

IRM

Bulle de gaz sur le trajet d'une biopsie



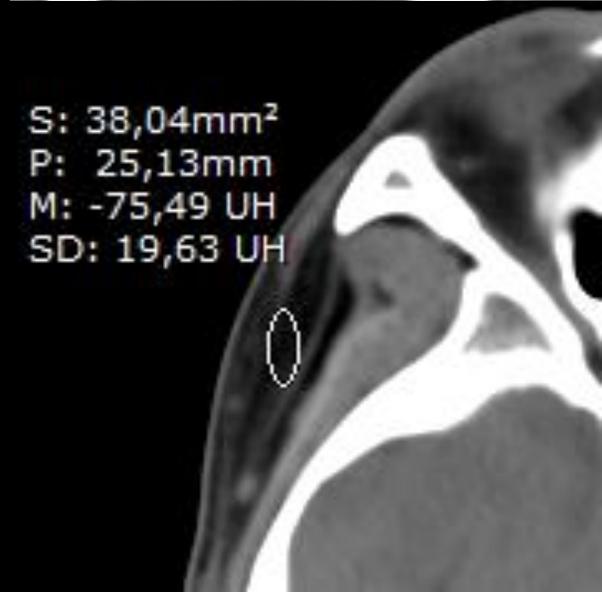
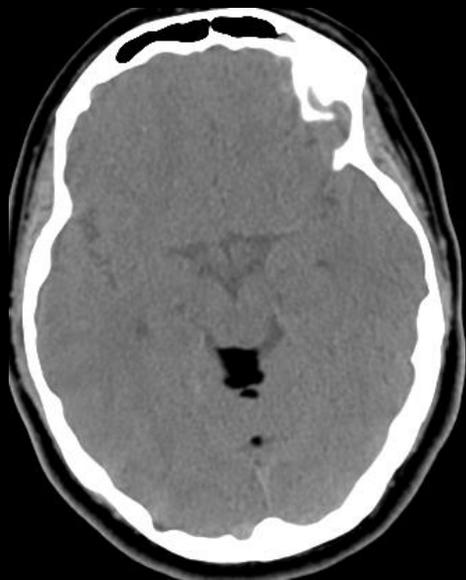
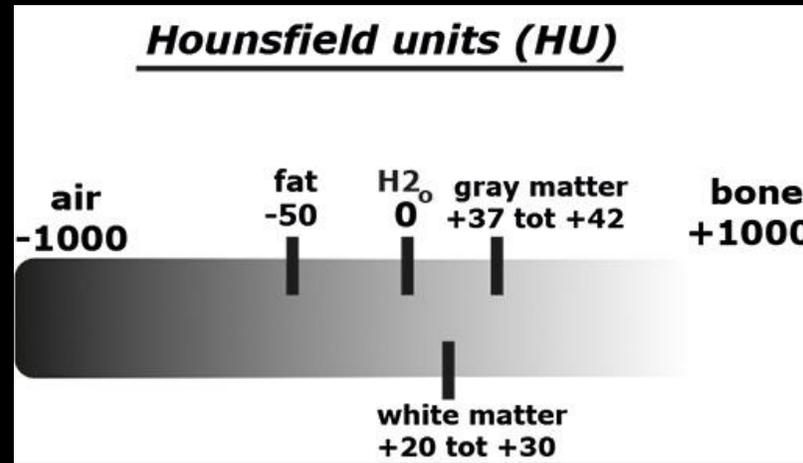
Graisse

Scanner : S'assurer de la composante grasseuse

- Densité grasseuse = densité basse, < -60 UH le plus souvent



- Sur un fenêtrage parenchymateux cérébral standard, la graisse est très hypodense, et peut en imposer pour de l'air
- Intérêt du fenêtrage et si besoin, de la mise en place d'une ROI !

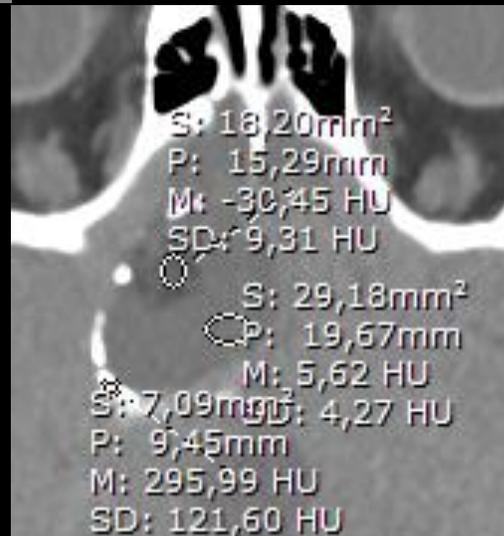
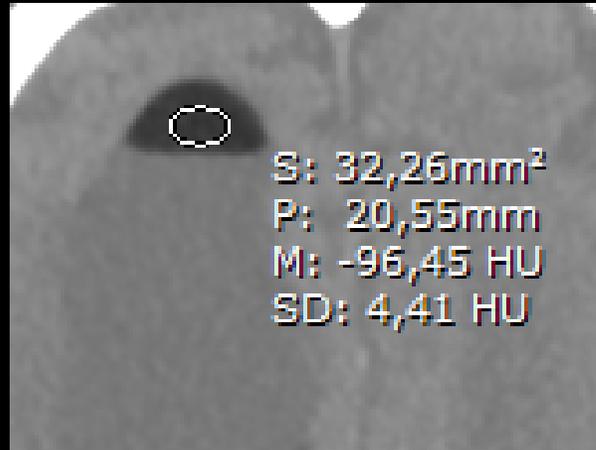


Graisse

Scanner : Intérêt du fenêtrage !

Patient adressé pour suspicion de pneumoventriculie et pneumocéphalie spontanées (pas de notion de traumatisme...), chez un patient suivi pour ... kyste dermoïde !

Un fenêtrage adapté et une ROI permettent de redresser le diagnostic en faveur d'une rupture du kyste dermoïde connu !

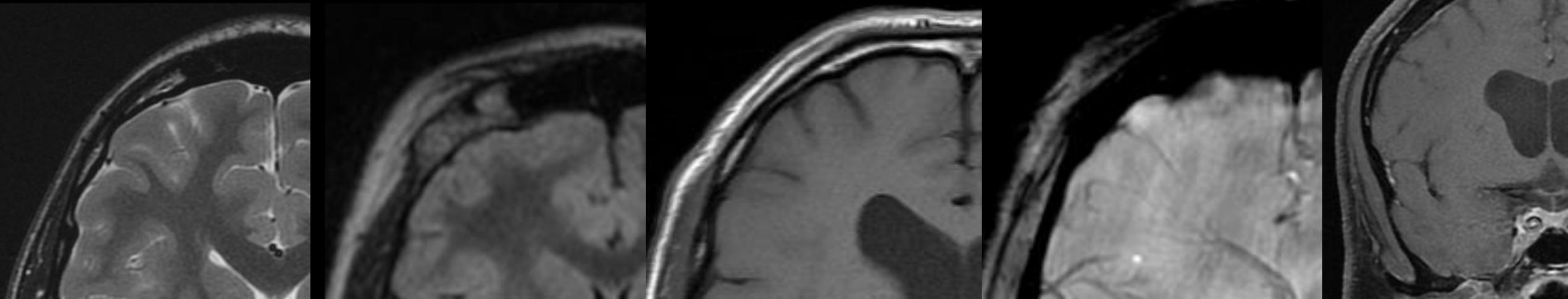
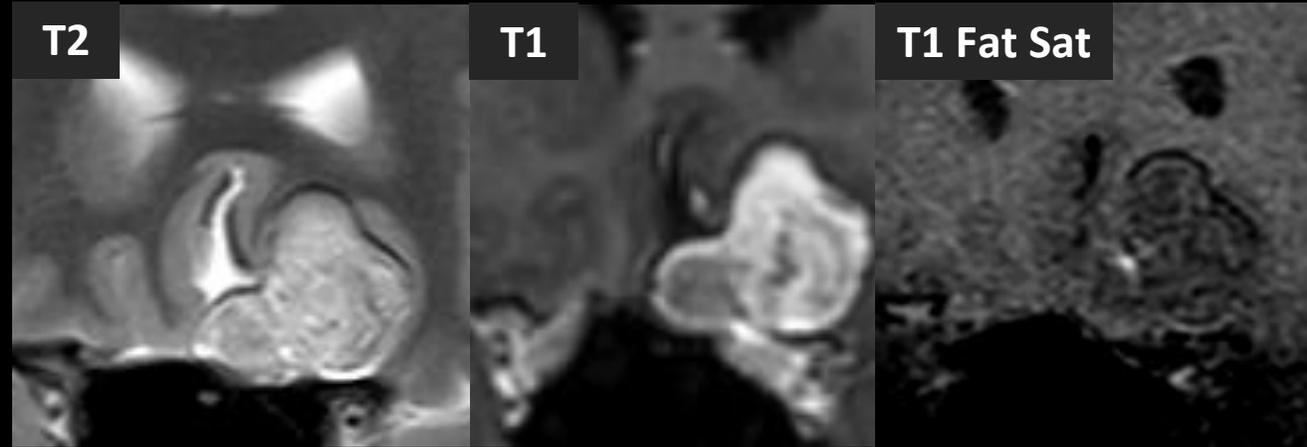


Graisse



IRM : S'assurer de la composante graisseuse

- Hypersignaux T2 et T1 spontané
- Chute du signal sur les séquences avec saturation de la graisse
- Parfois le contingent graisseux est peu abondant : utilité de l'artéfact de déplacement chimique



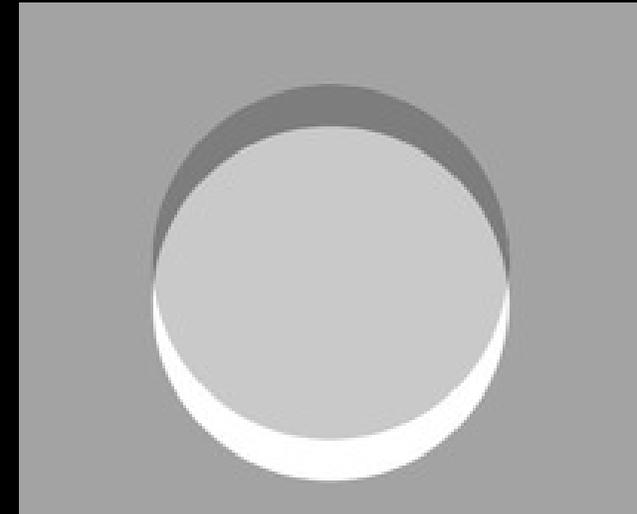
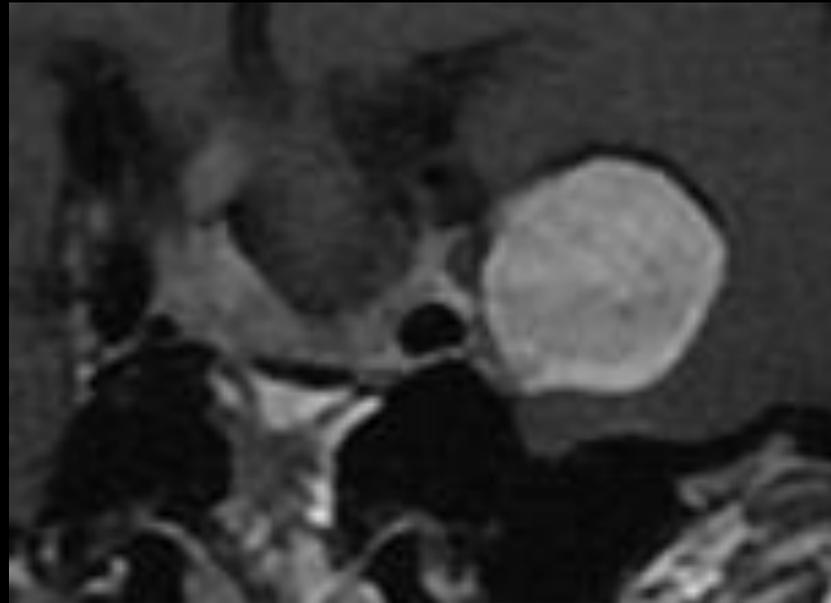
Graisse

IRM : Artefact de déplacement chimique

- Cet artefact est lié aux différences de résonance des protons de l'eau et de la graisse
- Il se traduit par un décalage le long de l'axe du gradient de fréquence
- Il augmente avec le champ magnétique et avec la taille de la lésion

- Sur les séquences en T1 ES: bande hyperintense à la jonction eau-graisse et hypointense à la jonction graisse-eau

- Sur les séquences T1 EG: aspect de bordure hypointense entourant la lésion = artefact en "encre de chine"



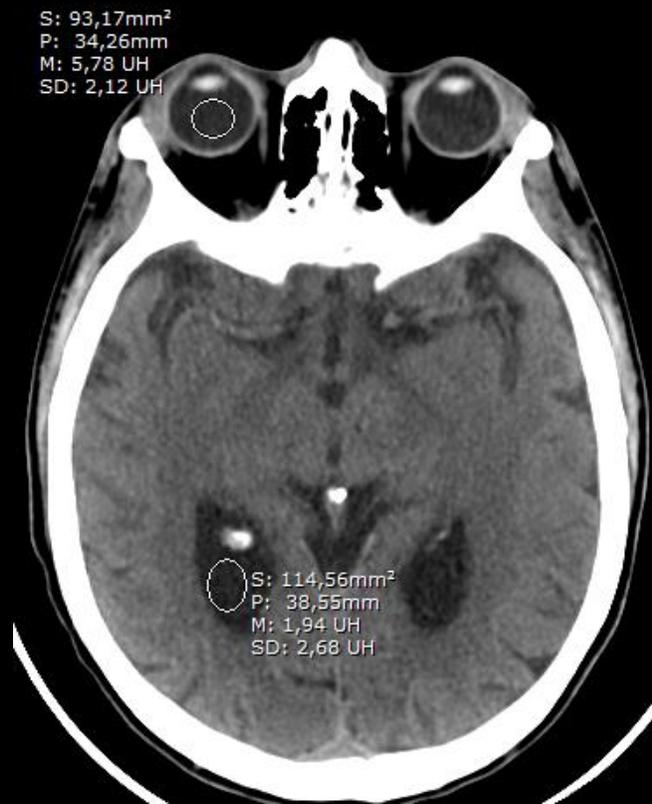


Eau

Scanner

- Densité de l'eau distillée = densité de référence = 0 UH
- Plus la concentration protéique augmente, plus la densité augmente

Air	Fat	Water	CSF	White matter	Grey matter	Blood	Calcium	Metal
-1000	-100	0	0-10	22-30	35-45	55-75	200-1000	1000+

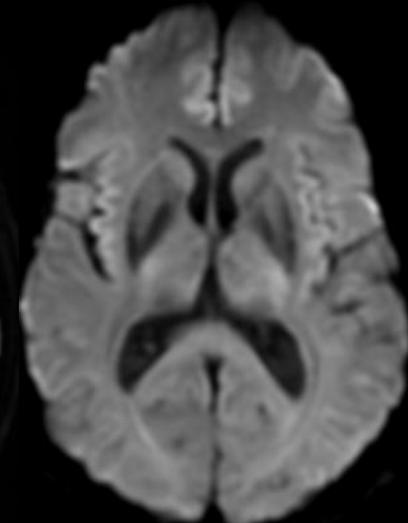
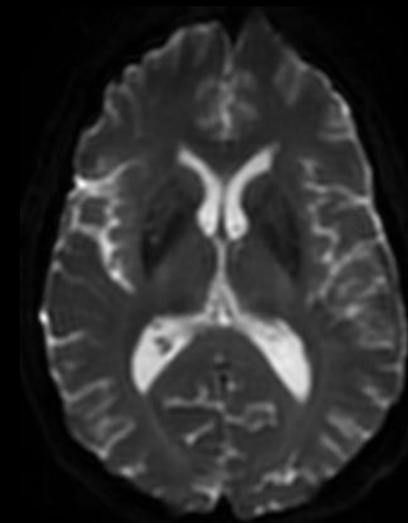
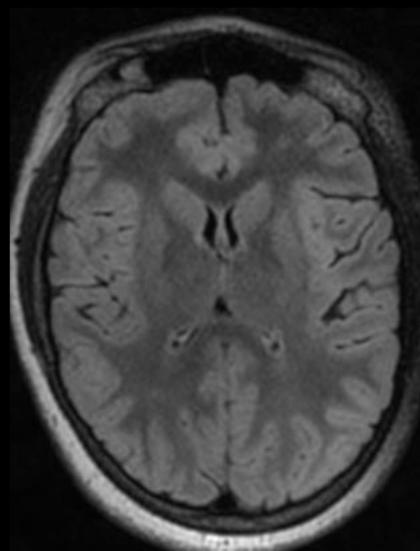
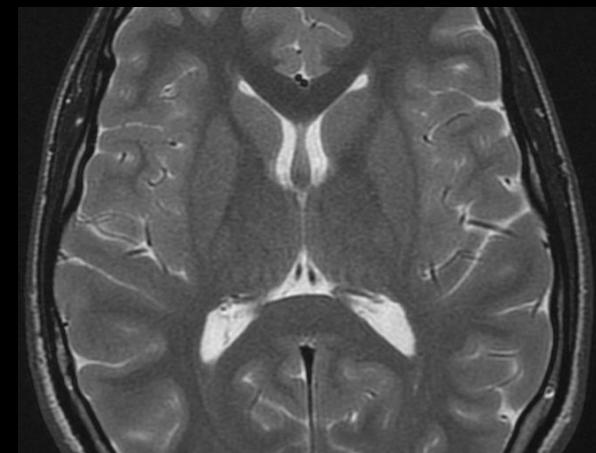
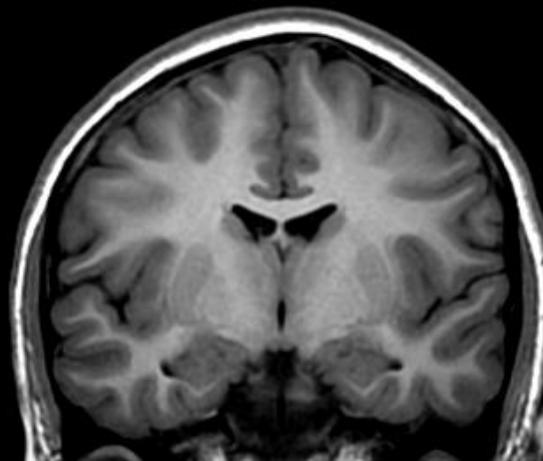




Eau

IRM

- Signal de l'eau pure = hypoT1 / hyperT2
- Intensité variable selon le contenu liquidien réel
- Suppression du signal sur les séquences FLAIR (*Fluid Attenuated Inversion Recovery*) (par application d'un TI (Temps d'Inversion) long – 2200 à 2500ms à 1,5T) et Diffusion (perte de signal des protons mobiles de l'eau libre)

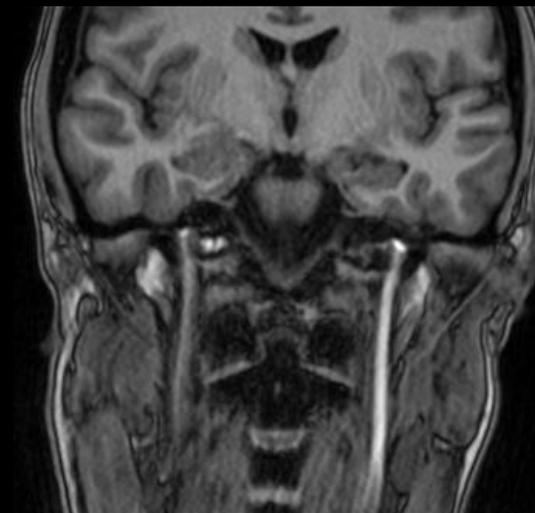
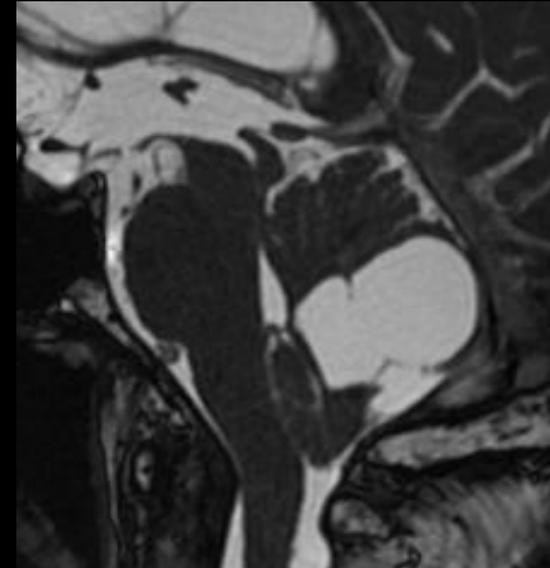


Eau



IRM : Artéfacts de flux

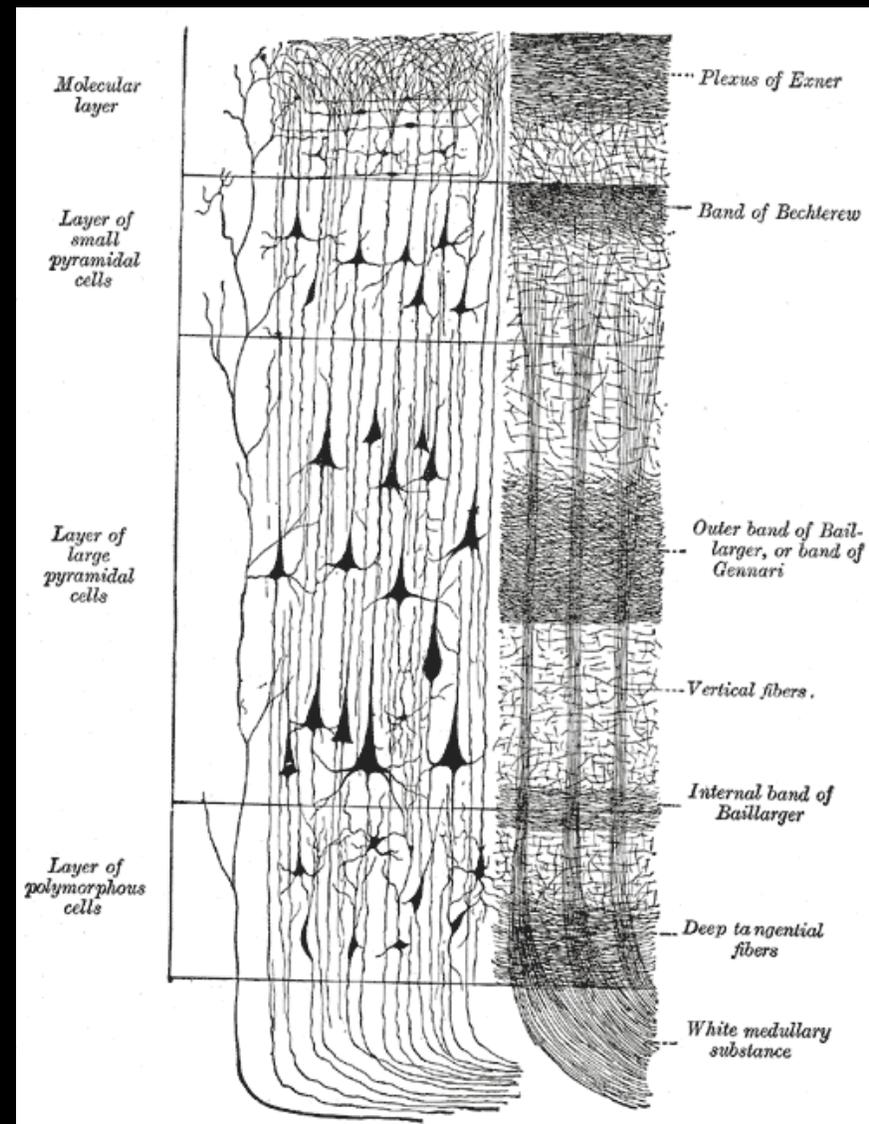
- Le **flux pulsatile du sang ou du LCS** engendre des artéfacts divers (dans le sens du codage de phase) dont l'intensité est variable en fonction de la prépondérance des effets de temps de vol ou de déphasage
- Ils prennent souvent la forme d'images fantômes dans la direction du codage de phase : 'fantômes de renforcement' (hyperintense) ou 'fantômes d'annulation' (hypointense)
- Ils sont souvent plus marqués sur les séquences en EG où, par rehaussement paradoxal (arrivée de sang non saturé), la lumière des vaisseaux est le siège d'un signal parfois très élevé
- Ces artéfacts de flux sont couramment rencontrés en projection des ventricules, des siphons carotidiens et du tronc basilaire
- On peut constater la visualisation d'artéfacts équivalents après injection intraveineuse de Gadolinium : après son administration, on note parfois une prise de contraste persistante dans les vaisseaux à circulation lente (veines), d'où l'apparition d'images fantômes dans le sens du gradient de codage de phase



Parenchyme

Substance grise = Cortex

- On désigne sous le nom de substance grise la partie des tissus du système nerveux central composée essentiellement des corps cellulaires et de l'arbre dendritique des neurones ainsi que de certaines cellules gliales
- Au microscope, la substance grise apparaît plus sombre que le reste du tissu nerveux, dit substance blanche, qui est essentiellement constitué des faisceaux de fibres axonales gainées de myéline, à la couleur blanchâtre



Parenchyme

Substance grise = Cortex

- Dans l'encéphale, la substance grise est située en périphérie. De ce fait, on dit que la substance grise définit un cortex (« écorce » en latin). Ce cortex est formé d'un empilement de couches de cellules nerveuses (entre 3 et 6 pour le cortex cérébral et 3 pour le cortex cérébelleux) lesquelles se différencient par le type cytoarchitectonique, la densité cellulaire et la connectivité
- Autour des ventricules cérébraux, la substance grise est agglutinée en amas cellulaires qui n'ont généralement pas l'organisation laminaire des cortex : ce sont les noyaux gris centraux (thalamus, ganglions de la base, etc.)



