

D.U. D'ULTRASONOGRAPHIE VASCULAIRE

Dr Claude Franceschi

Pr Fabien Koskas

Cours d'introduction du D.U.
Drs Claude Franceschi
et Claudine Laaengh Massoni

Sémiologie hémodynamique vasculaire
périphérique

Imagerie échographique des lésions
vasculaires périphériques

Quelques artéfacts en écho-doppler

SEMIOLOGIE HEMODYNAMIQUE VASCULAIRE PERIPHERIQUE

1- Généralités sur la circulation périphérique

2- Etude du versant artériel

3- Etude du versant veineux

 Système cave inférieur

 Système cave supérieur

SEMIOLOGIE HEMODYNAMIQUE VASCULAIRE PERIPHERIQUE

- 1- Généralités sur la circulation périphérique:
 - Schéma de la circulation générale
 - Notions d'énergie du sang, d'énergie cinétique évaluée par Doppler et d'énergie de pression évaluée par échographie

- 2- Etude du versant artériel

- 3- Etude du versant veineux

Echo-Doppler:

Etude du déplacement dans ces voies
du volume de sang éjecté par le VG dans l'aorte

Voies explorables par écho-doppler:

artères et veines de gros et moyen calibre

Le volume de sang éjecté par le VG est porteur d'une
énergie formée de deux composantes:

- l'énergie cinétique (doppler continu, pulsé et couleur)
- l'énergie potentielle de pression évaluée par échographie

L'énergie cinétique

(doppler continu, pulsé et couleur)

Le doppler renseigne sur les vitesses circulatoires des éléments figurés du sang (les globules rouges étant les structures réfléchissant les ultrasons)

Doppler continu:

La vitesse des éléments mobiles rencontrés par le faisceau d'ultrasons est traduite sur une courbe et par un bruit (échelle de vitesse); exploration à l'aveugle (pas d'image)

Doppler pulsé:

Sélection d'une zone d'exploration sur le tir doppler (fenêtre d'écoute) visualisée sur l'image échographique et vitesses traduites sous forme de spectre de vitesse et de bruits

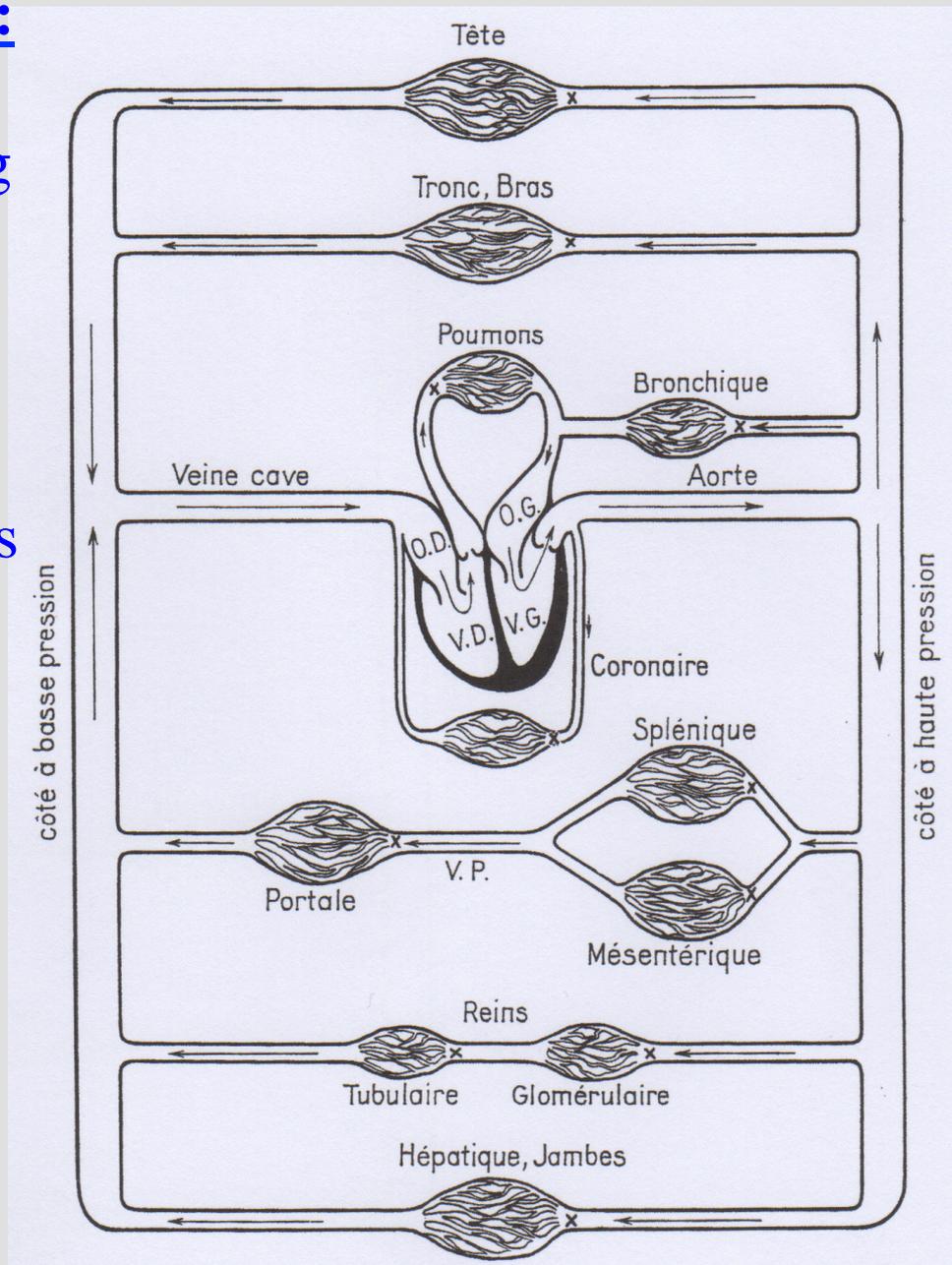
Doppler couleur et énergie:

Sélection d'une surface d'exploration sur l'image échographique et vitesses traduites sous forme de couleurs

Versant veineux:

L'énergie du sang vient du VG (énergie résiduelle), de la pompe thoraco-abdominale et des pompes valvulo-musculaires

Flux non pulsé,
continu ou discontinu, rythmé par la respiration et l'activité musculaire

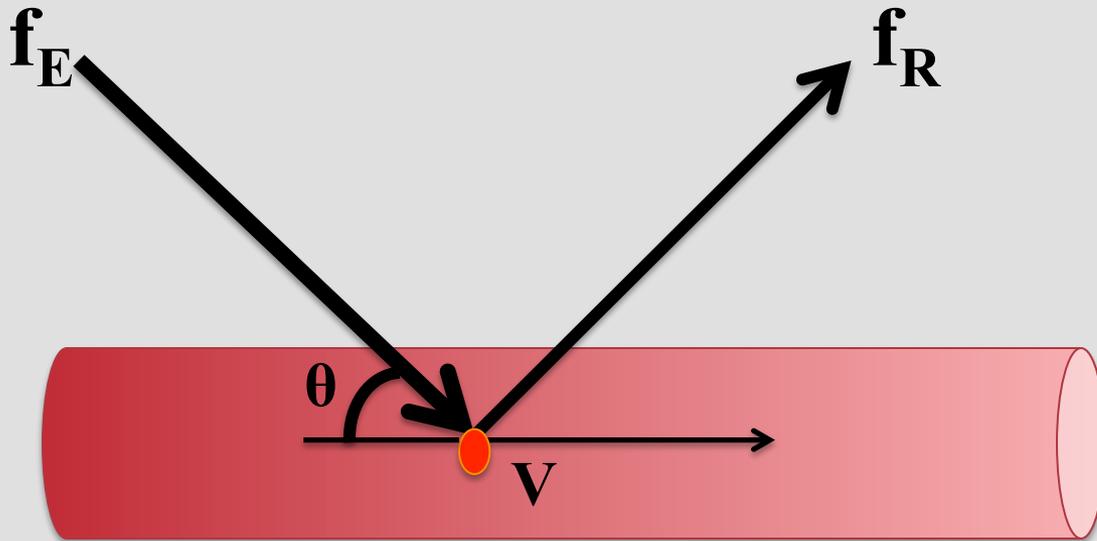


Versant artériel:

L'énergie du sang vient du VG pendant la systole

Flux pulsé
Systolo-diastolique

Principe de l'effet Doppler



f_E fréquence émise

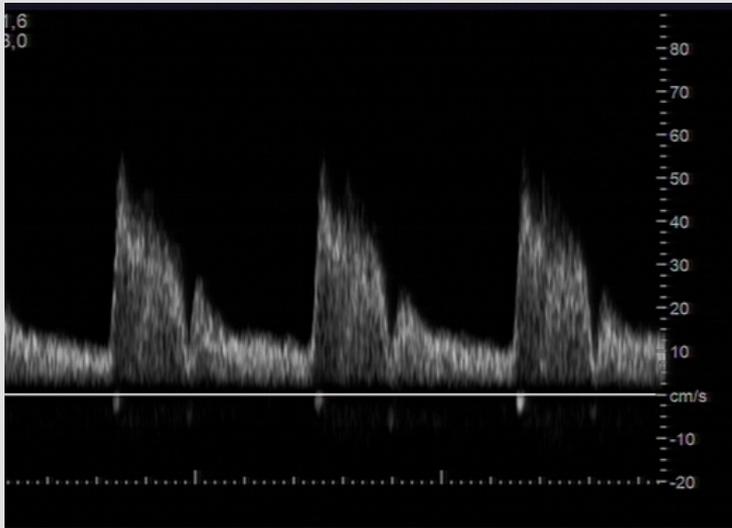
f_R fréquence réfléchie

V vitesse des GR