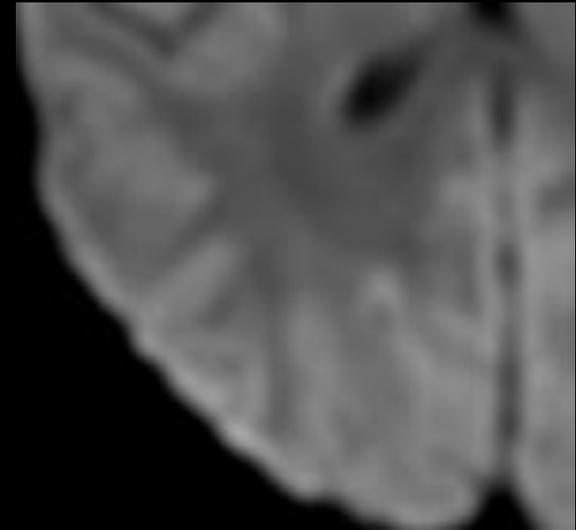
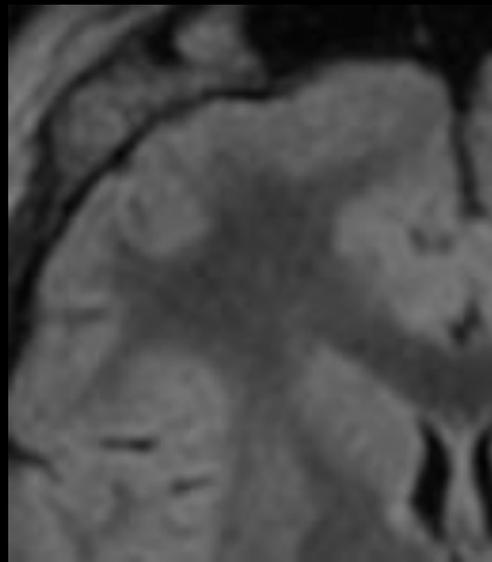
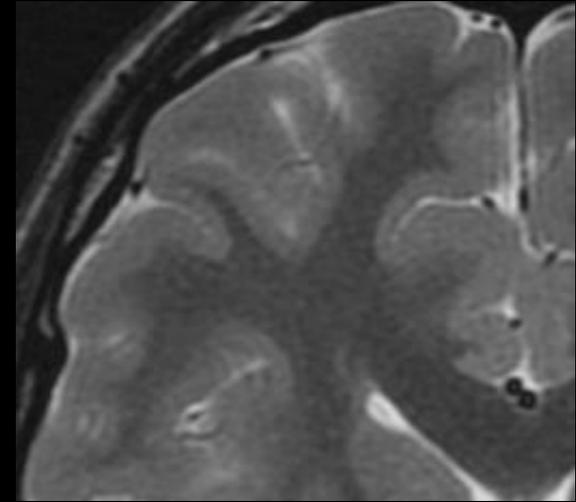
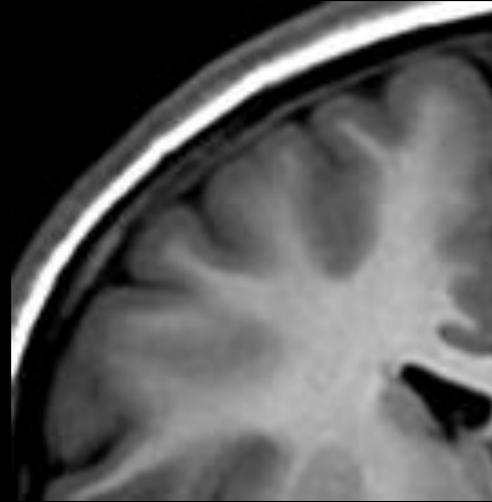
Parenchyme

Substance grise = Cortex

- Densité spontanée aux environs de 35 à 45 UH
- Hyposignal T1 / hypersignal T2



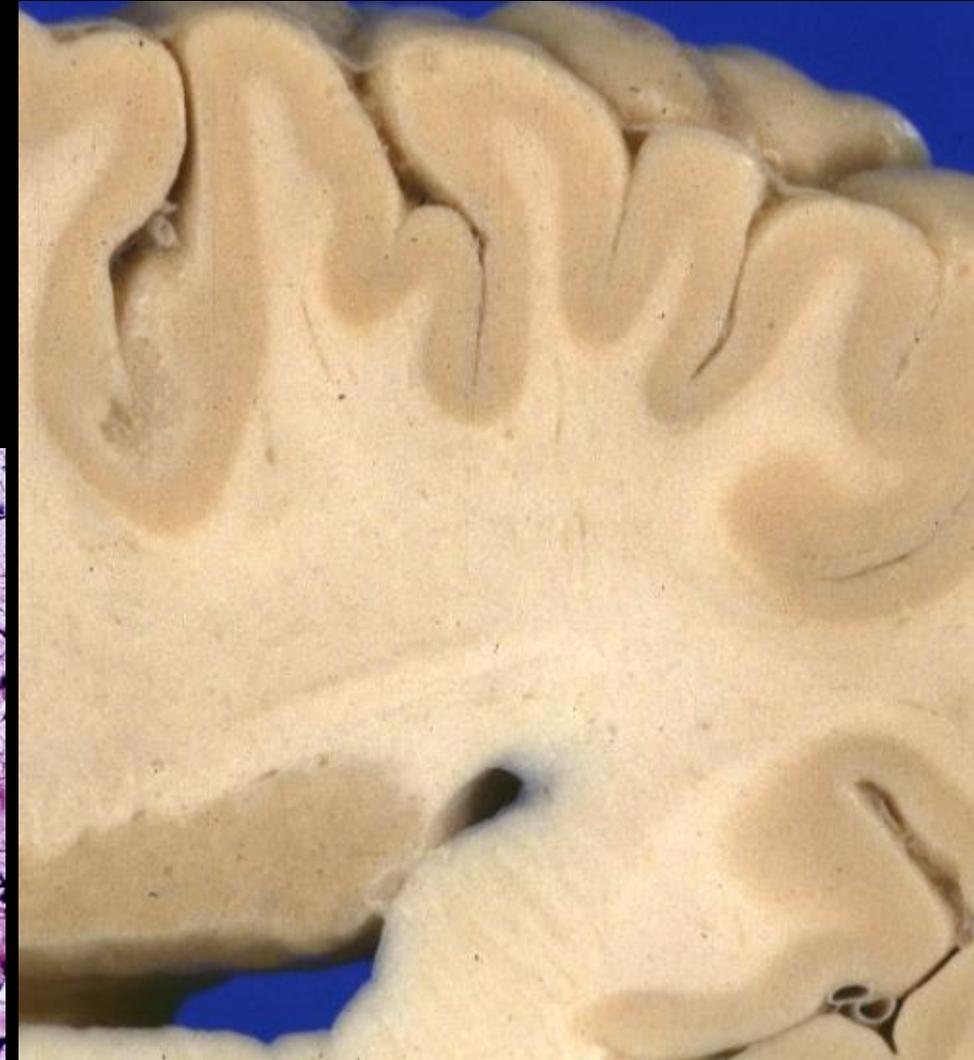
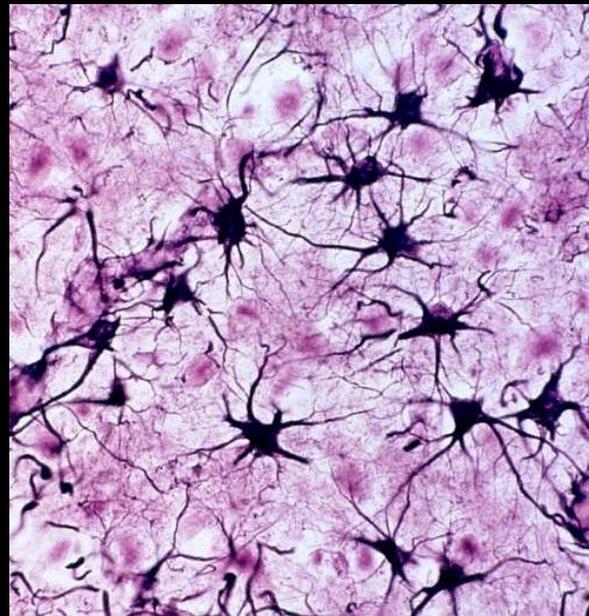
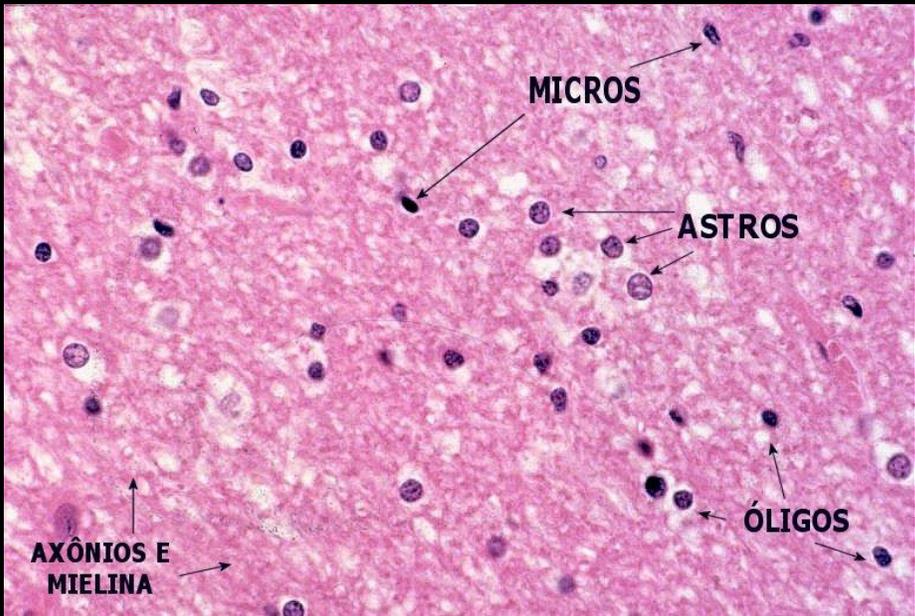
40 UH



Parenchyme

Substance blanche

- La substance blanche est une catégorie de tissu du système nerveux central, principalement composé d'axones associés à des gaines de myéline ou non des neurones
- Elle relie différentes aires de la substance grise où se situent les corps cellulaires des neurones
- Elle constitue la partie interne du cerveau et la partie superficielle de la moelle épinière
- La substance blanche a en fait un aspect rosé à l'œil nu qui est principalement dû à la présence de capillaires sanguins. Ce n'est qu'après avoir été traité au formaldéhyde, pour la conservation, que ce tissu prend sa couleur blanche caractéristique
- La myéline est une substance constituée principalement de lipides (70 % de sphingomyéline, galactosylcéramide) dont les couches alternent avec des couches de protéides (30 %). Caractéristique d'un corps gras, elle est blanche et brillante dans des conditions physiologiques normales. Cette substance est baptisée myéline en 1854 par le médecin pathologiste Rudolf Virchow, sans doute par analogie avec la substance blanchâtre et molle de la moelle osseuse



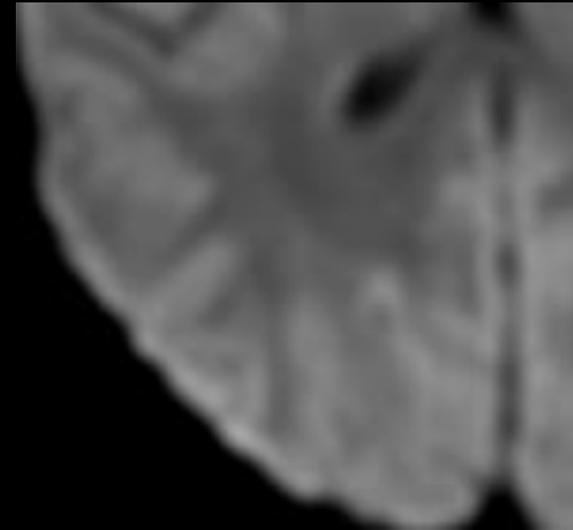
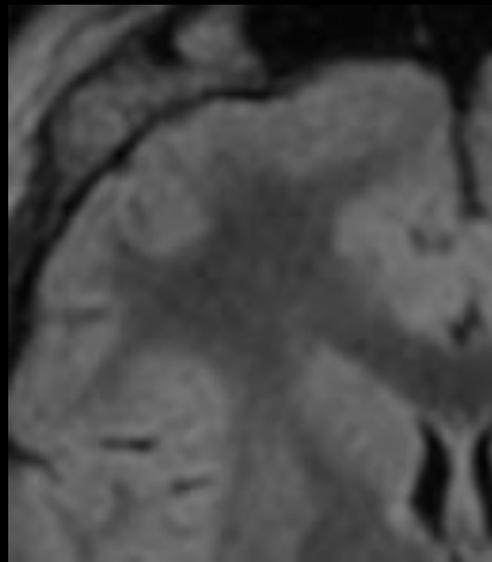
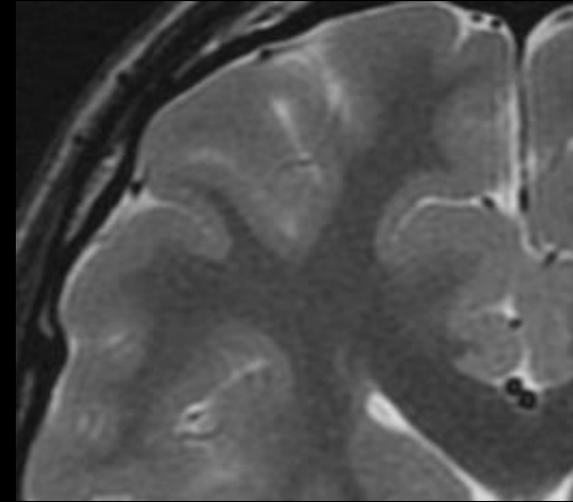
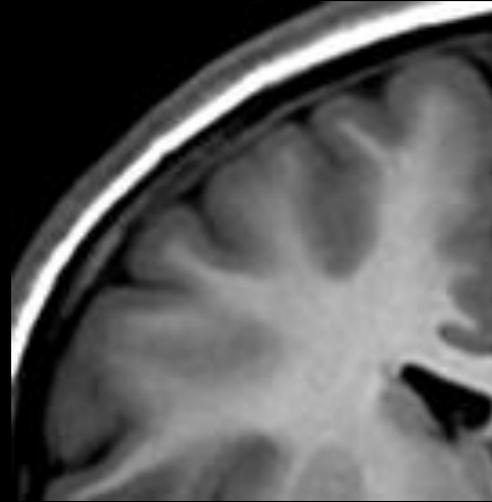
Parenchyme

Substance blanche

- Densité spontanée aux environs de 20 à 30UH
- Hypersignal T1 / hyposignal T2

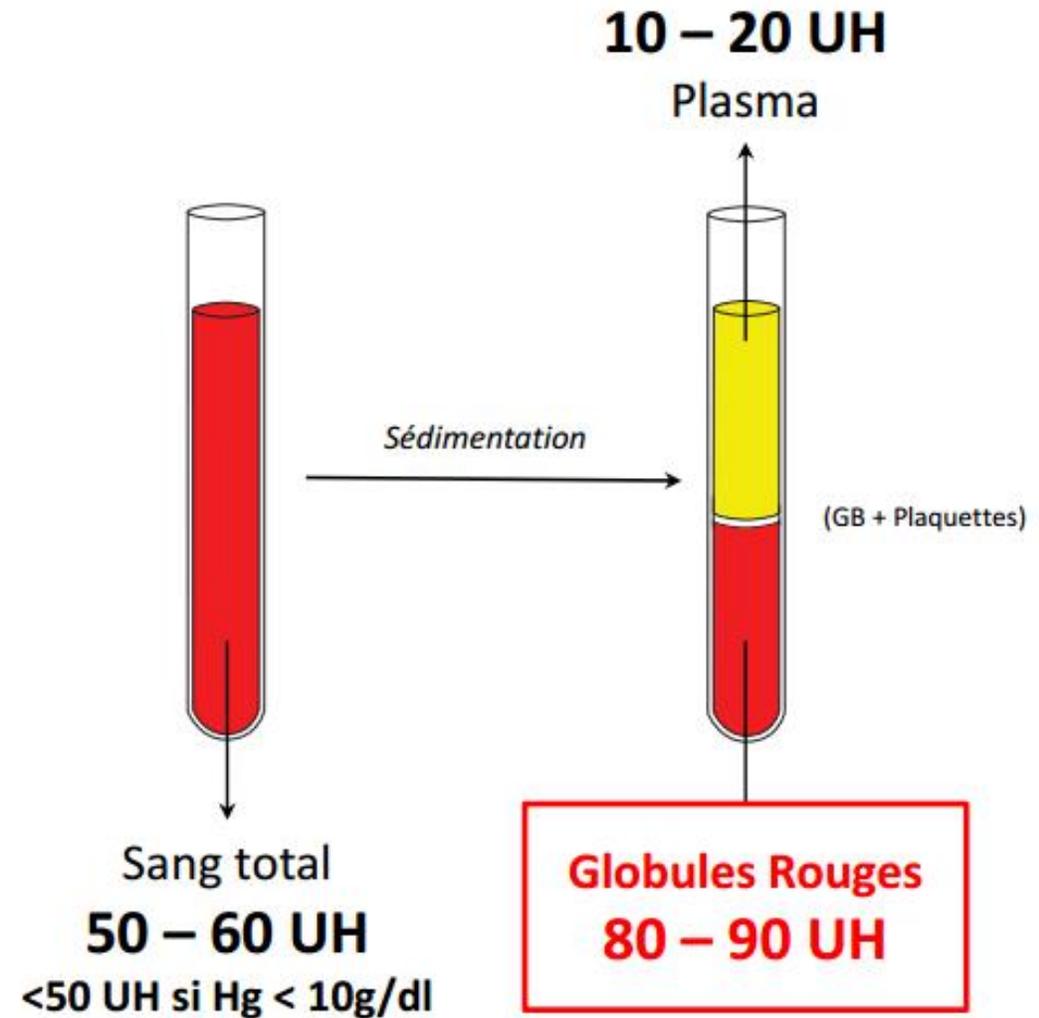


30 UH



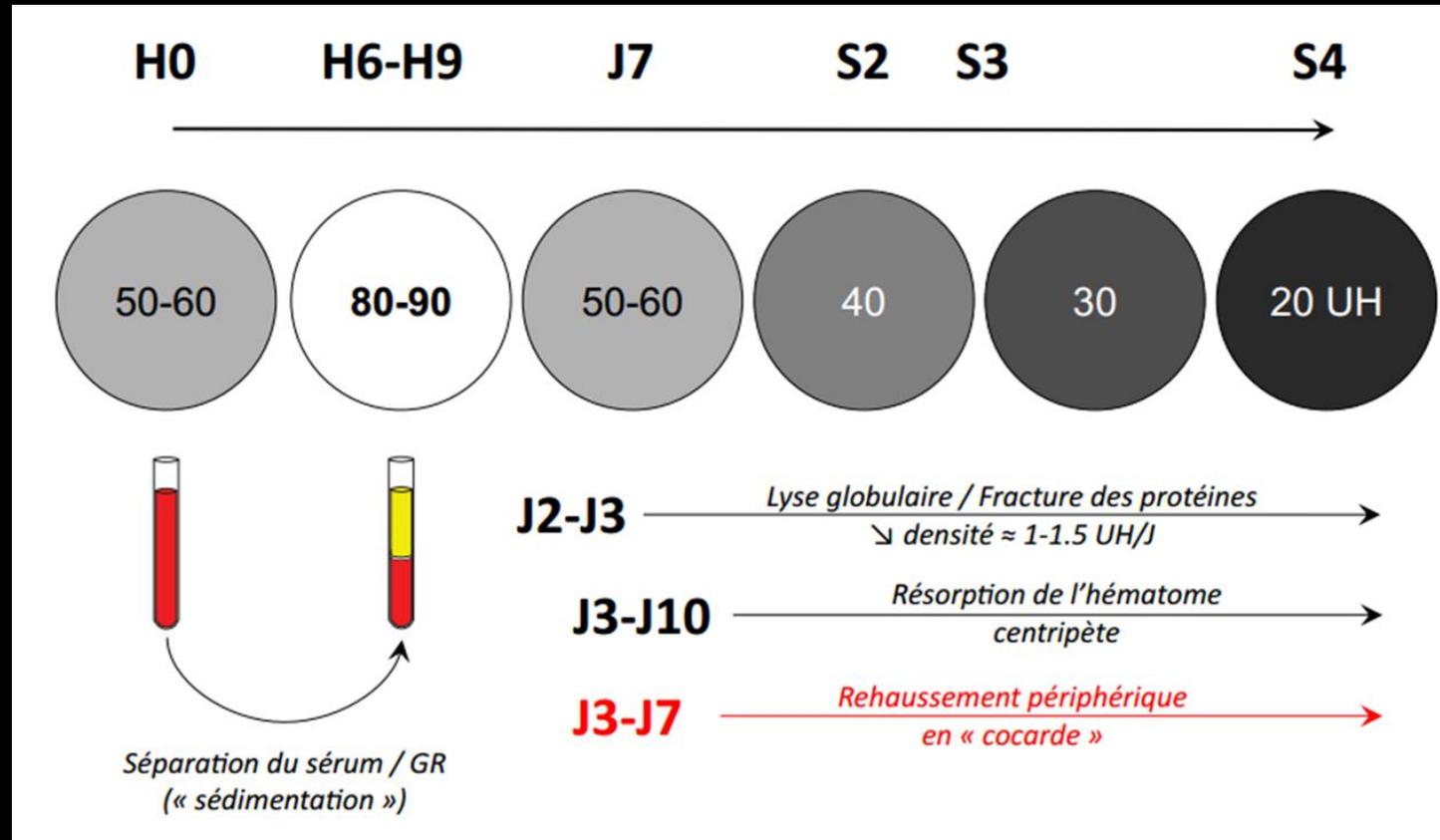
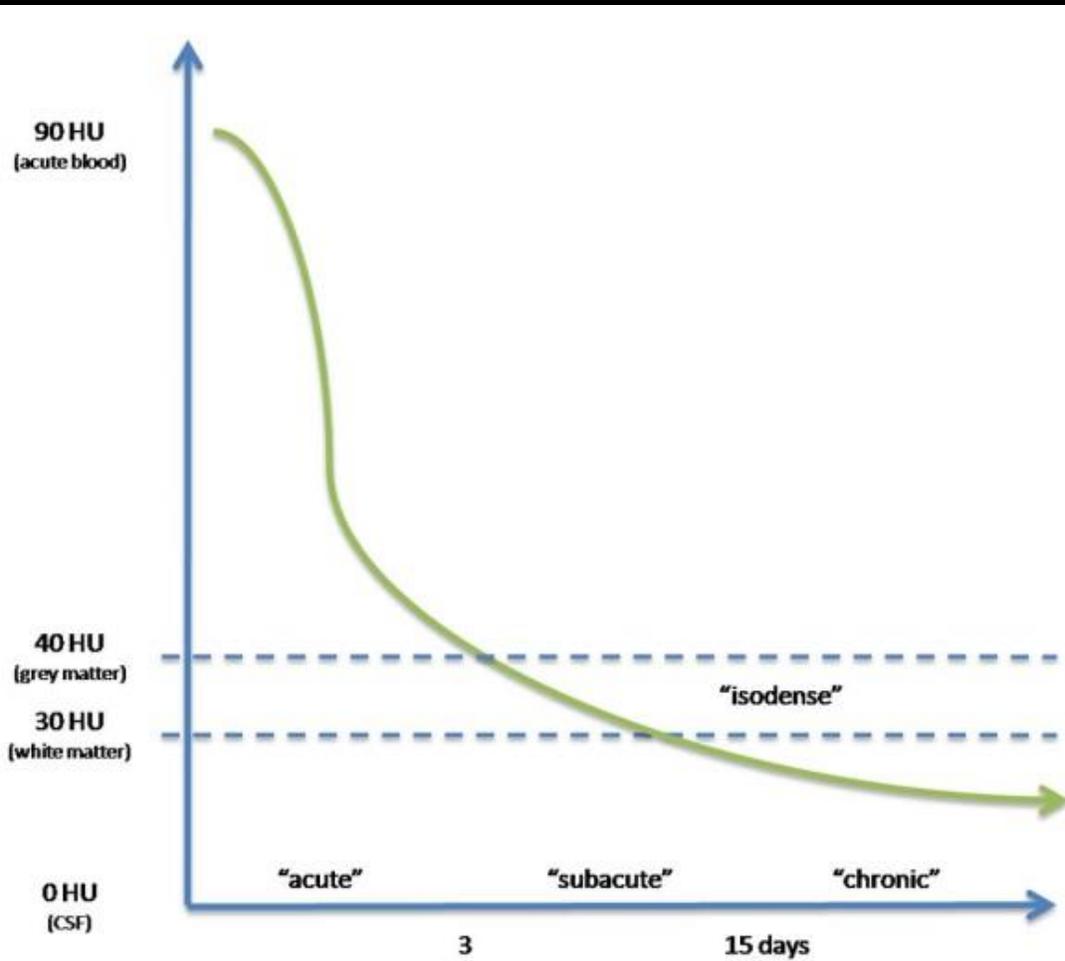
Sang

- Le sang est un liquide biologique complexe constitué principalement d'eau (80%), d'éléments figurés, de protéines et d'électrolytes
- L'apparence du sang dépend de plusieurs facteurs :
 - Hydratation du caillot (GR)
 - Hémoglobine (taux, état, localisation IC ou EC)
 - Protéines du sang (concentration, lyse)
 - Séparation du sérum et du culot globulaire
 - Qualité du tissu siège du saignement (cloison arachnoïdienne, perte de substance, remaniements, tumeur,...)



Sang

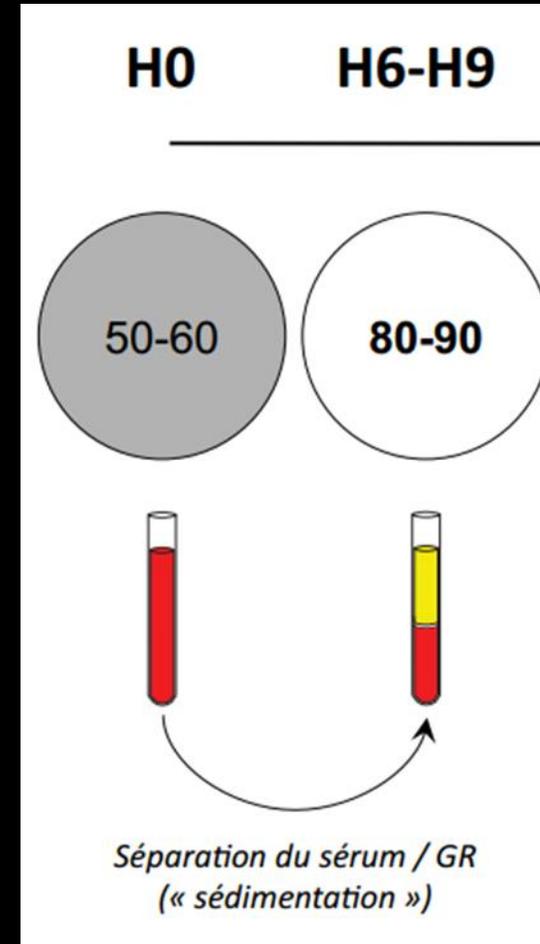
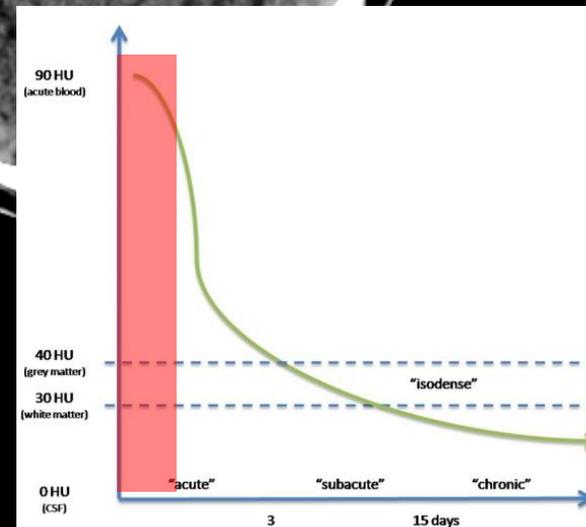
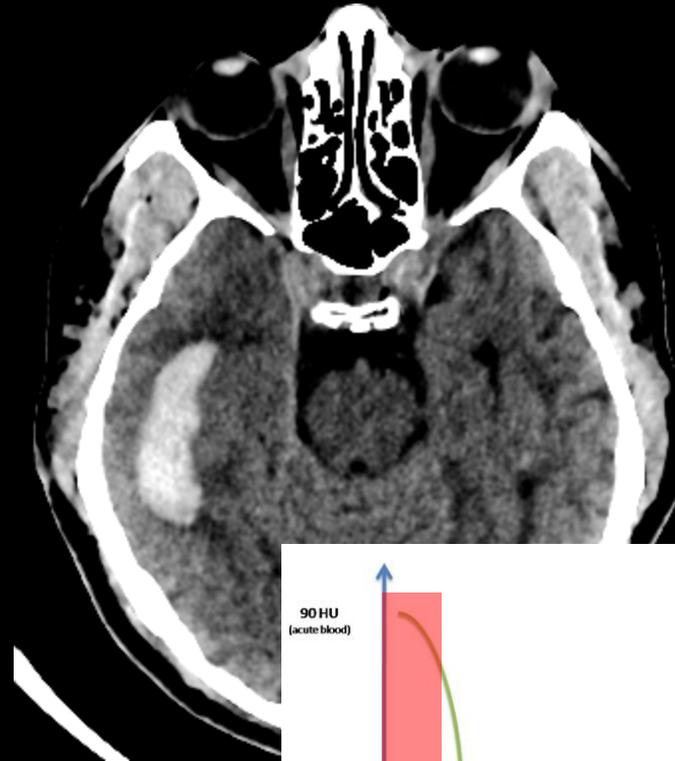
Scanner



Sang

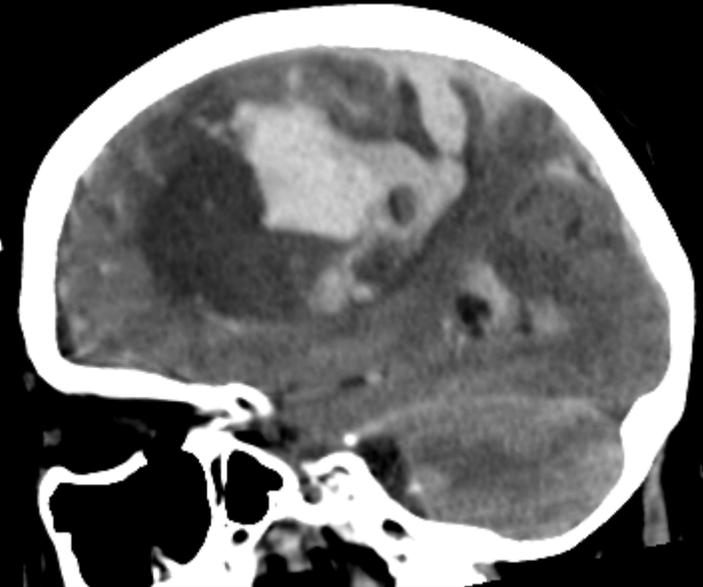
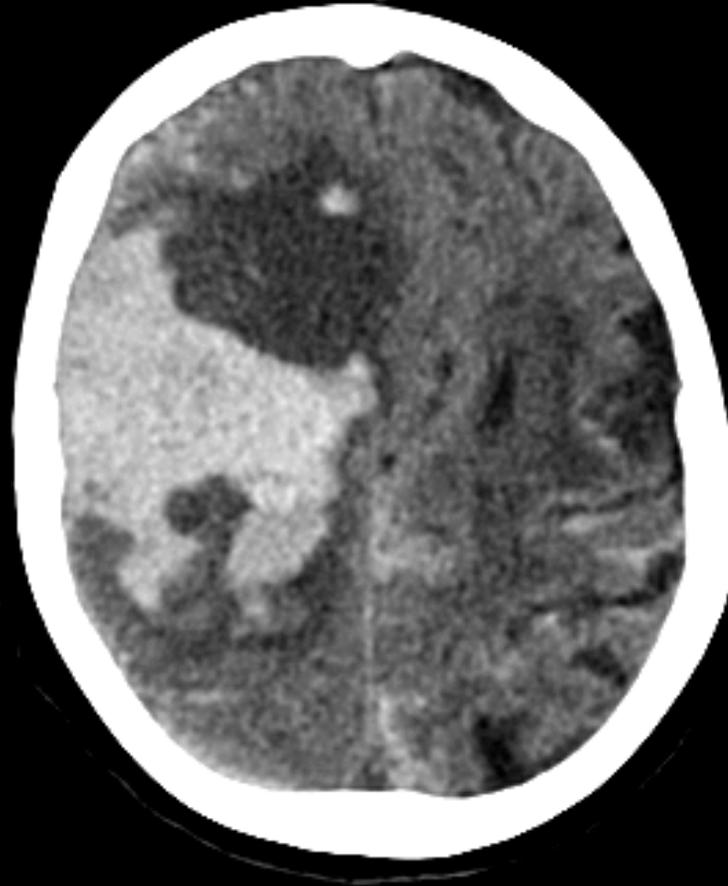
Scanner : phase aigue H0 – J2

- «Isodense» dans les premières minutes
- **Hyperdensité spontanée homogènes à contours nets et dans les premières heures et jours +++ (SAUF si anémie)**
 - Densité maximum = H6-H9 («séparation du sérum»)
- **Hyperdensité hétérogène**
 - Saignements d'âges différents
 - Caillottage au sein de l'hématome
 - Niveau liquide-liquide = saignement actif récent
 - = SUSPECTER troubles COAG ou anti-COAG (Se = 59% / Sp = 98%)



Sang

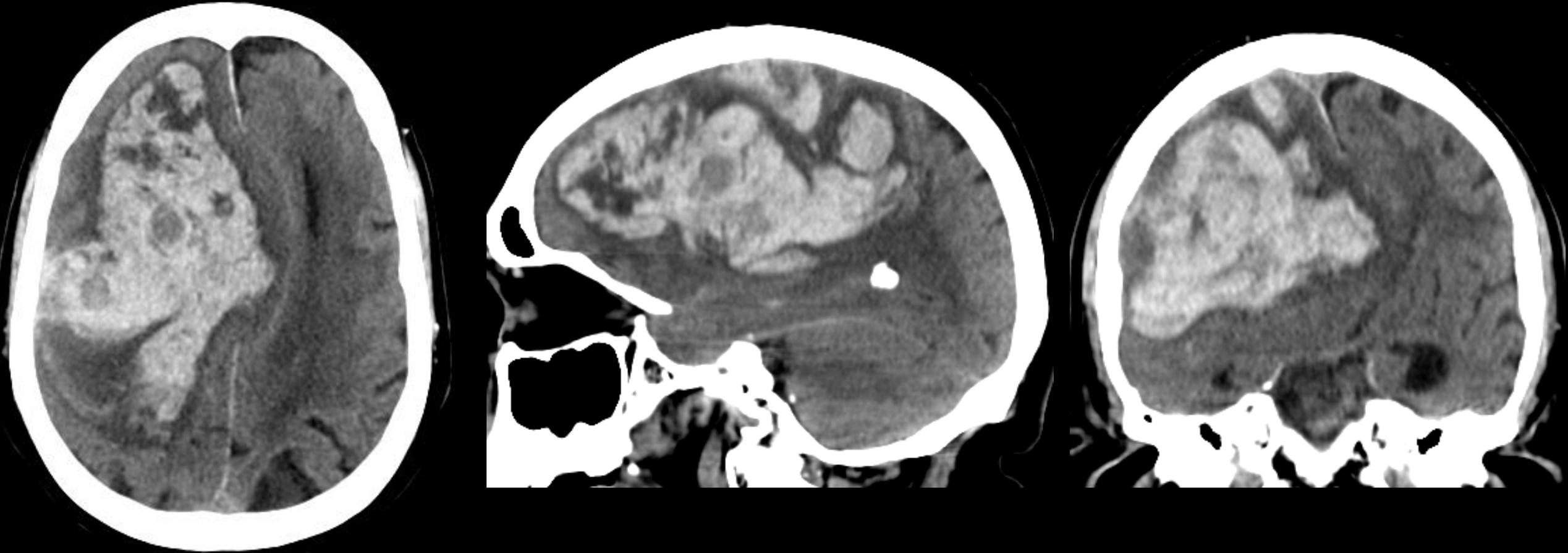
Scanner : phase aigue H0 – J2



Patiente de 76 ans retrouvée inconsciente au sol – Contexte de prise d'AVK

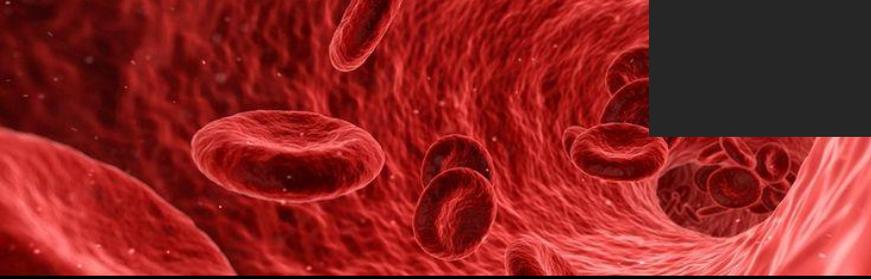
Sang

Scanner : phase aigue H0 – J2



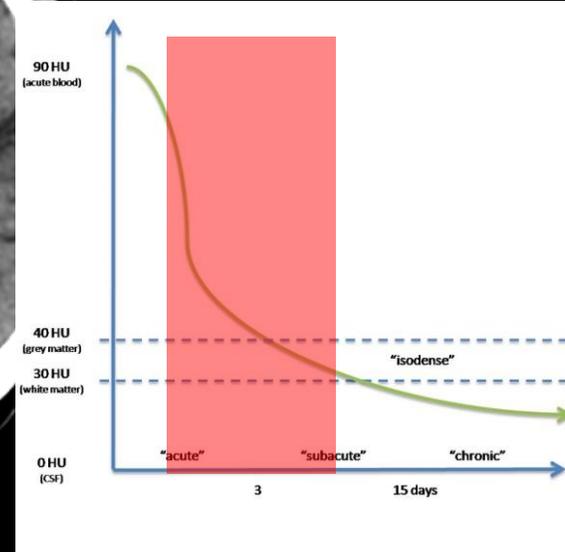
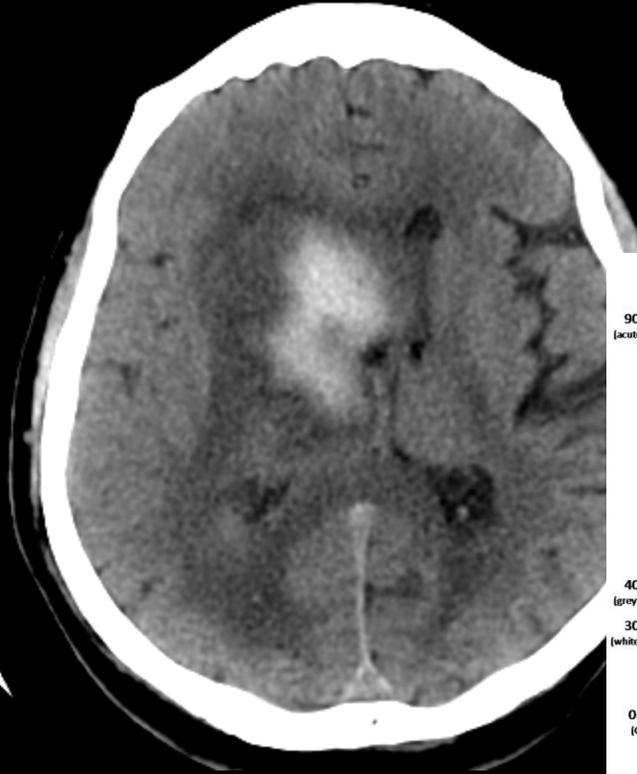
Patient de 87 ans sous AAP après pose de stent ayant présenté un déficit hémicorporel gauche d'apparition brutale puis état comateux

Sang



Scanner : phase subaiguë J3 – J10

- Résorption progressive centripète
- ↘ taille et de densité
 - Evolution progressive vers l'isodensité
- Bords flous +++
- Injection = prise de contraste en cocarde



J7

50-60

J2-J3

Lyse globulaire / Fracture des protéines

↘ densité ≈ 1-1.5 UH/J

J3-J10

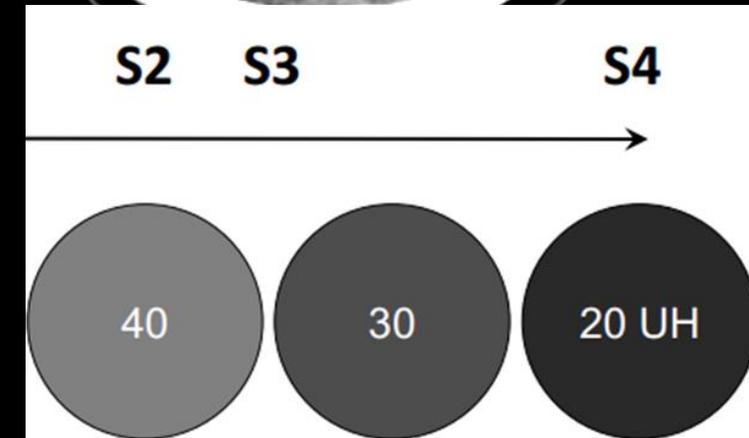
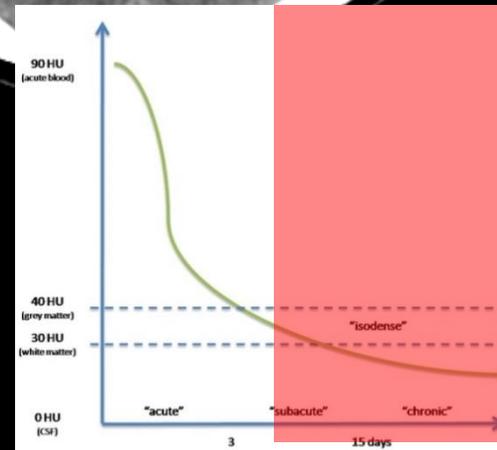
Résorption de l'hématome

centripète

Sang

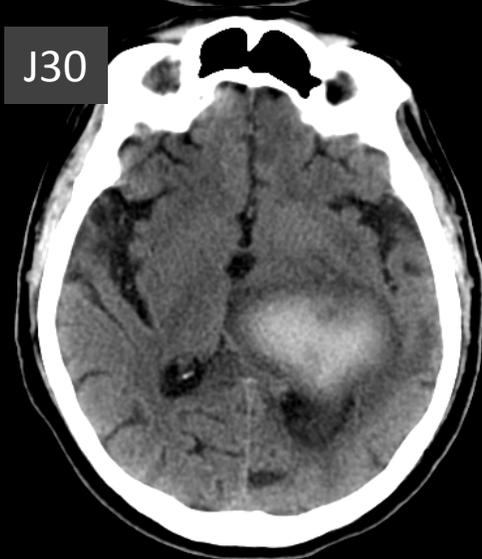
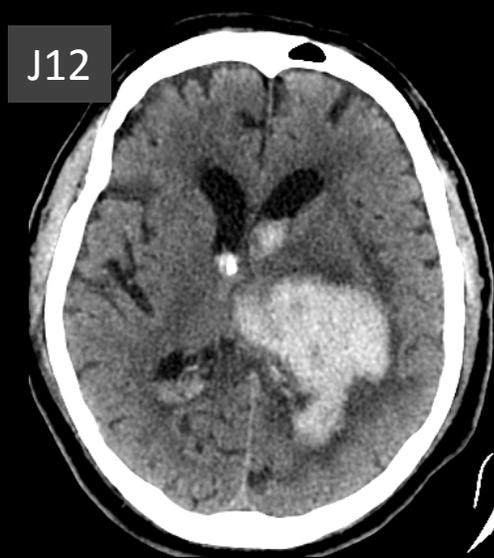
Scanner : phase chronique au-delà de J10

- Résorption progressive centripète
 - Variable (= f(volume, localisation, parenchyme))
- Isodense jusqu'à 3 semaines et hypodense ≥ 4 semaines
- Injection = prise de contraste en cocarde jusqu'à M3
- Evolutions:
 - Hypodensité séquellaire +++
 - Cavité porencéphalique ++
 - Restitution «ad integrum»
 - (Fines calcifications possible)



Sang

Scanner : phase chronique au-delà de J10



Résorption progressive d'un HIP
chez un patient de 76 ans sous
Eliquis

Sang

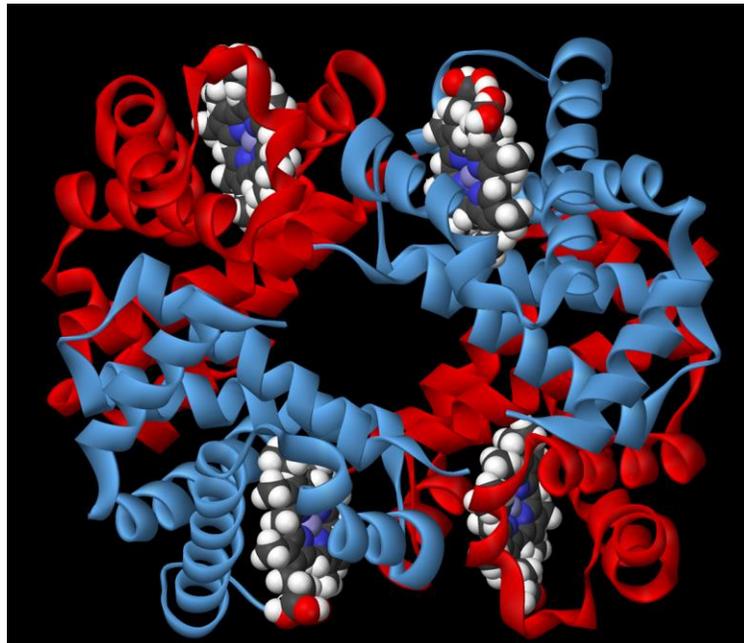
IRM

- Du fait de son contenu riche en eau, sa densité protonique est élevée (0,8 à 0,85) et son T1 est long (800 à 1200ms à 1,5T)
- Le T2 du sang est fonction de son degré d'oxygénation car la désoxyhémoglobine a des propriétés paramagnétiques qui réduisent de façon significative le T2
- Ainsi, le sang artériel a un T2 plus long que le sang veineux
- A la suite d'une hémorragie cérébrale, le signal du caillot sanguin dépend du délai par rapport au saignement car il dépend de la présence d'hémoglobine et de ses produits de dégradation, ainsi qu'à l'intégrité des globules rouges

HEMOGLOBINE

Métalloprotéine

Effet de susceptibilité magnétique χ



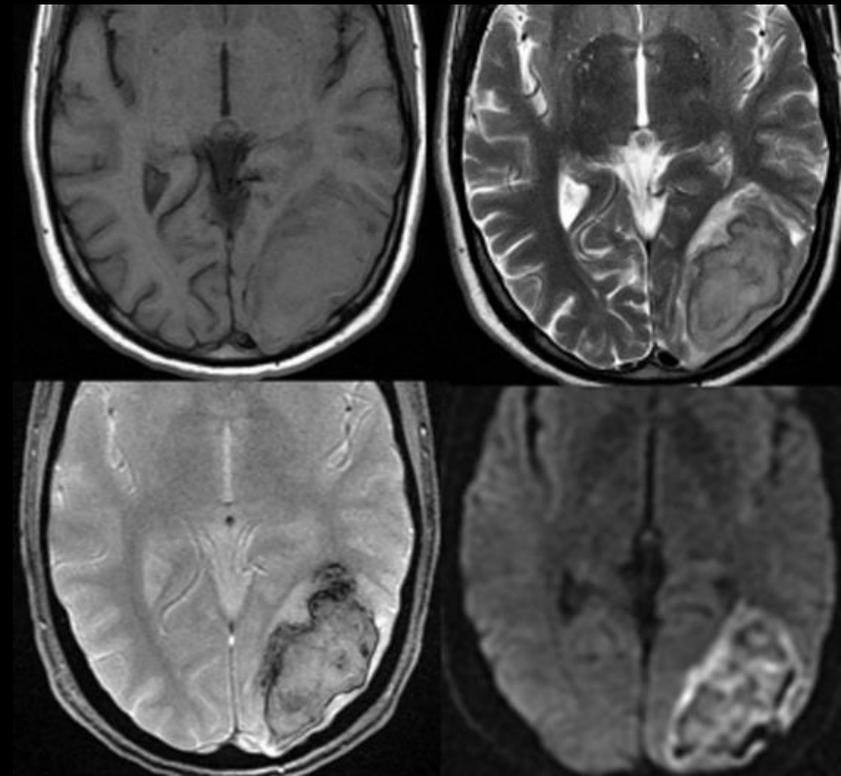
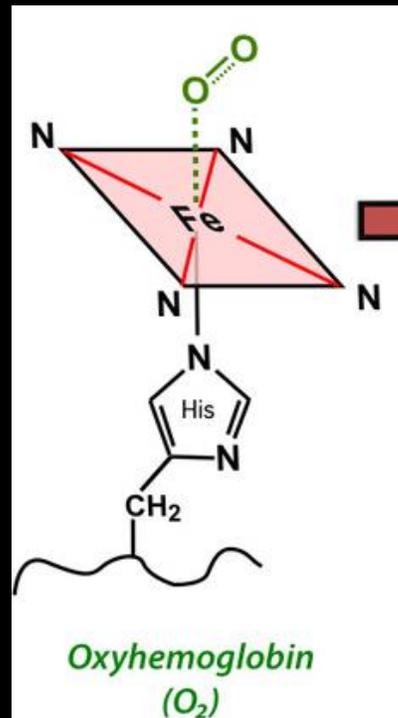
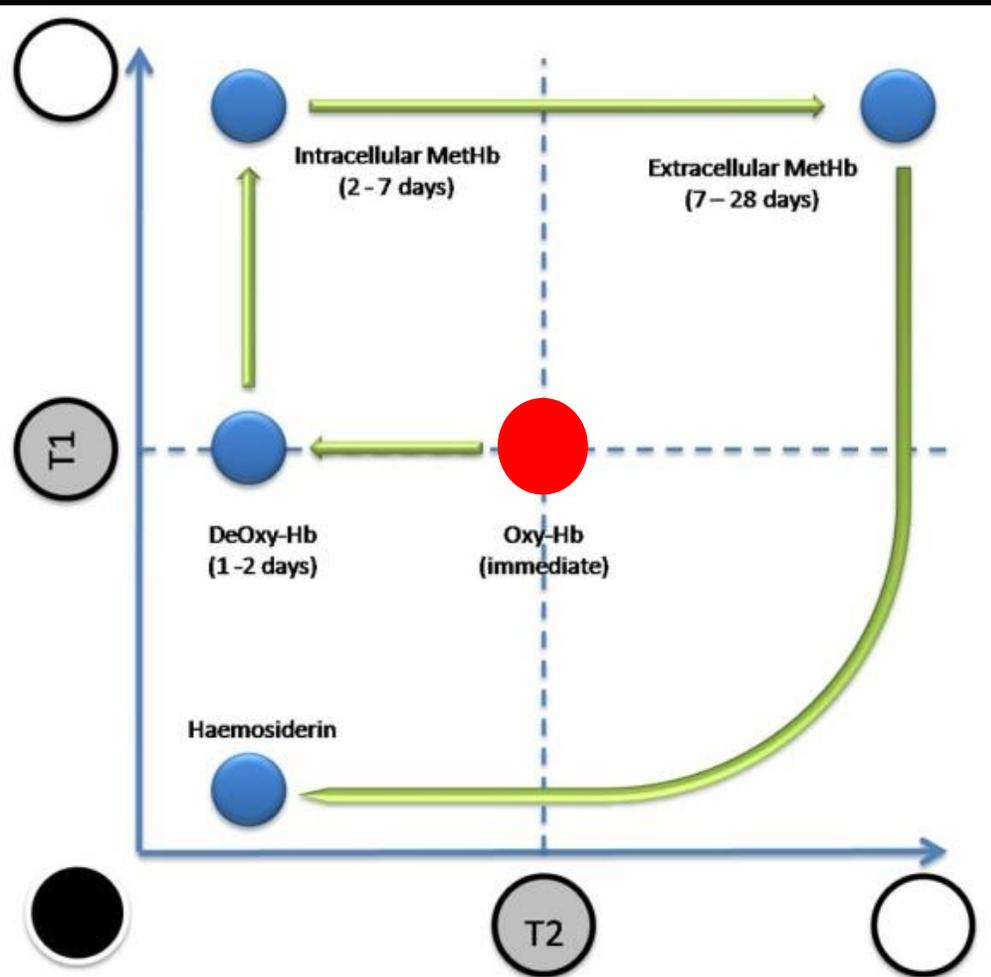
χ fonction du nombre d'électrons non appariés ($N e^-$)

Formes Hb	$N e^-$	χ
OXY-Hb	0	diamagnétique
DEOXY-Hb (Fe^{2+})	4	paramagnétique
MET-Hb (Fe^{3+})	5	paramagnétique
Hémosidérine	>10000	super paramagnétique
Ferritine	>10000 0	super paramagnétique

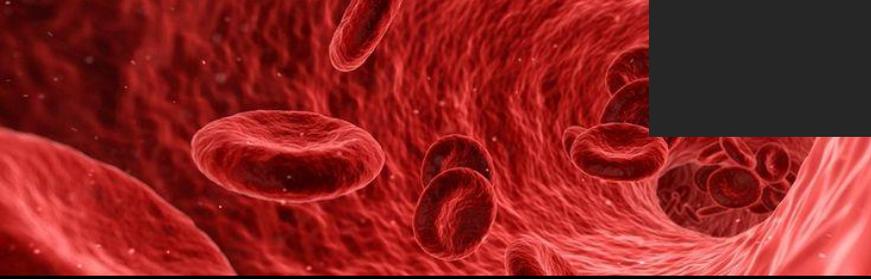
Sang

IRM : Phase hyperaigue : Oxyhémoglobine

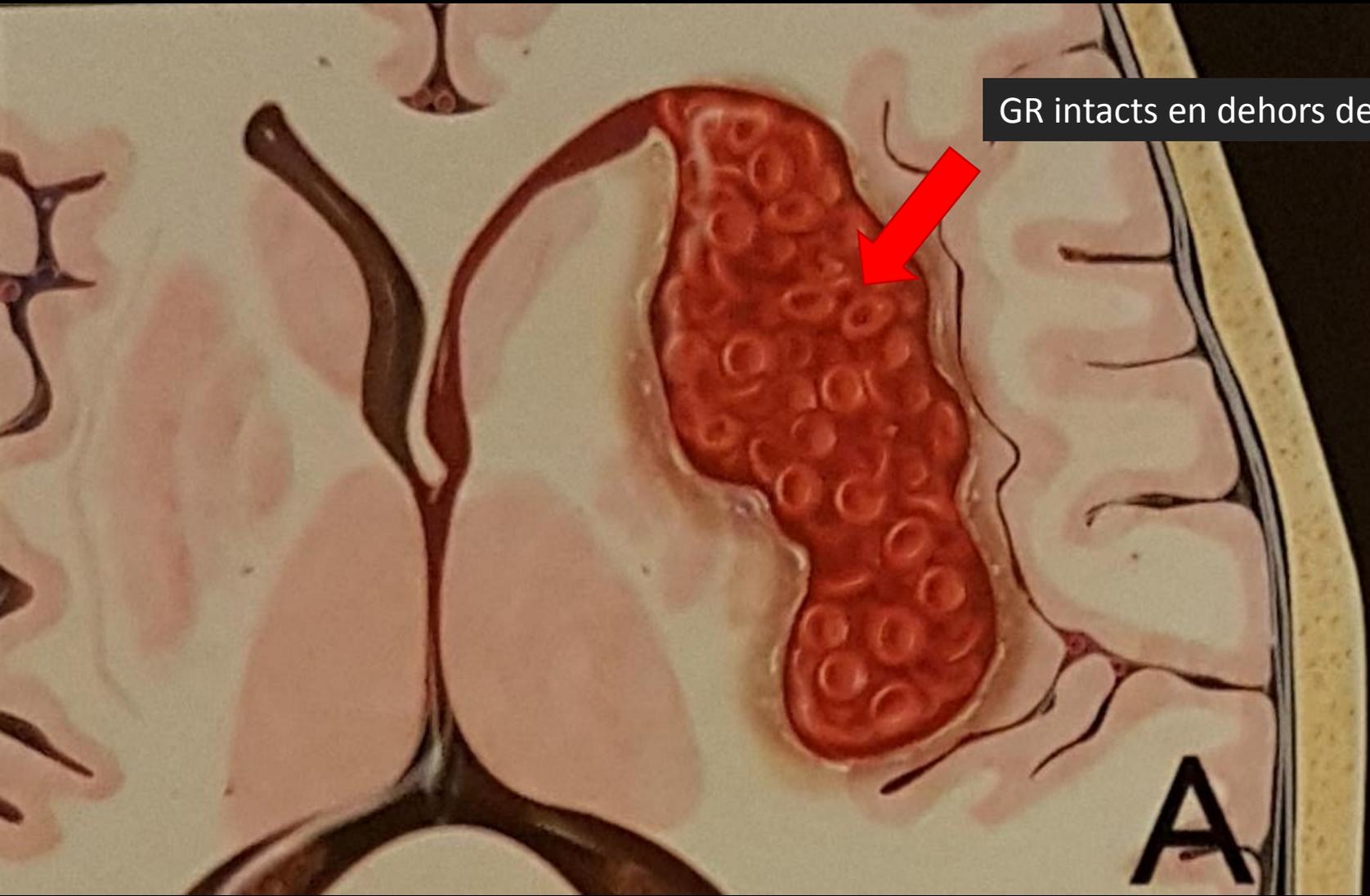
- = Immédiat = PHASE HYPER AIGUË
- = GR en dehors des vaisseaux
- = Hb Oxygénée
- = 0 e- non apparié = Diamagnétique



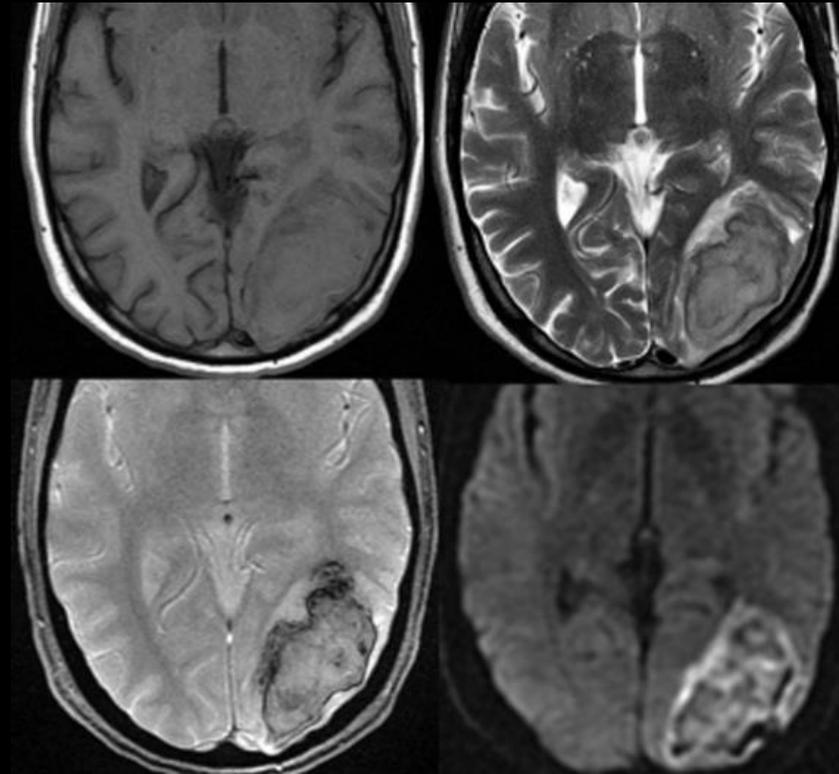
Sang



IRM : Phase hyperaigue : Oxyhémoglobine



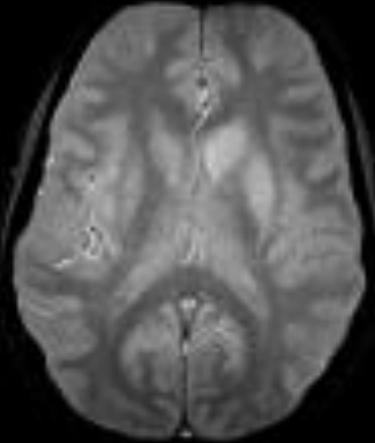
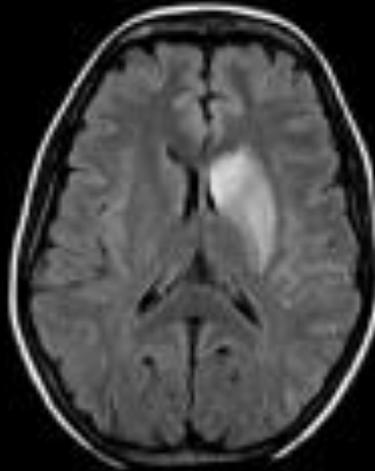
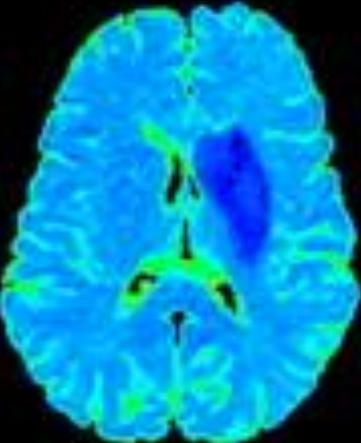
GR intacts en dehors des vaisseaux



Sang

IRM : Phase hyperaigue : Oxyhémoglobine

Case 1



Ischemia

Restriction de diffusion à la phase hyperaigue en raison de l'augmentation de la viscosité du caillot et de la réduction de l'espace extra-cellulaire due à l'accumulation des GR

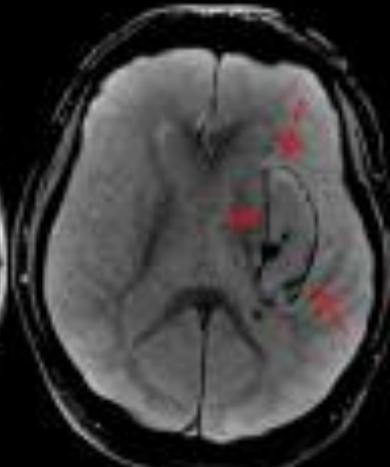
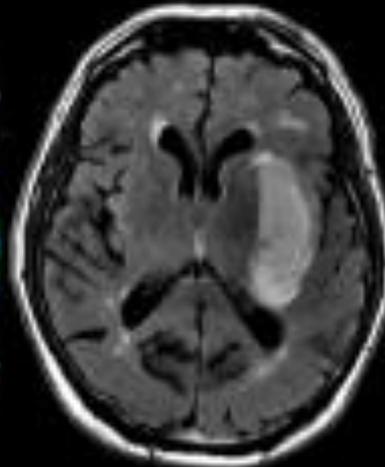
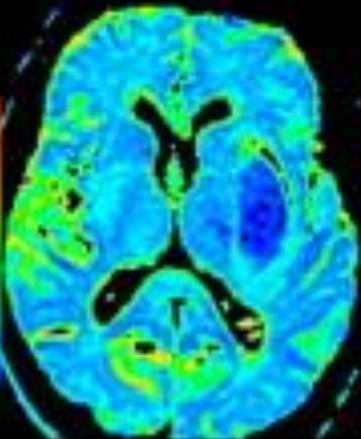
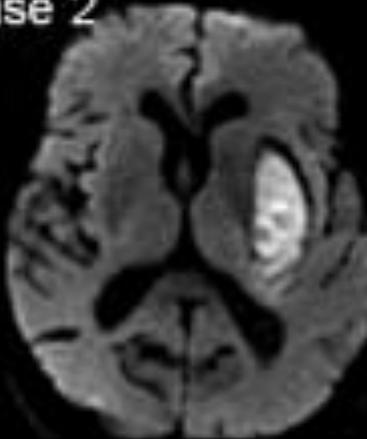
Diffusion

ADC

FLAIR

T2*

Case 2

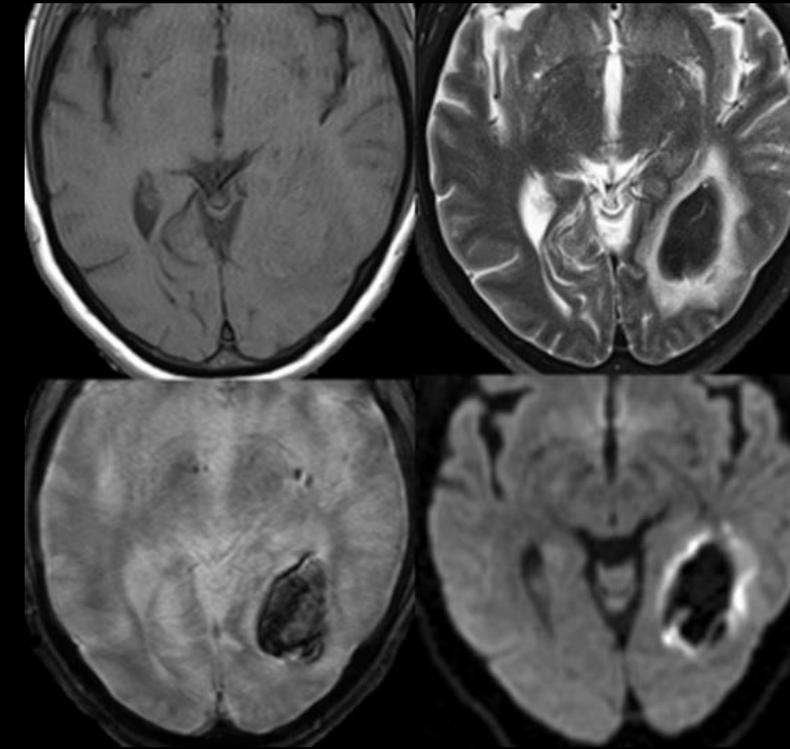
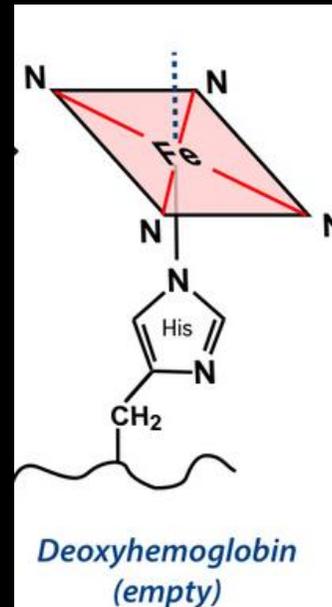
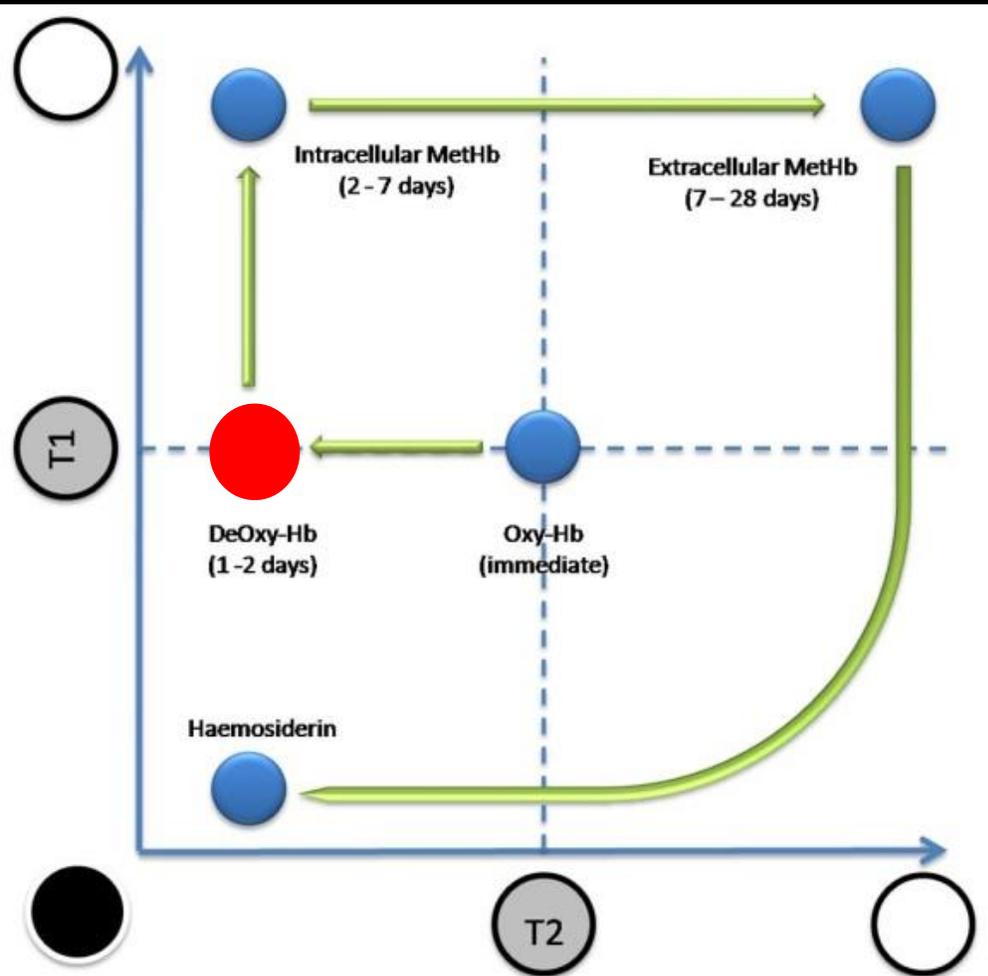


Hematoma

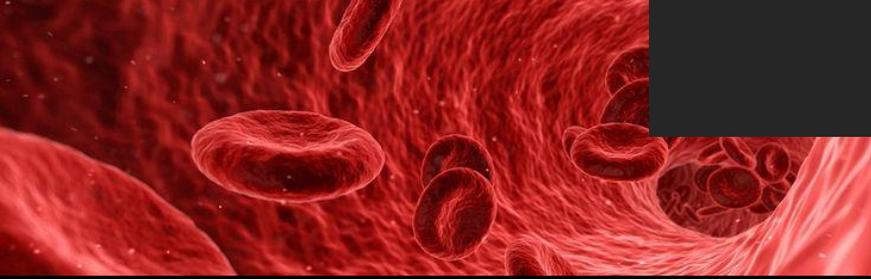
Sang

IRM : Phase aigue : Deoxyhémoglobine

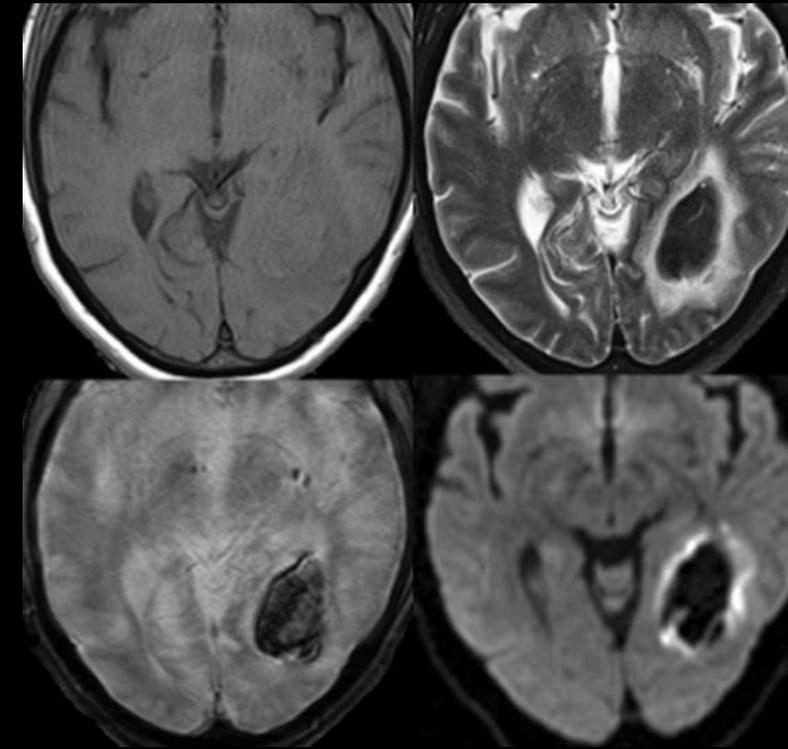
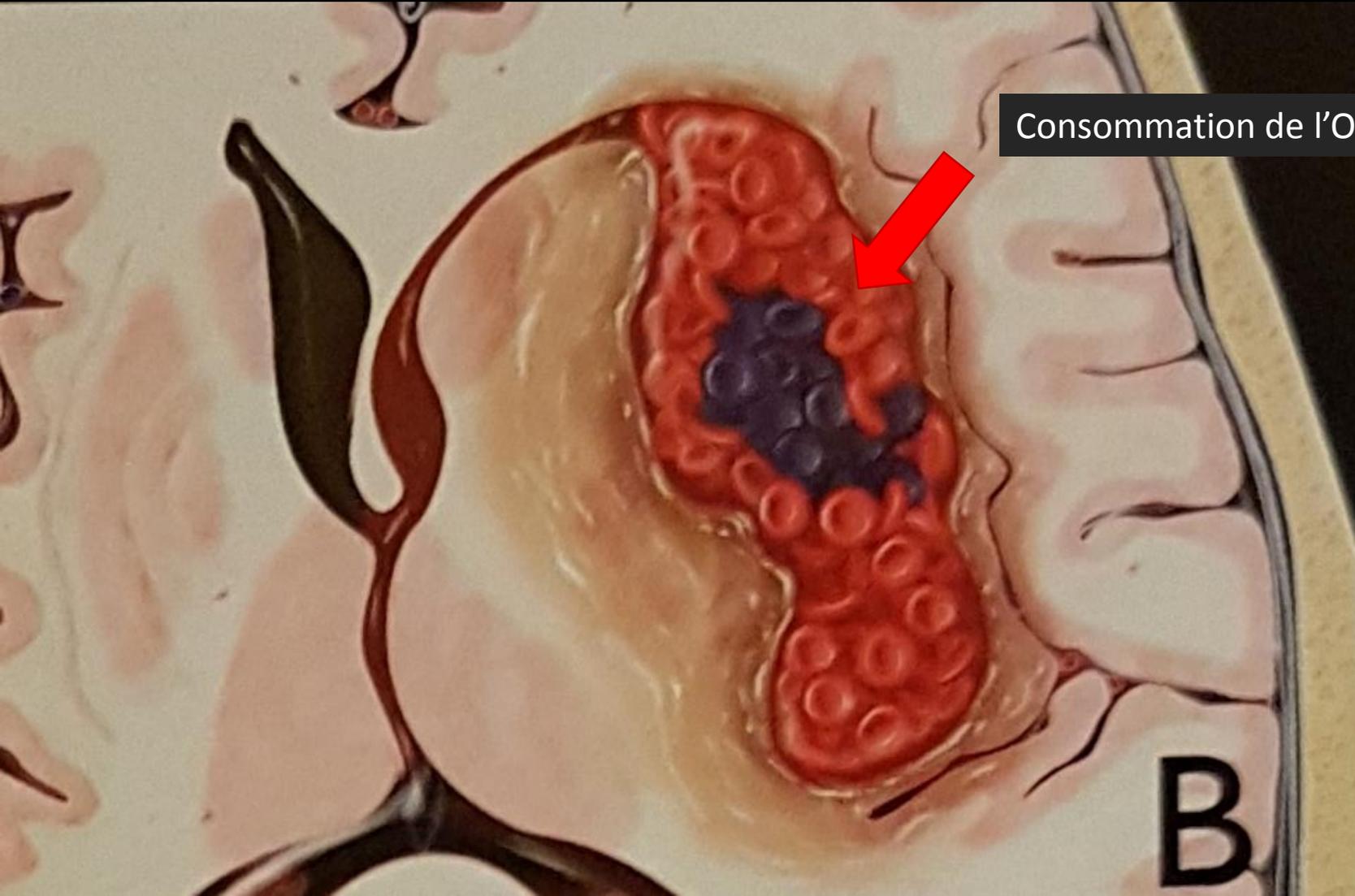
- = 1 –2 JOURS = PHASE AIGUË
- = Consommation de l'O₂
- = Hb Déoxygénée = Fe²⁺
- = 4 e⁻ non appariés = Paramagnétique
- = Chute du signal T2



Sang



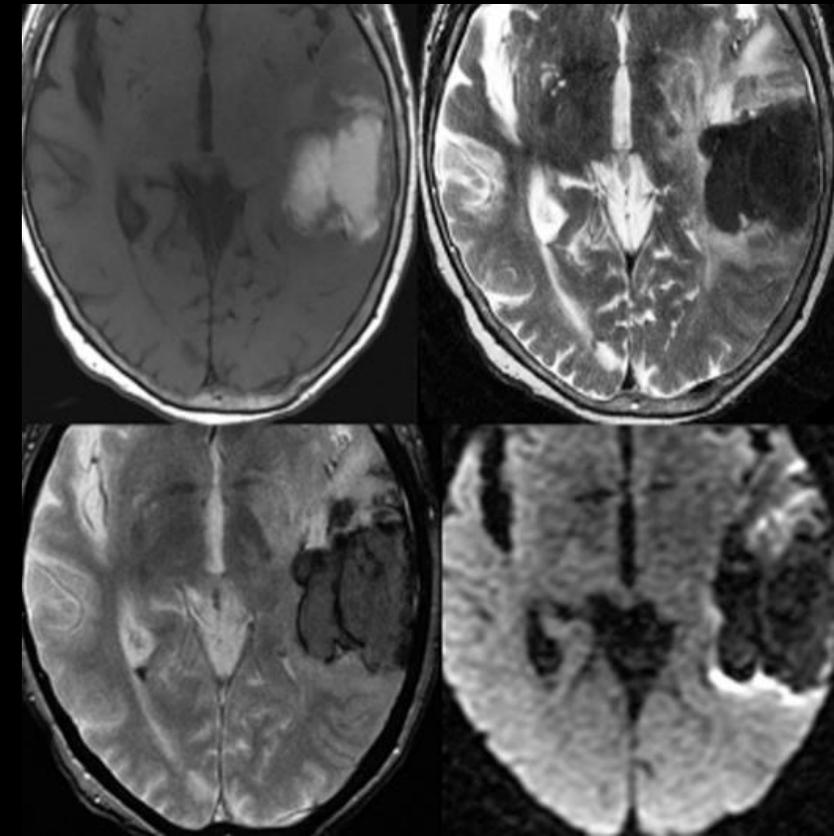
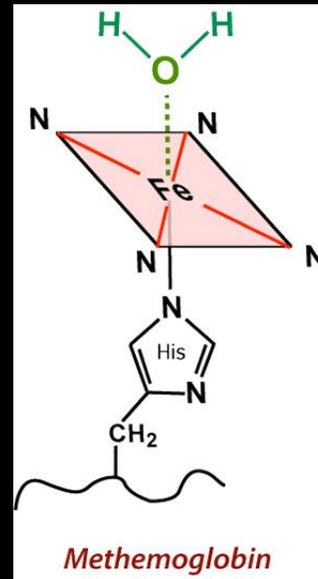
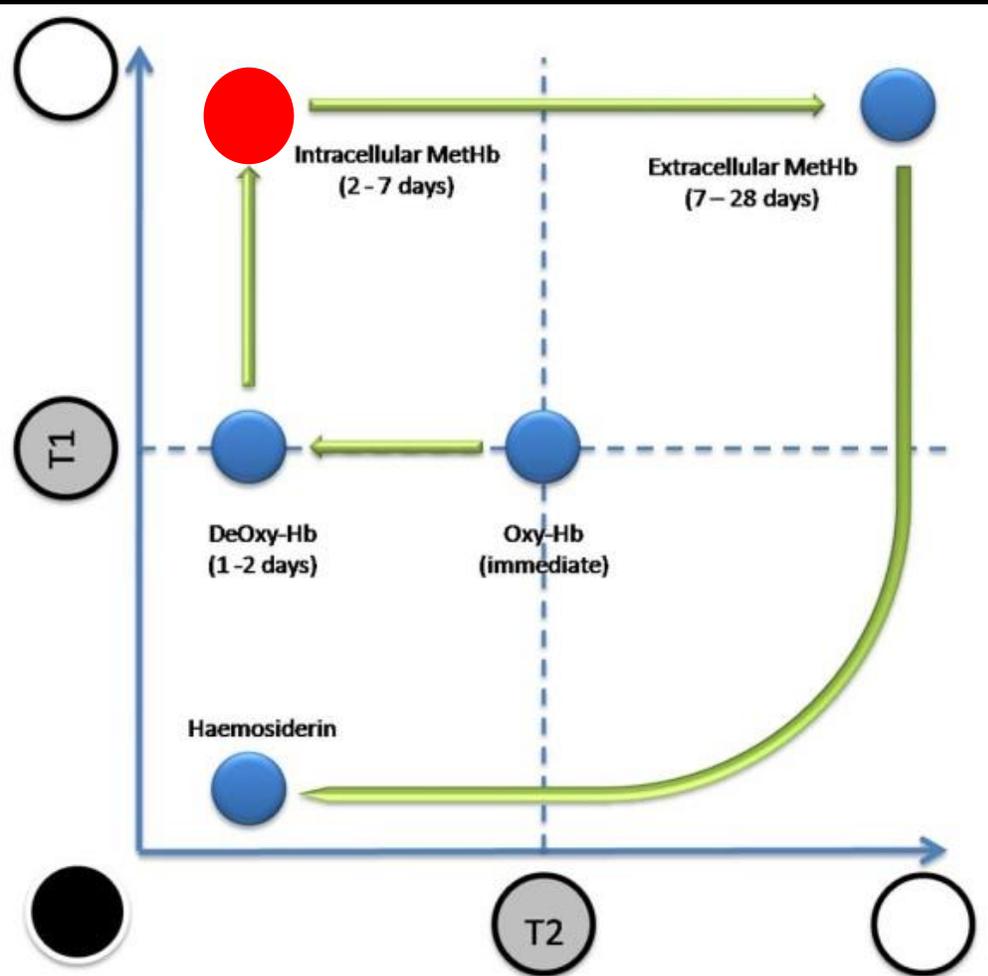
IRM : Phase aigue : Deoxyhémoglobine



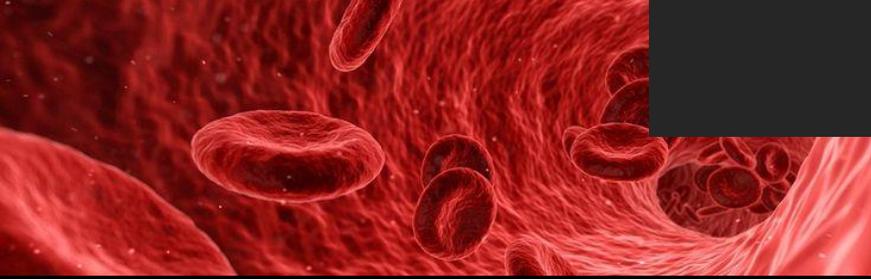
Sang

IRM : Phase subaiguë précoce : Methémoglobine intracellulaire

- = 2 –7 JOURS = PHASE SUBAIGUE PRÉCOCE
- = oxydation du fer = Fe^{3+}
- = 5 e^- non appariés = Paramagnétique ++
- = Effet localisé
- = HYPER T1 / HYPO T2



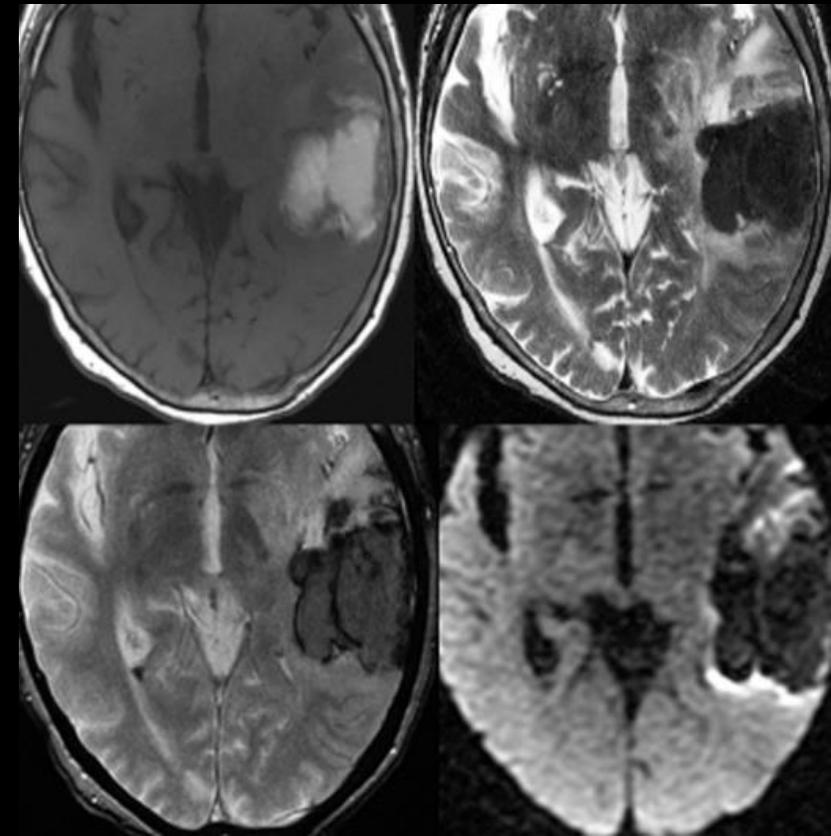
Sang



IRM : Phase subaiguë précoce : Methémoglobine intracellulaire



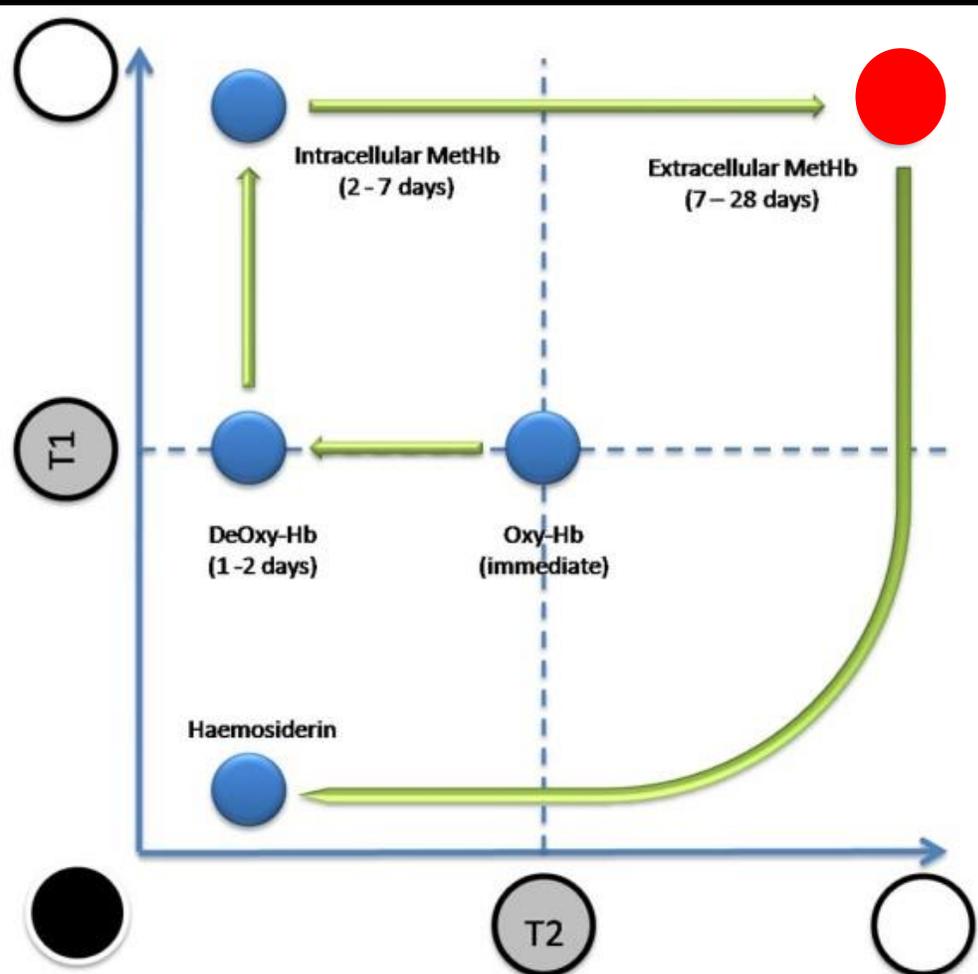
Methémoglobine intracellulaire



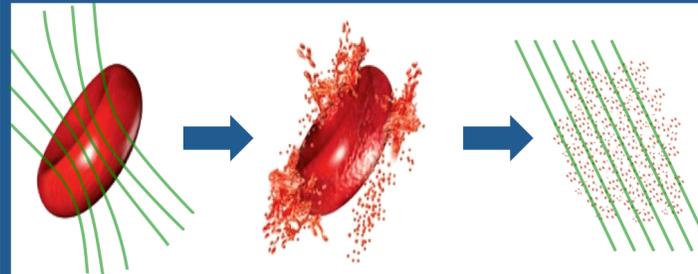
Sang

IRM : Phase subaiguë tardive : Méthémoglobine extracellulaire

- = 1 – 4 SEMAINES = PHASE SUBAIGUË TARDIVE
- = oxydation du fer = Fe^{3+}
- = 5 e- non appariés = Paramagnétique ++
- = Effet NON localisé
- = HYPER T1 / HYPER T2

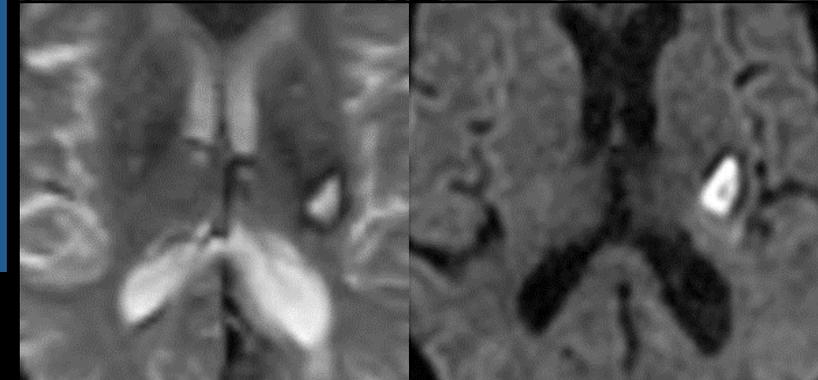
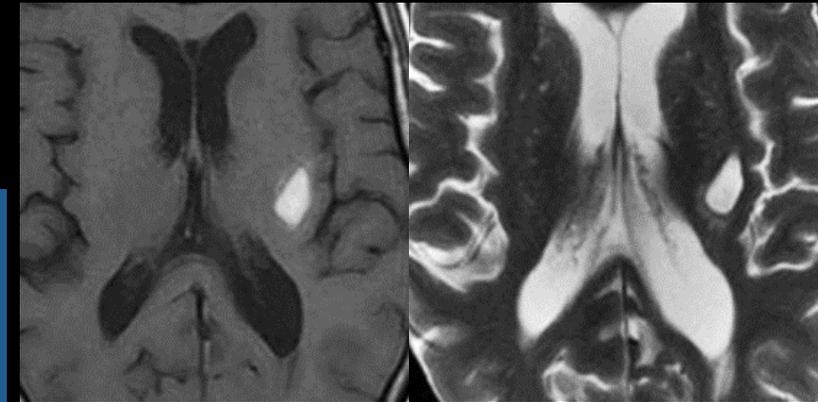


Transition from Intracellular to Extracellular Met-Hb:
Lysis of RBC Destroys T2/T2* Susceptibility Effect

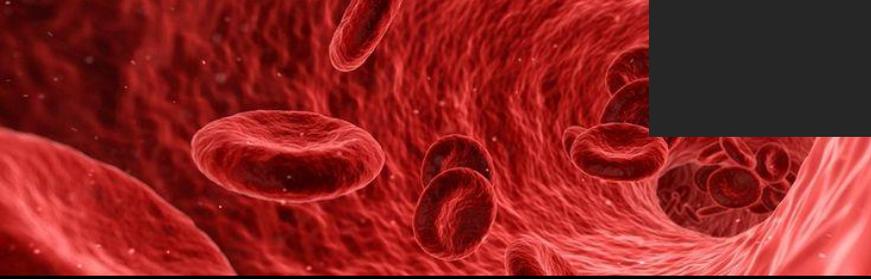


Intracellular Met-hemoglobin
concentrates/distorts
magnetic field
T2 is short (dark)

Extracellular Met-hemoglobin
in solution produces NO local
susceptibility effects
T2 is long (bright)



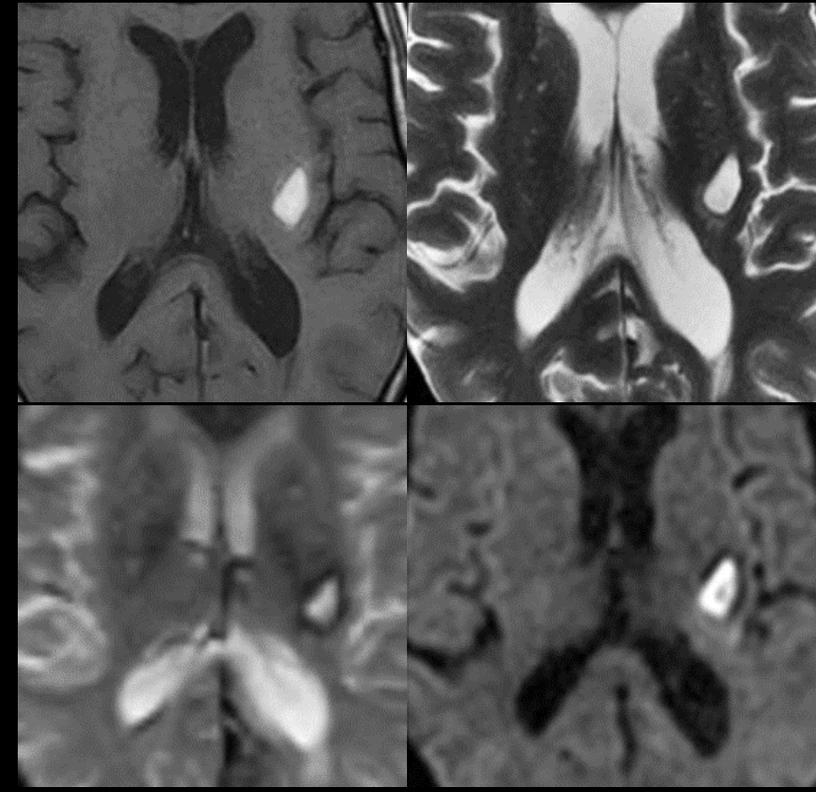
Sang



IRM : Phase subaiguë tardive : Méthémoglobine extracellulaire

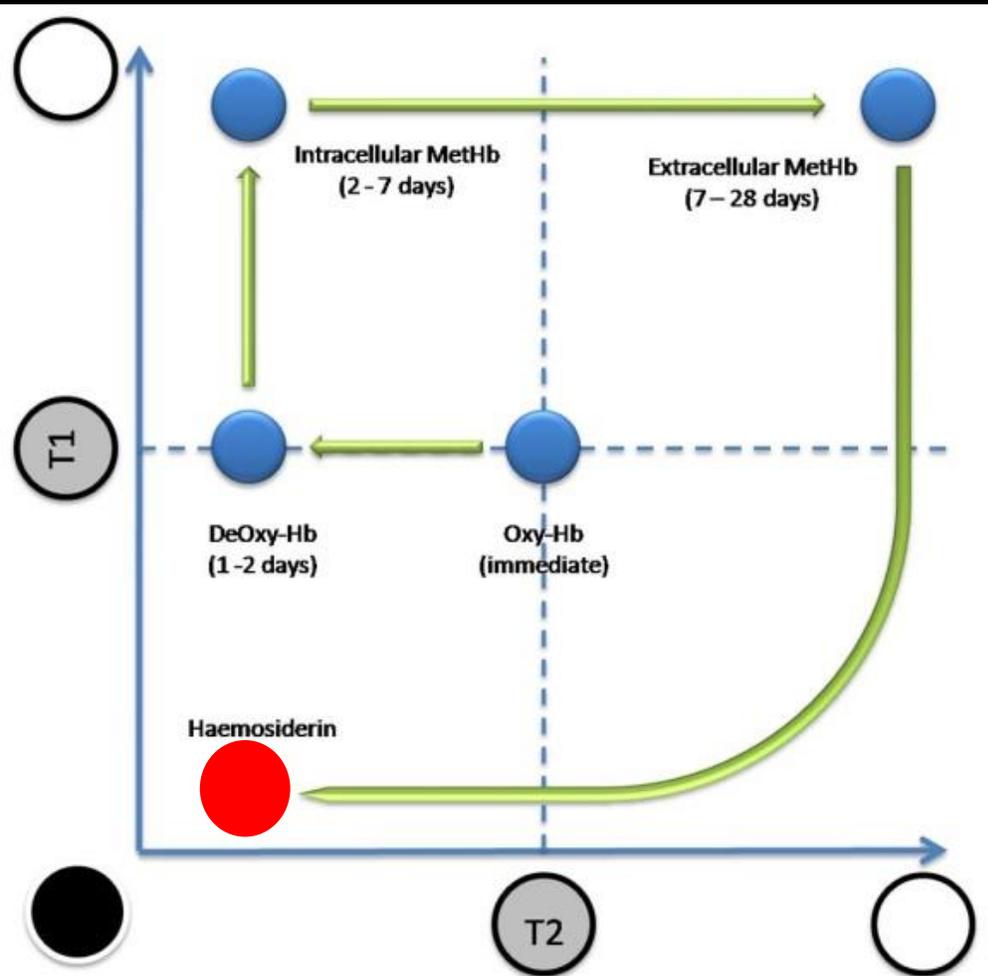
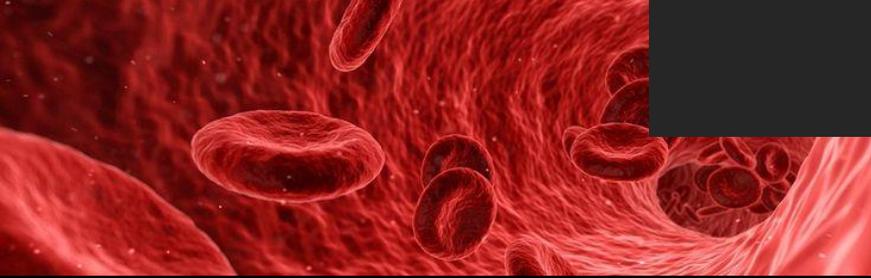


Méthémoglobine extracellulaire

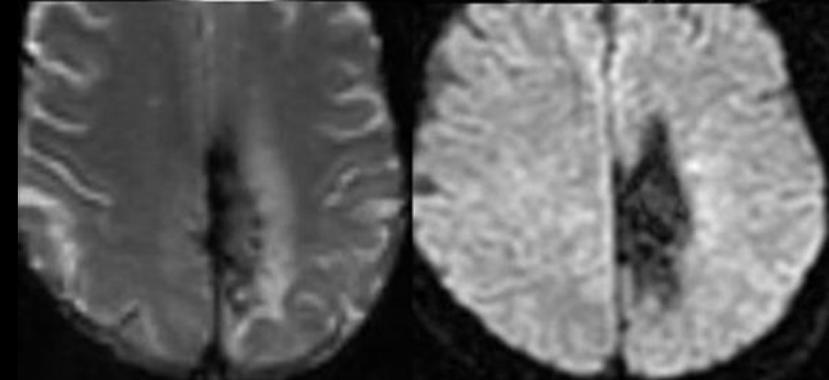
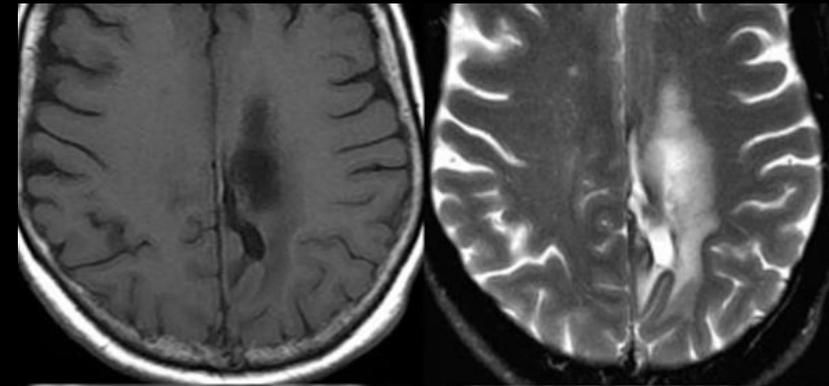
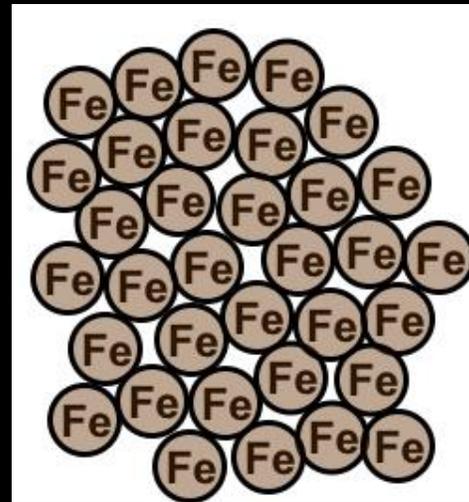


Sang

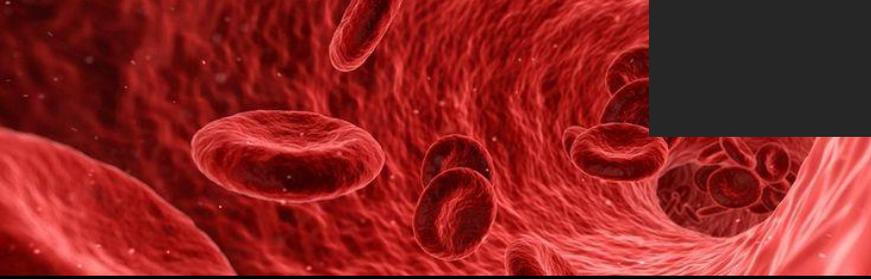
IRM : Phase tardive : Hémosidérine



- > 4 SEMAINES = PHASE TARDIVE
- = les cellules phagocytaires arrivent en périphérie de la lésion pour métaboliser les produits de dégradation de l'hémoglobine. Le fer est retenu sous forme de ferritine et d'hémosidérine
- > 10000 e- non appariés
- = Super paramagnétique
- = HYPO T1 / HYPO T2

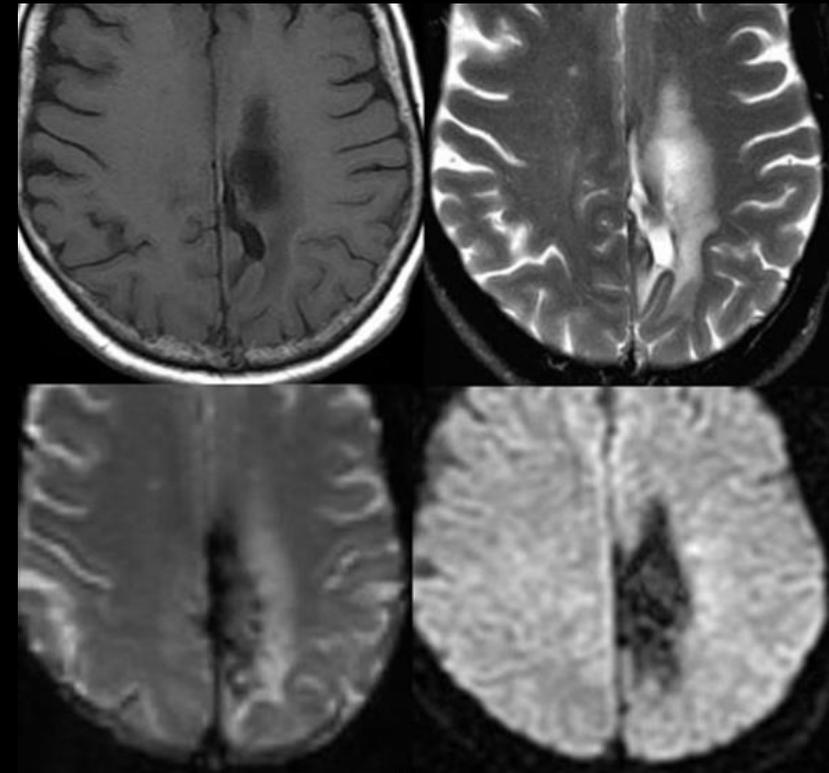


Sang

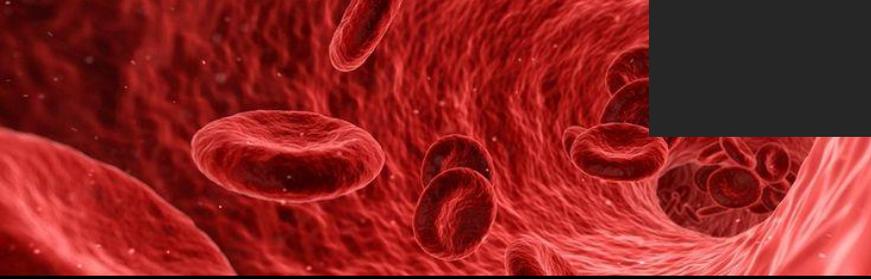


IRM : Phase tardive : Hémosidérine

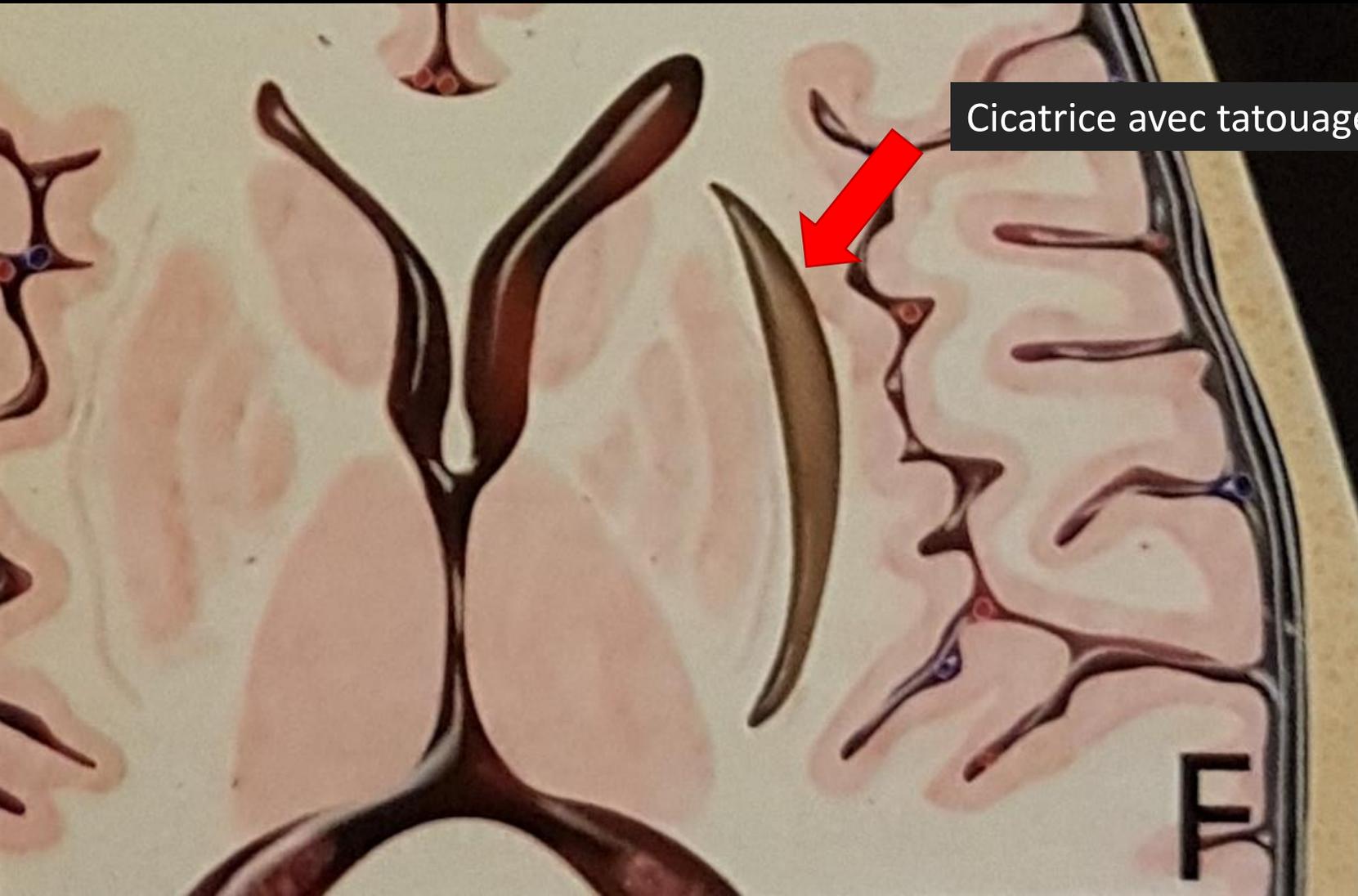
Méthémoglobine extracellulaire + collerette d'hémosidérine



Sang



IRM : Phase tardive : Hémosidérine

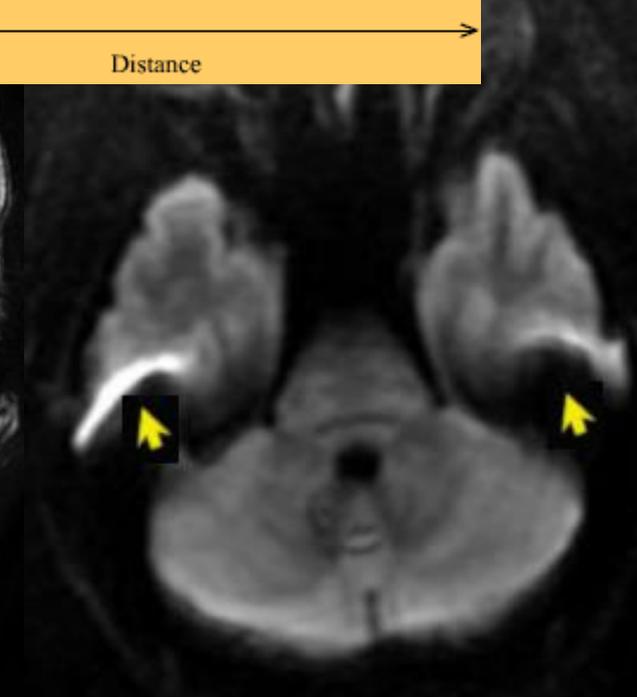
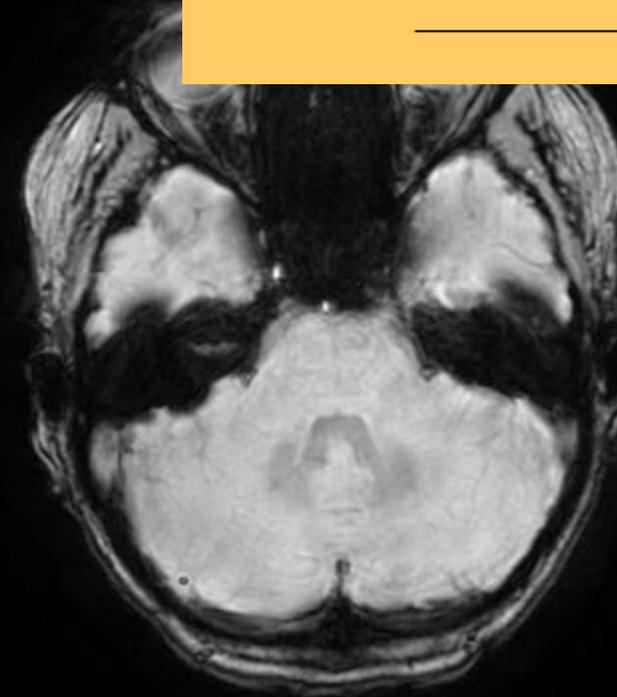
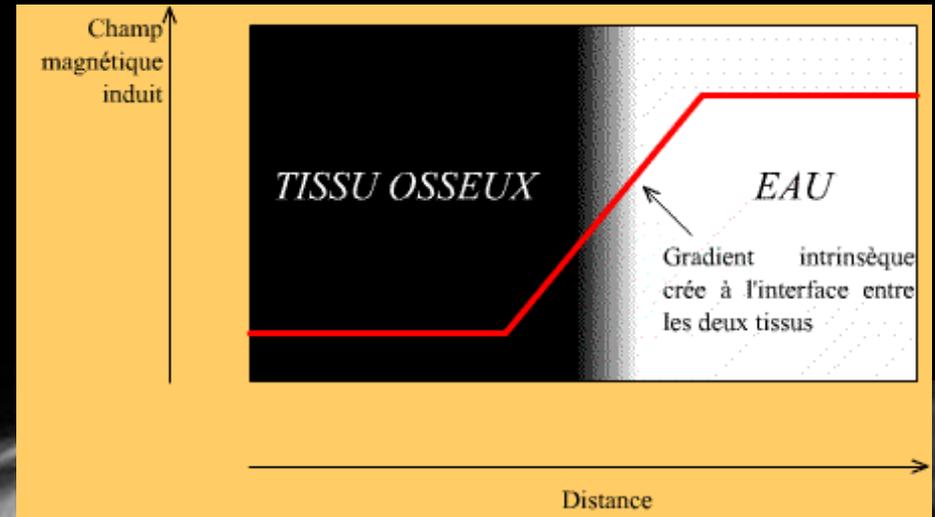


Cicatrice avec tatouage d'hémosidérine

Sang

IRM : Artéfacts de susceptibilité magnétique

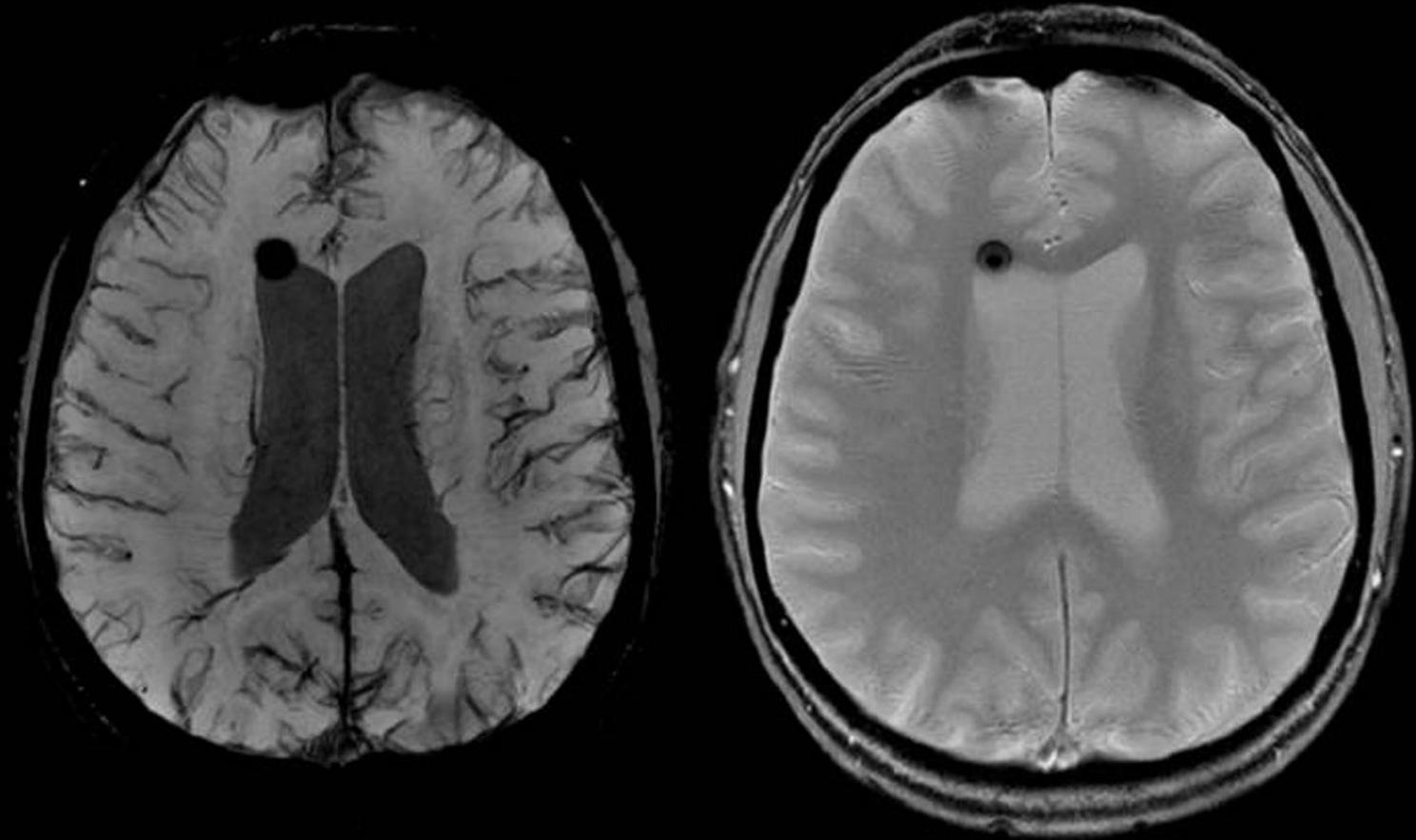
- La susceptibilité magnétique d'un tissu est liée à sa faculté de s'aimanter
- Dans les régions où sont juxtaposées 2 structures ayant des susceptibilités magnétiques très différentes (air/tissu, hémoglobine/tissu, os/tissu...), il existe un gradient de champ magnétique intrinsèque à leur interface
- Ce gradient induit un déphasage des spins au niveau de la zone transitionnelle responsable d'un signal hypo-intense
- Cet artéfact est plus prononcé sur les séquences en EG (sensibles aux inhomogénéités de champs), lorsque le TE est allongé et la taille du pixel augmente, ainsi qu'avec l'augmentation du champ magnétique
- Il est minimisé en utilisant une séquence en ES, un TE court et en augmentant la résolution spatiale



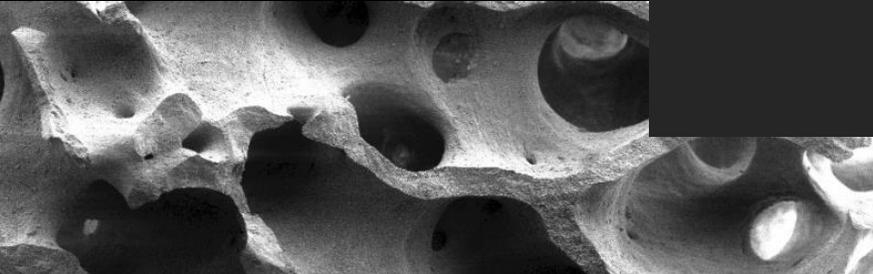
Sang

IRM : Artéfacts de susceptibilité magnétique

- Il est utile dans certaines pathologies pour affirmer un diagnostic (par ex, foyers hémorragiques anciens riches en hemosidérine (pigment ferrugineux), métastases de mélanomes (riches en mélanine) ou encore lésions calcifiées...)
- Il sera plus marqué en Swan qu'en T2*
- Attention, il s'agit d'un artéfact : aucune mesure lésionnelle n'est alors possible !!!

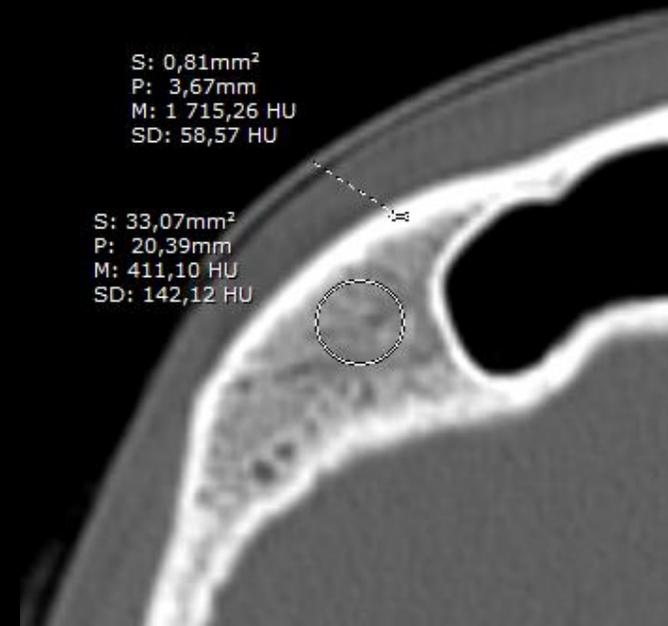
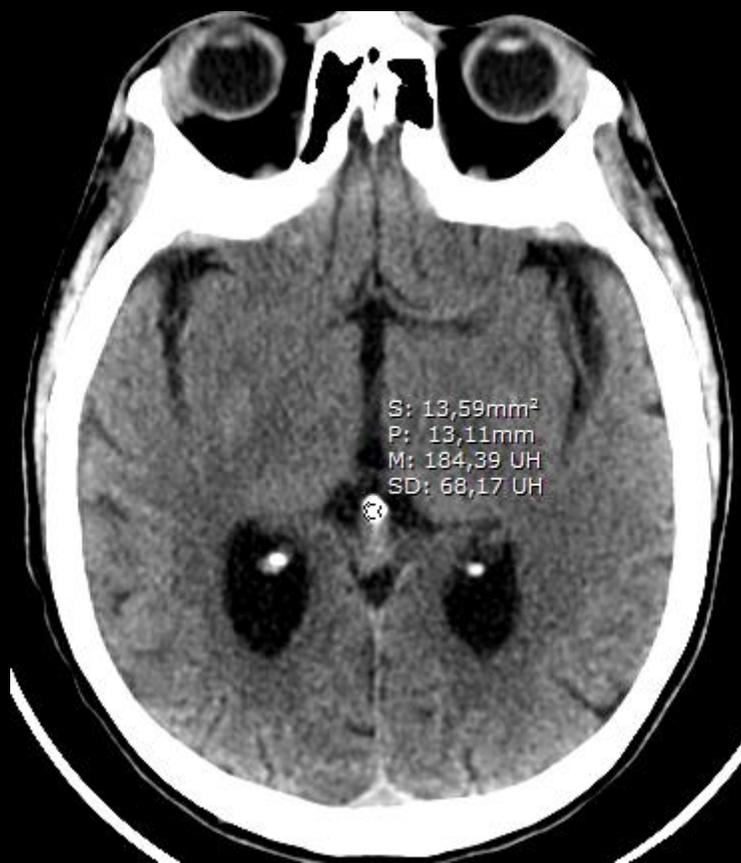
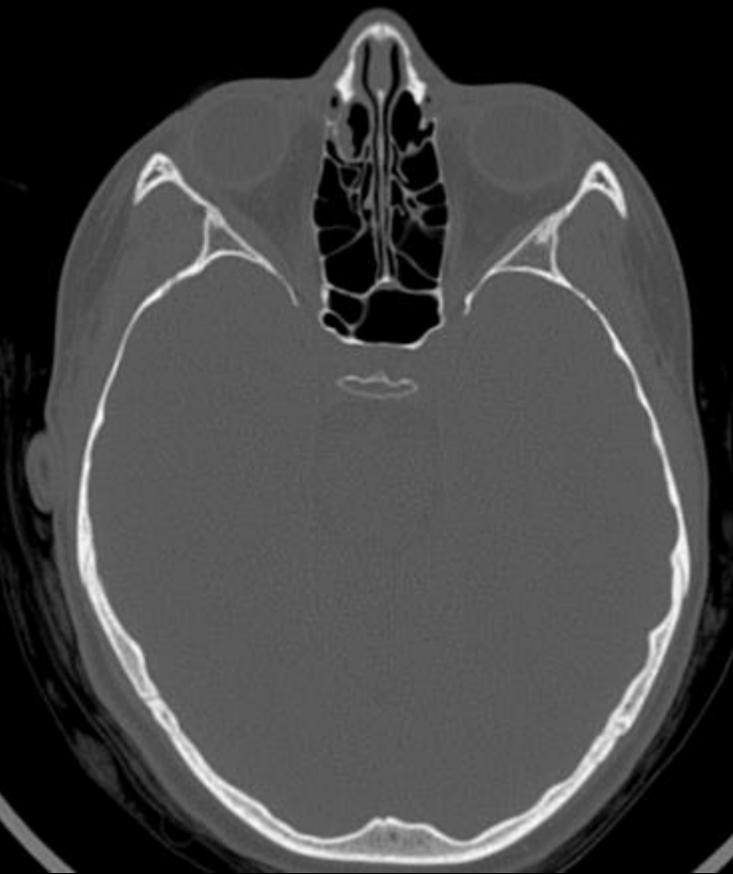
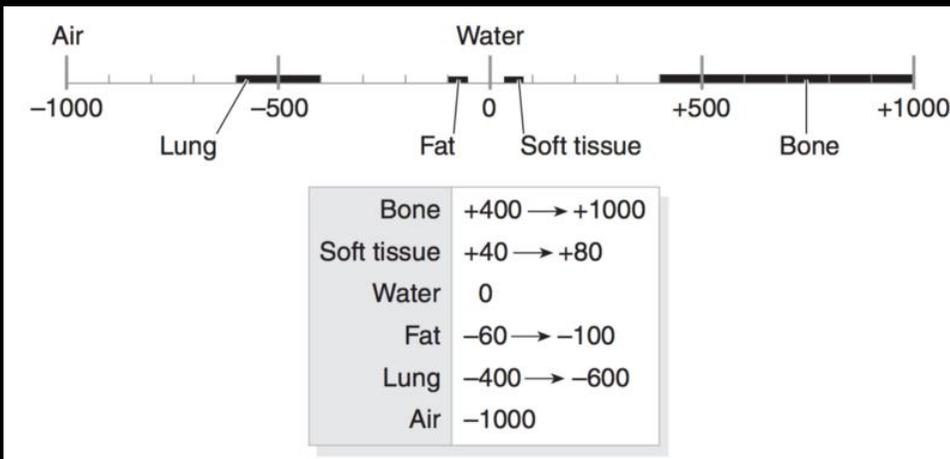


Os / Calcifications



Scanner

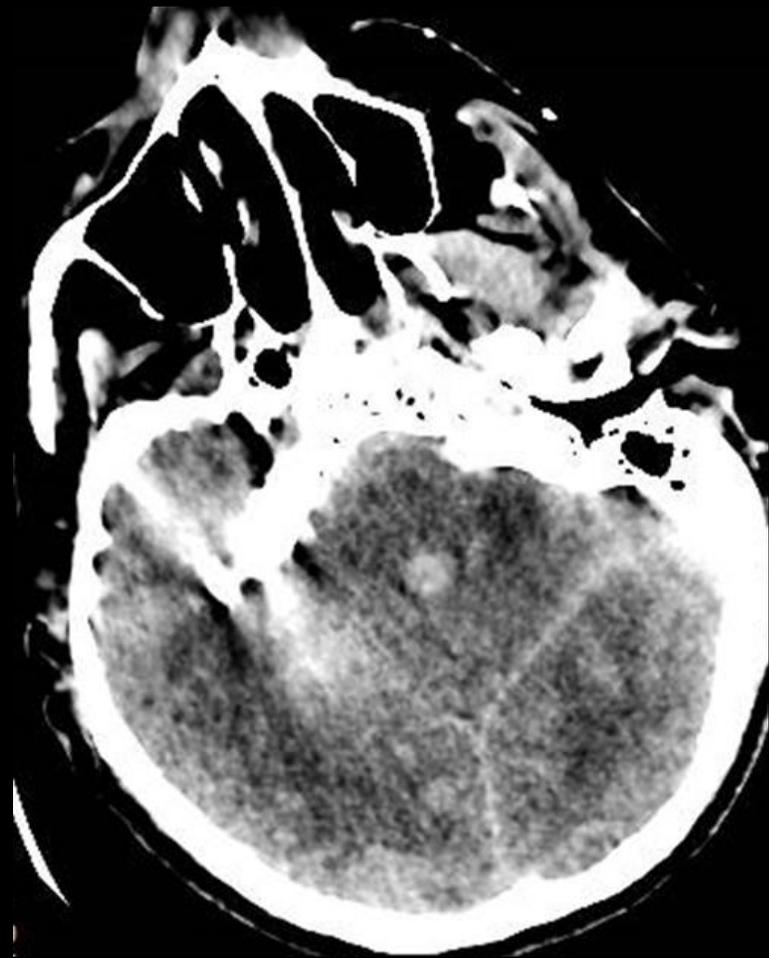
- +300 (os spongieux) à +2 000 (os denses)



Os / Calcifications

Scanner : Artéfacts de durcissement de faisceau

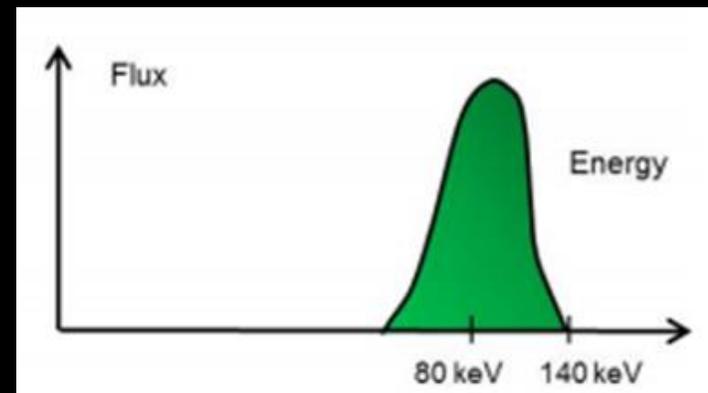
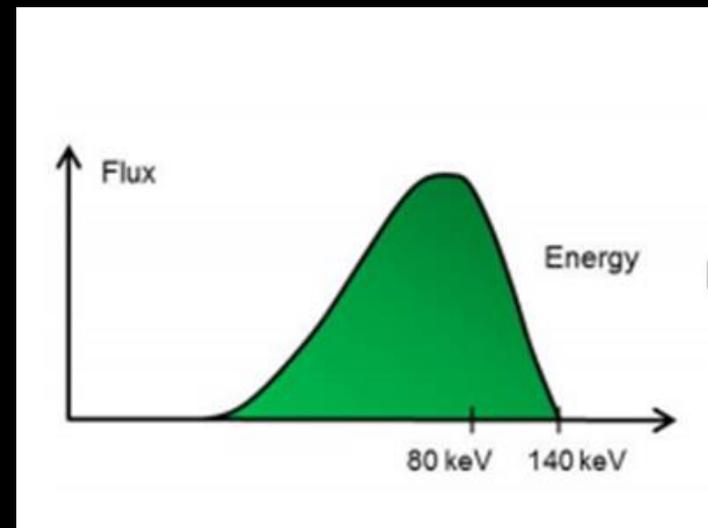
- Apparaissent au voisinage de tissus de forte densité
- Ils sont dus à des différences de densités très élevées au sein de la structure traversée, entraînant un durcissement non uniforme du faisceau
- On distingue alors sur l'image une ombre dans et immédiatement à côté d'une structure à haut contraste



Os / Calcifications

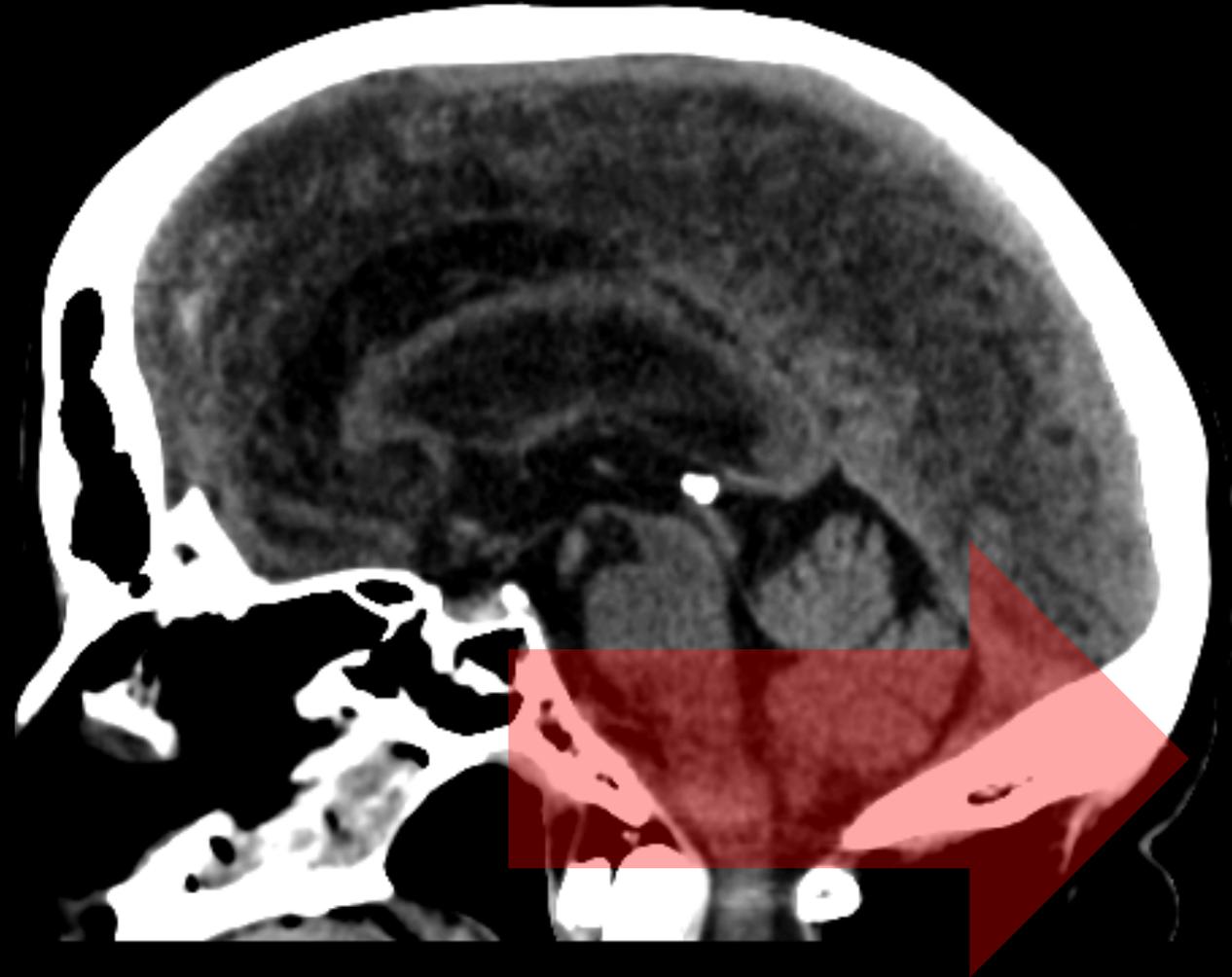
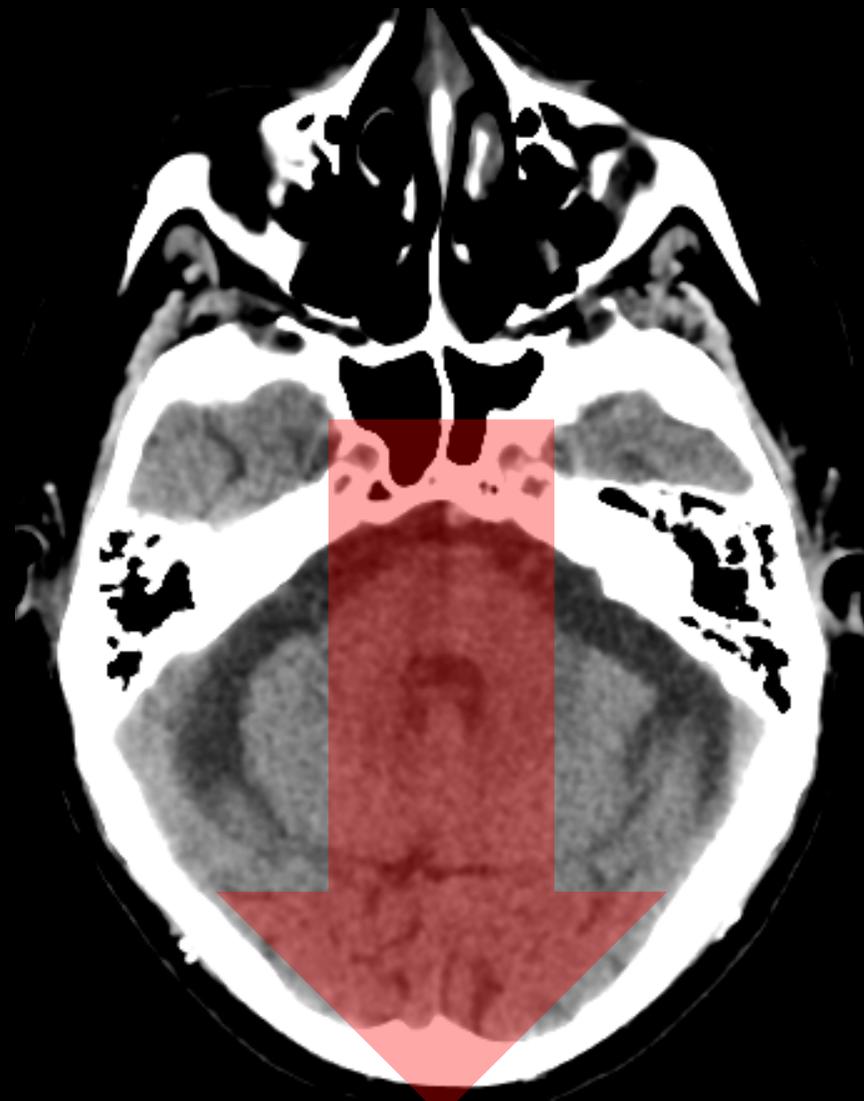
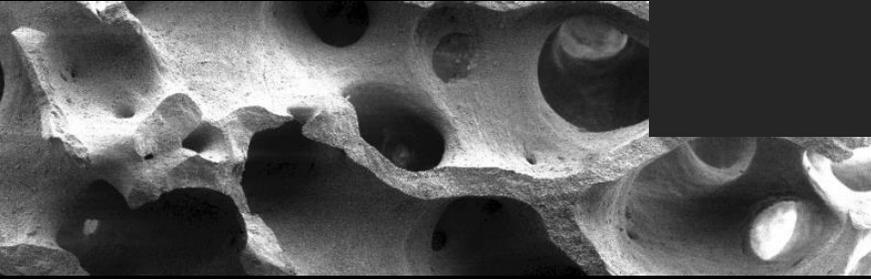
Scanner : Artéfacts de durcissement de faisceau

- En traversant un objet dense (os, métal), les photons de basse énergie sont stoppés, contrairement aux photons de hautes énergies : le faisceau de rayon X s'est durci
- Le spectre de rayon qui arrivera sur les détecteurs ne contient que des photons de haute énergie, ce qui entraîne des erreurs de mesure des détecteurs avec artéfacts en bandes noires ou artefact de durcissement (beam-hardening artifact)



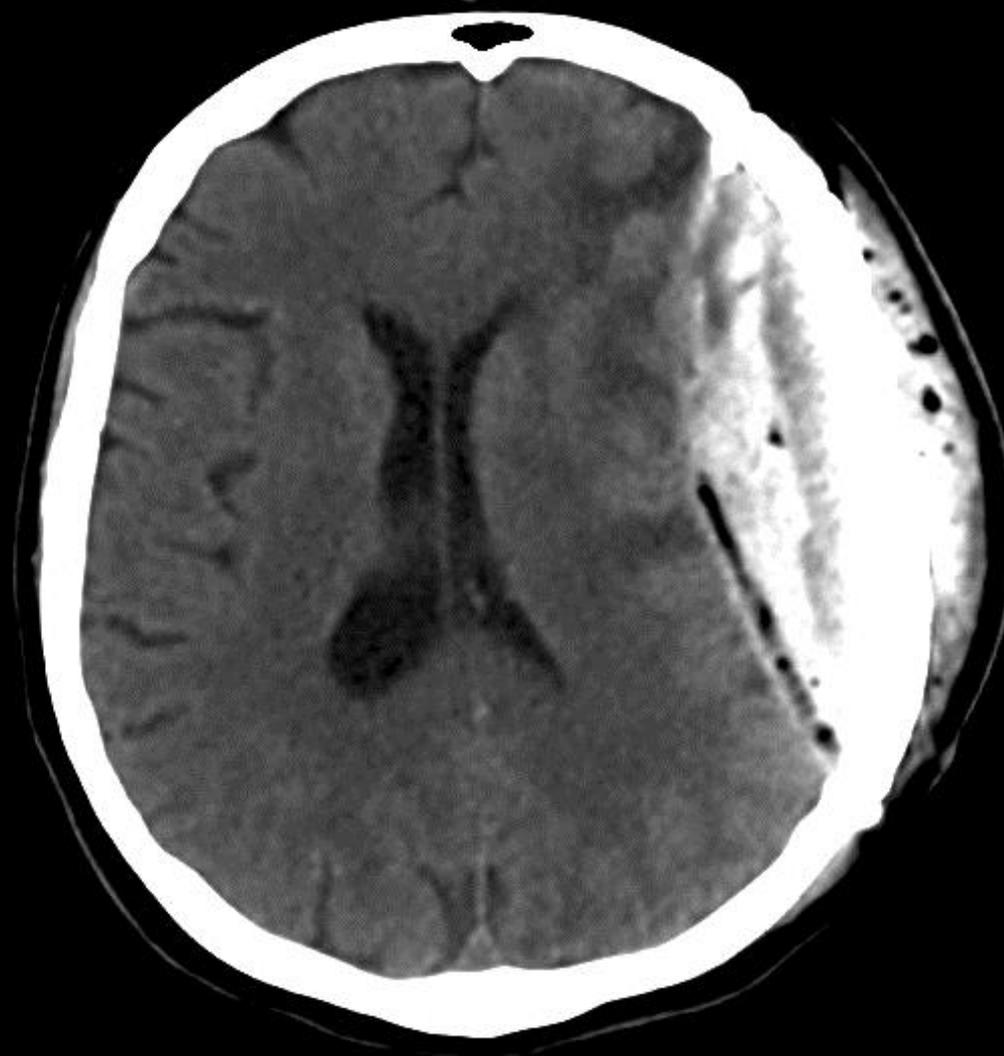
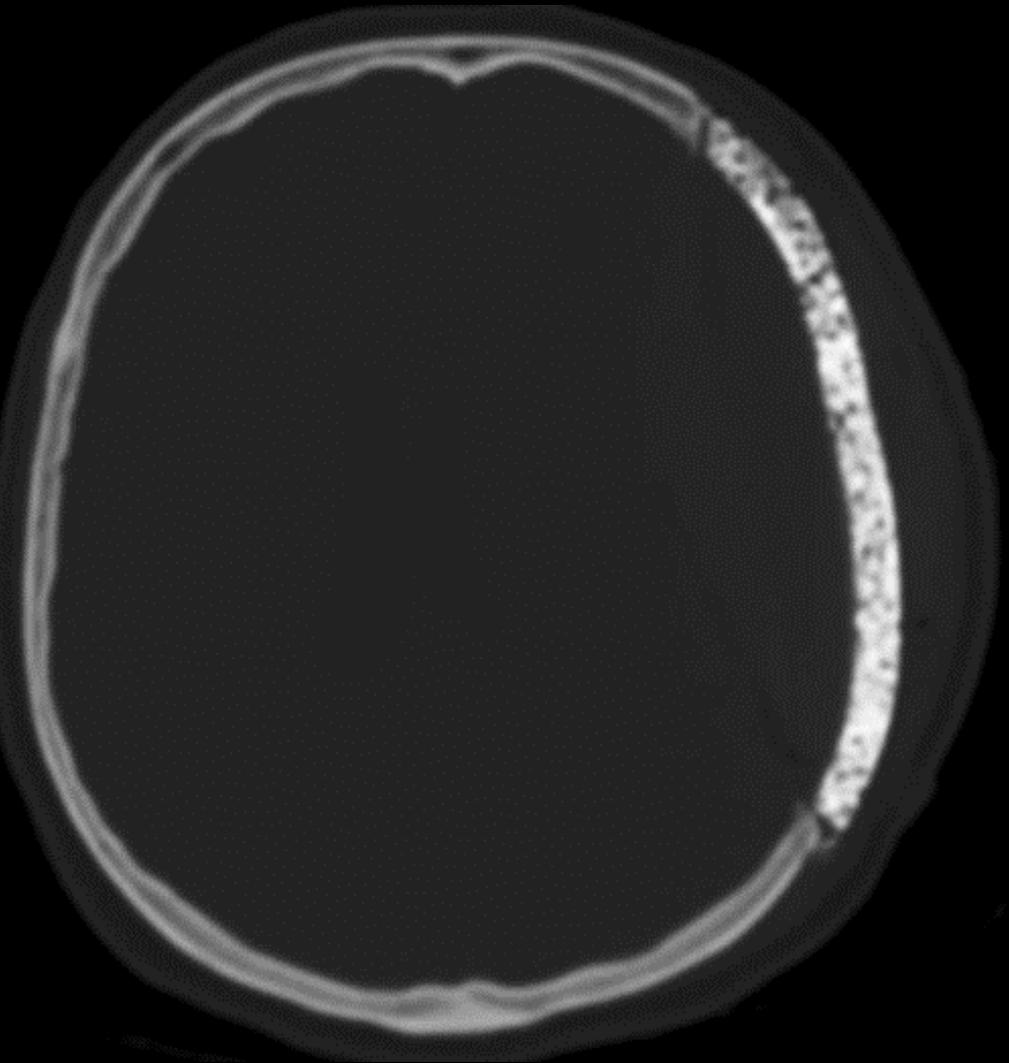
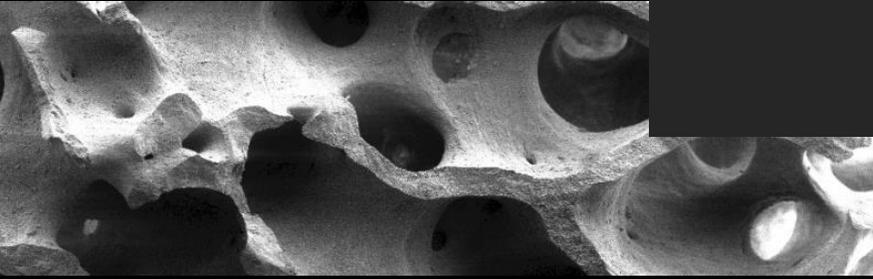
Os / Calcifications

Scanner : Artéfacts de durcissement de faisceau

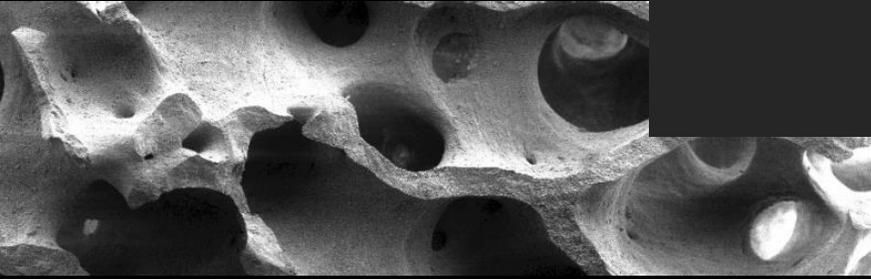


Os / Calcifications

Scanner : Artéfacts de durcissement de faisceau

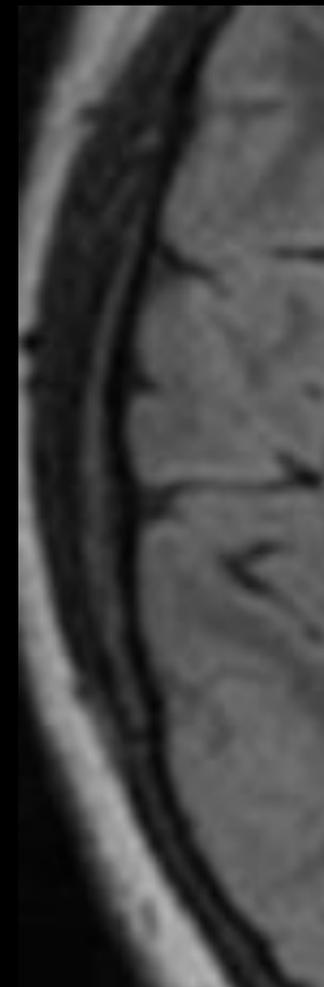
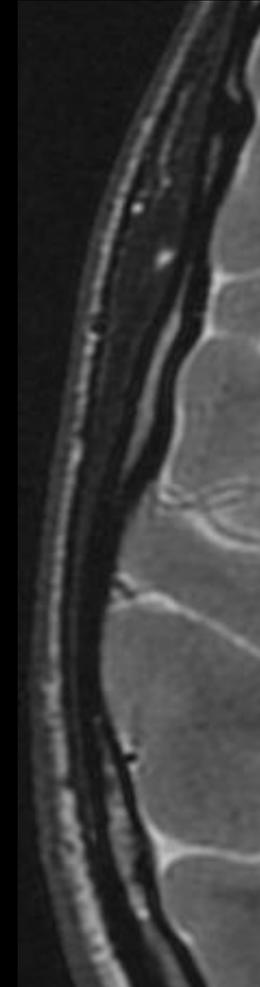
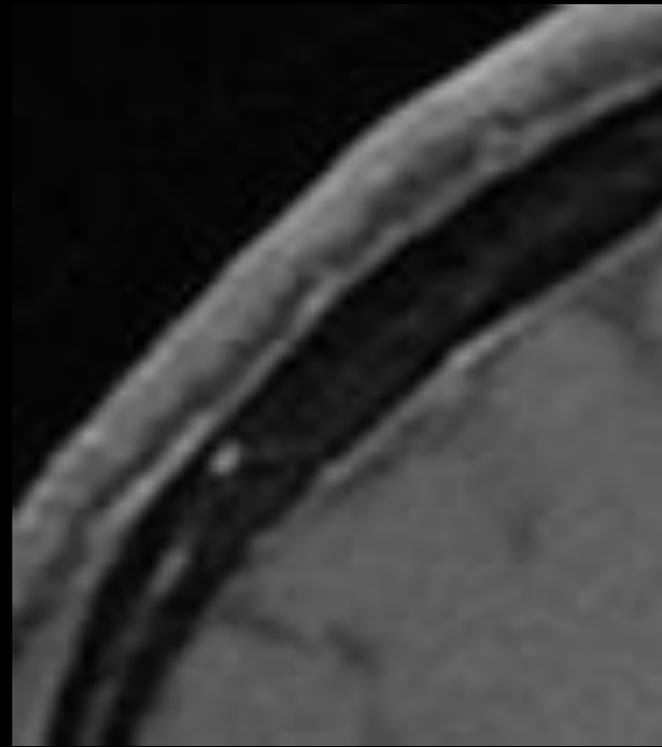
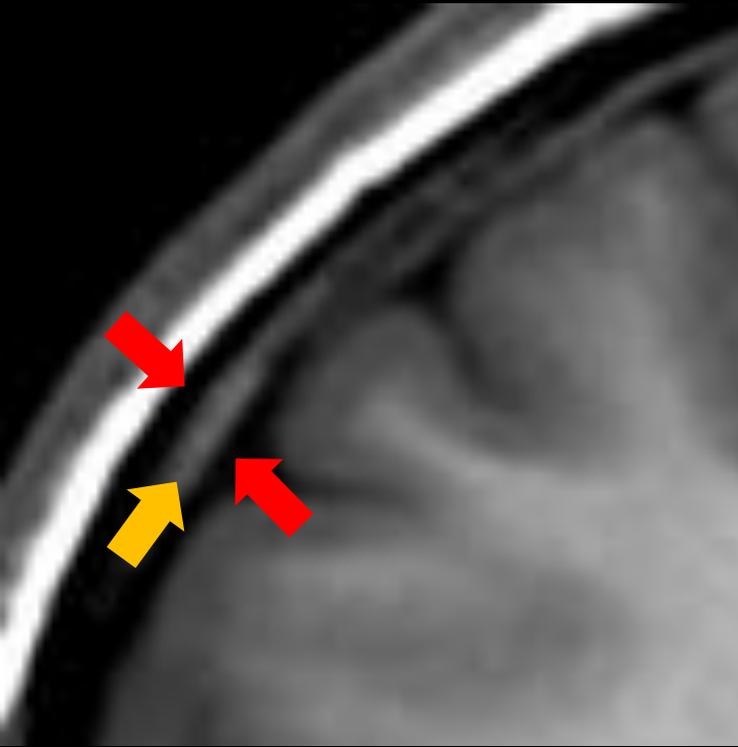


Os / Calcifications



IRM

- Hyposignal T1 / Hyposignal T2
- Attention, la moelle osseuse du diploé contient de la graisse est suit le signal de celle-ci !

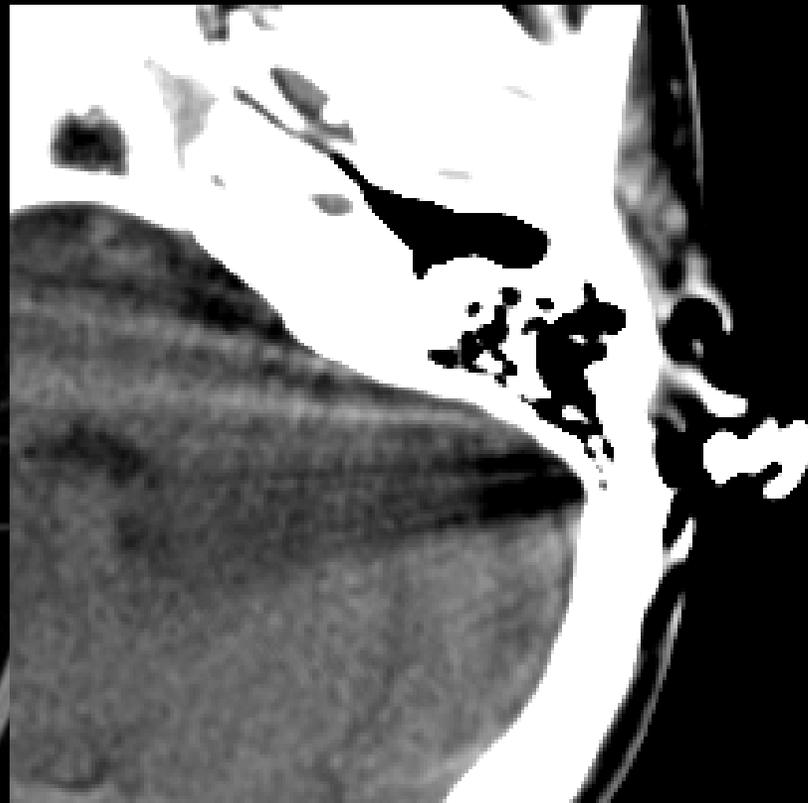
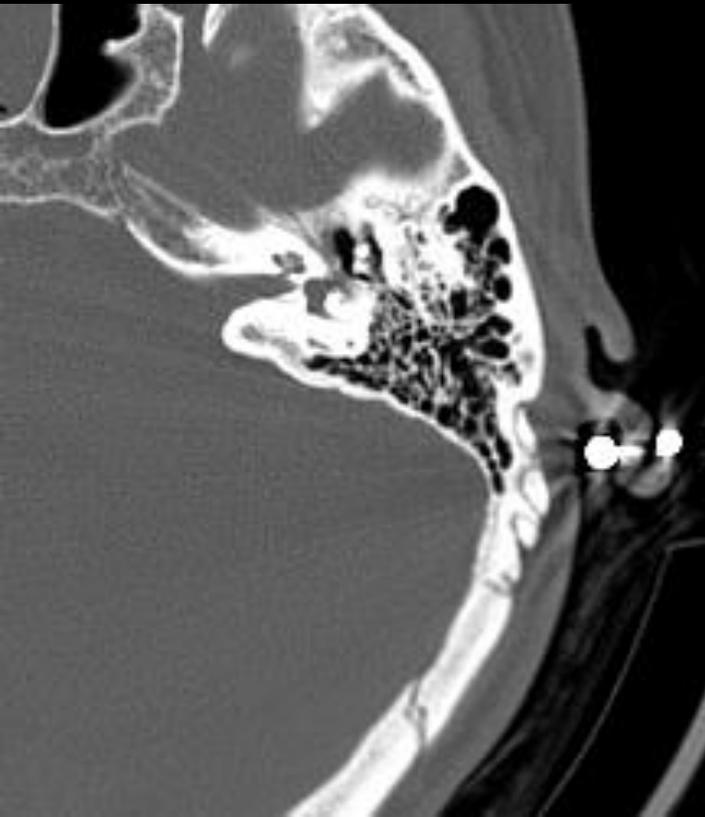
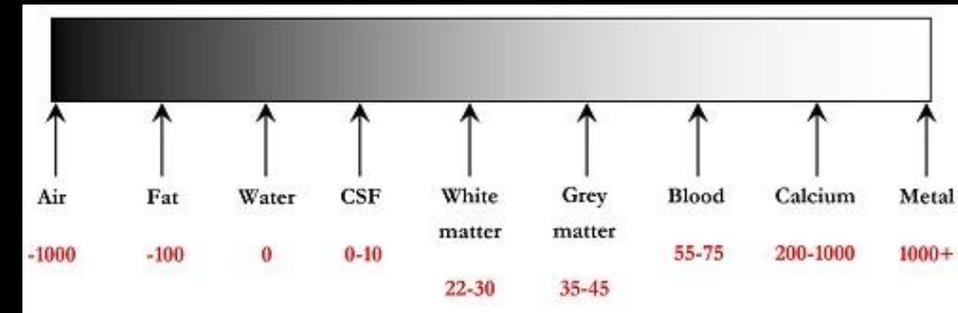


Métal



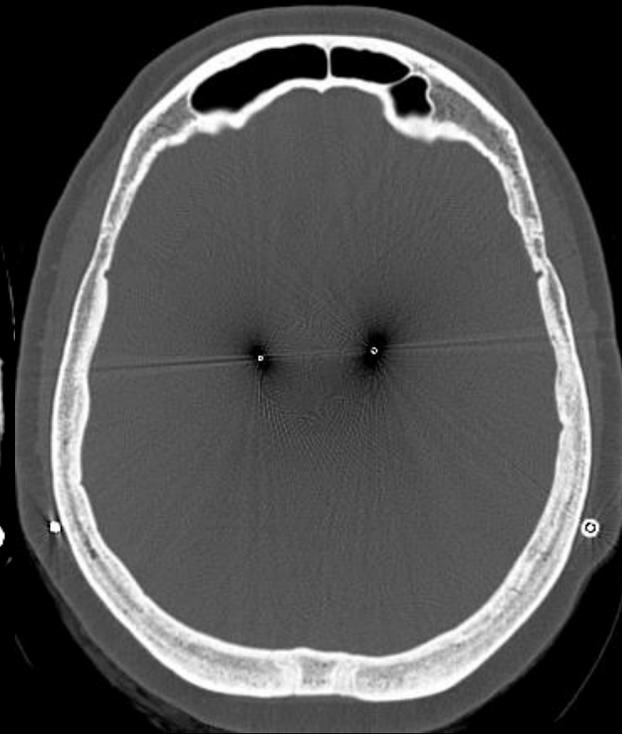
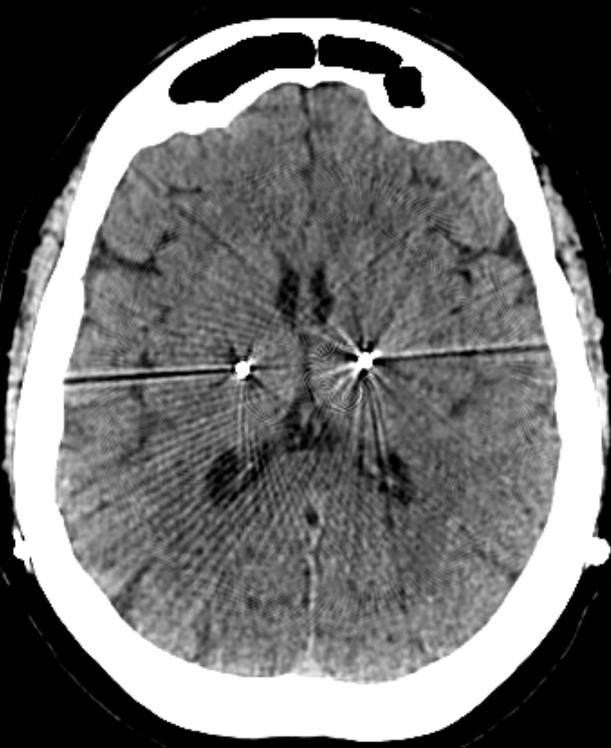
Scanner

- Densité très élevée, variable en fonction du métal
- A l'origine d'importants artéfacts de durcissement de faisceau
- Impose le retrait du matériel si possible avant l'examen



Métal

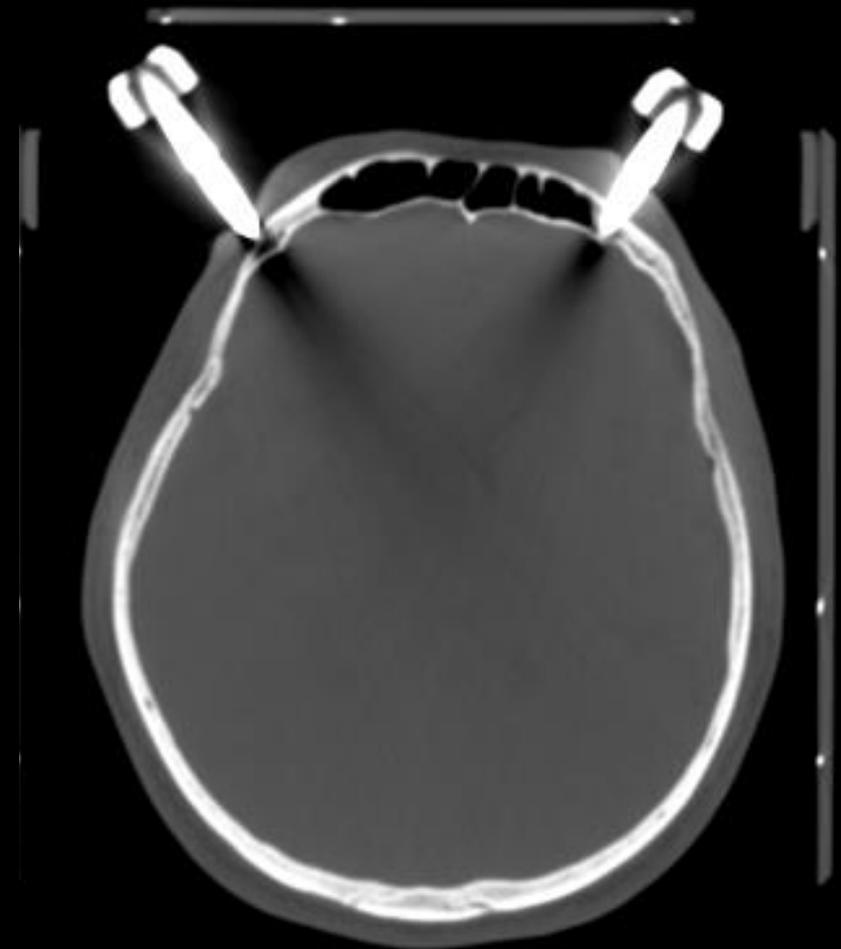
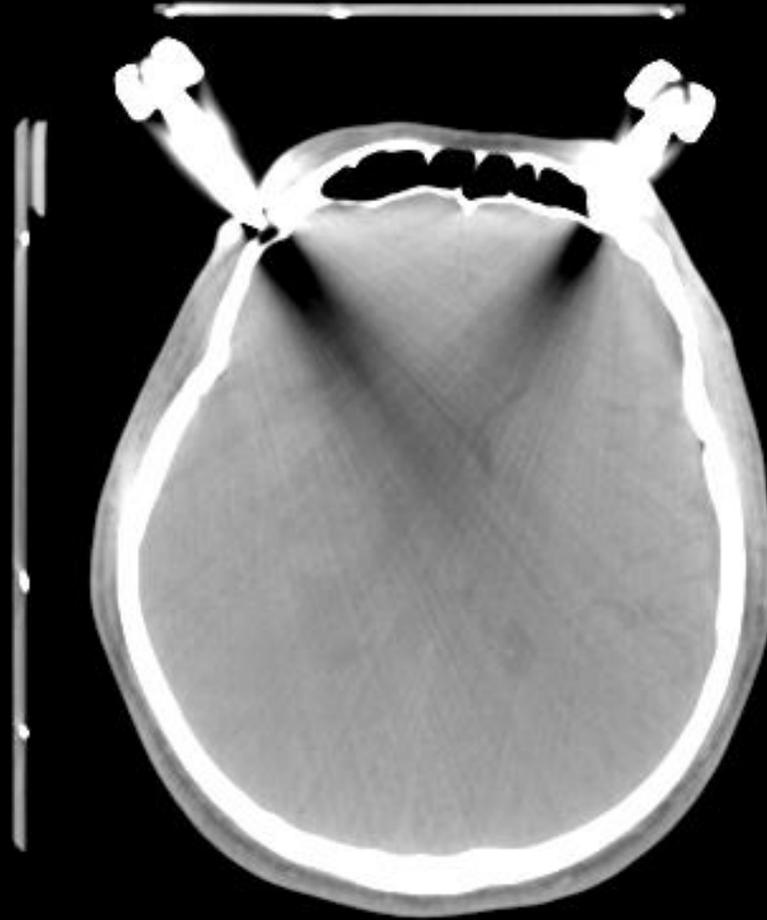
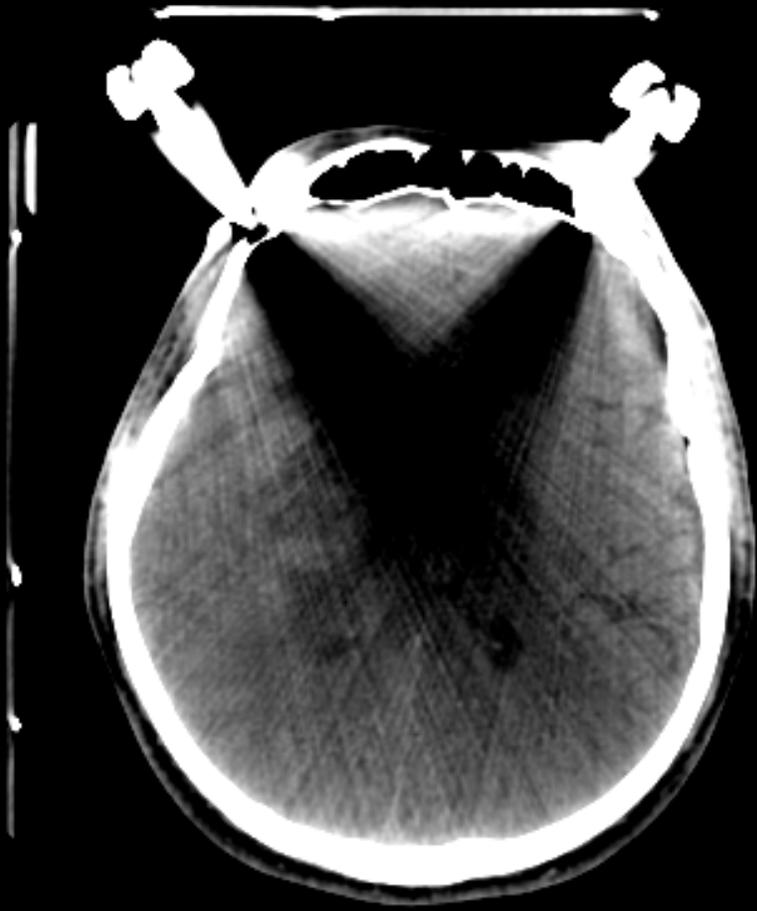
Scanner



Métal



Scanner



Métal

IRM : Artefacts métalliques

- La présence de matériel ferromagnétique s'accompagne de distorsions locales du champ magnétique entraînant une **zone de vide de signal avec en périphérie un renforcement du signal et une déformation de l'image**
- Tout matériel ferromagnétique externe (bijoux, montre, dentier, soutien-gorge, ceinture ...) doit être retiré du patient avant l'examen
- **Attention aux CE métalliques intra-oculaires, qui constituent une contre-indication à l'examen**
- Les implants métalliques (clips chirurgicaux, valve de dérivation, prothèse dentaire fixe ...), s'ils sont ferromagnétique et proche de la région d'intérêt, peuvent rendre l'examen inexploitable
- **Les artefacts métalliques sont plus prononcés à haut champ.** Il n'y a pas de véritable remède pour les éviter si ce n'est l'utilisation préférentielle de **séquence en ES plutôt qu'en EG**, ces dernières étant plus sensibles aux hétérogénéités de champ (car elles ne comportent pas d'impulsion de 180° permettant justement de s'affranchir de ces inhomogénéités de champ)

Attention aux CI à l'IRM !!!



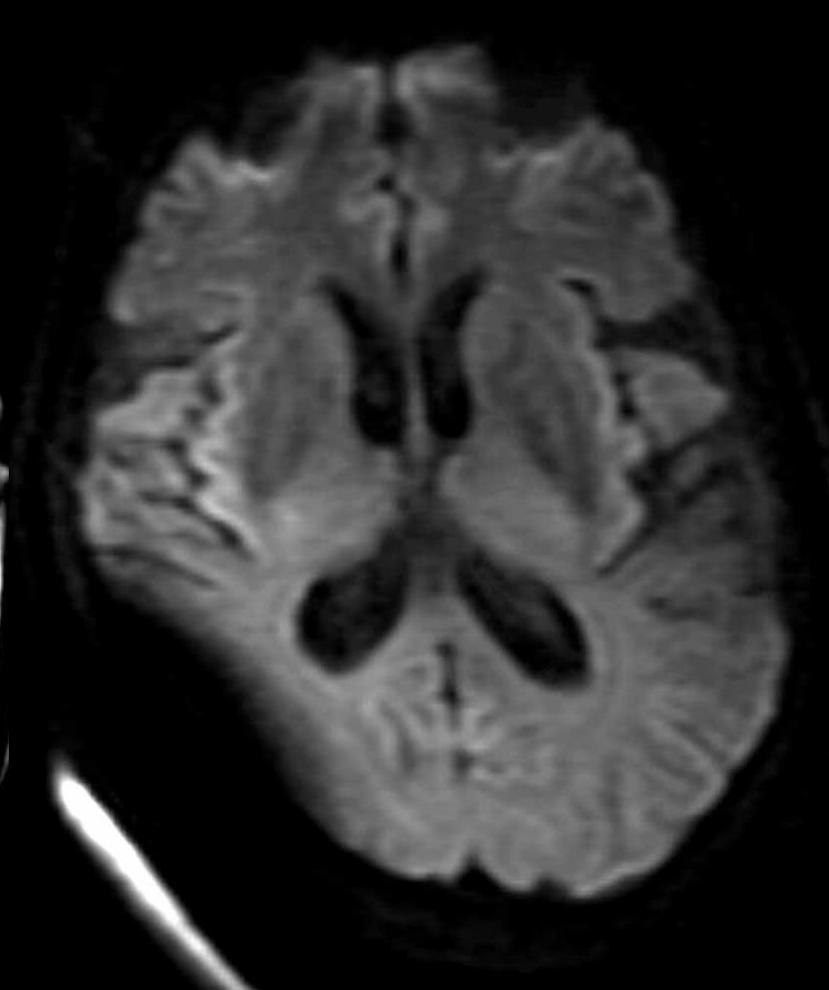
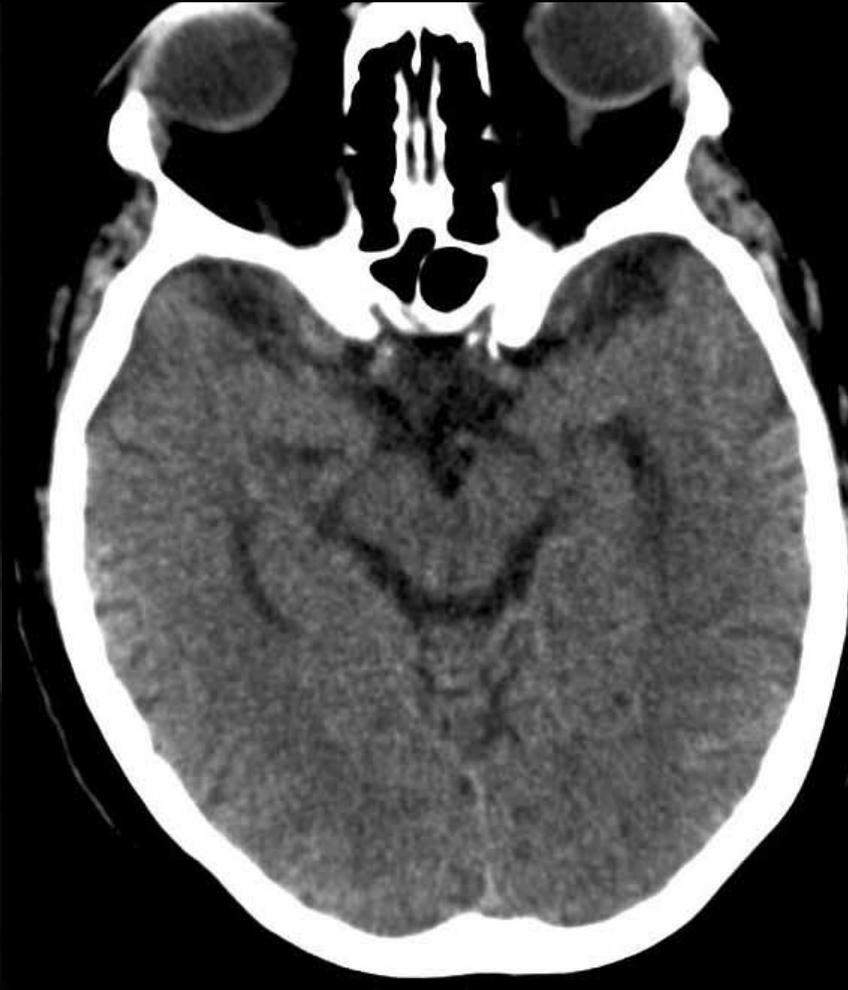
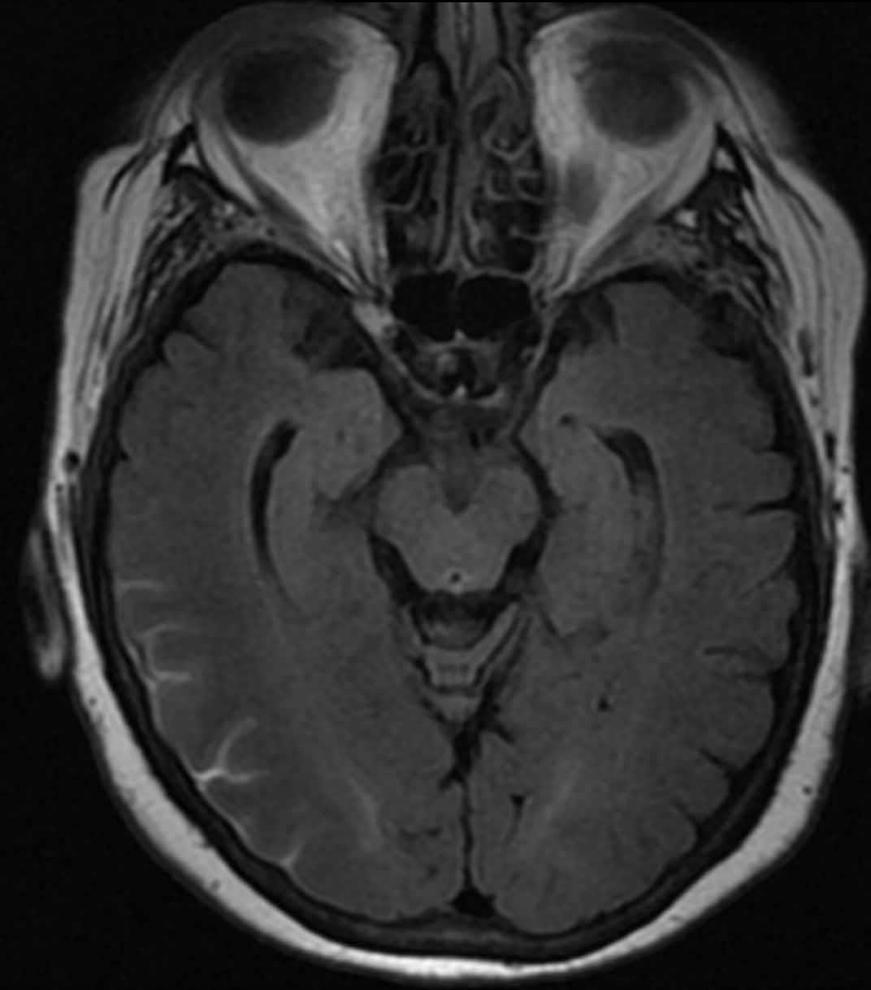
Métal



IRM : Artefacts métalliques

<http://www.ajnrblog.org/2009/08/26/aunt-mickeys-they-look-the-same-until-you-undress-them-subarachnoid-hemorrhage-or-something-else/>

Artefacts métalliques dus à une chaîne à l'origine d'une suspicion d'HSA sur la séquence FLAIR



Her eyes widened in wonder. "It's so... big..."
She has never seen an aneurysm that huge
before.

He cleared his throat and parted his lips lightly,
whispering into the microphone,
"Clinical correlation is suggested."

"More... more... more...!", she begged.
She needed more clinical history to be able
to report the MRI brain.

...with every touch, the boundaries between them
were increasingly blurred - like the loss of
grey-white matter differentiation.

She could feel his gaze upon her in the dimly lit room.
"Tell me what you want.", she whispered warily.
The radiographer replied, "I want you... to protocol this
CT neck."

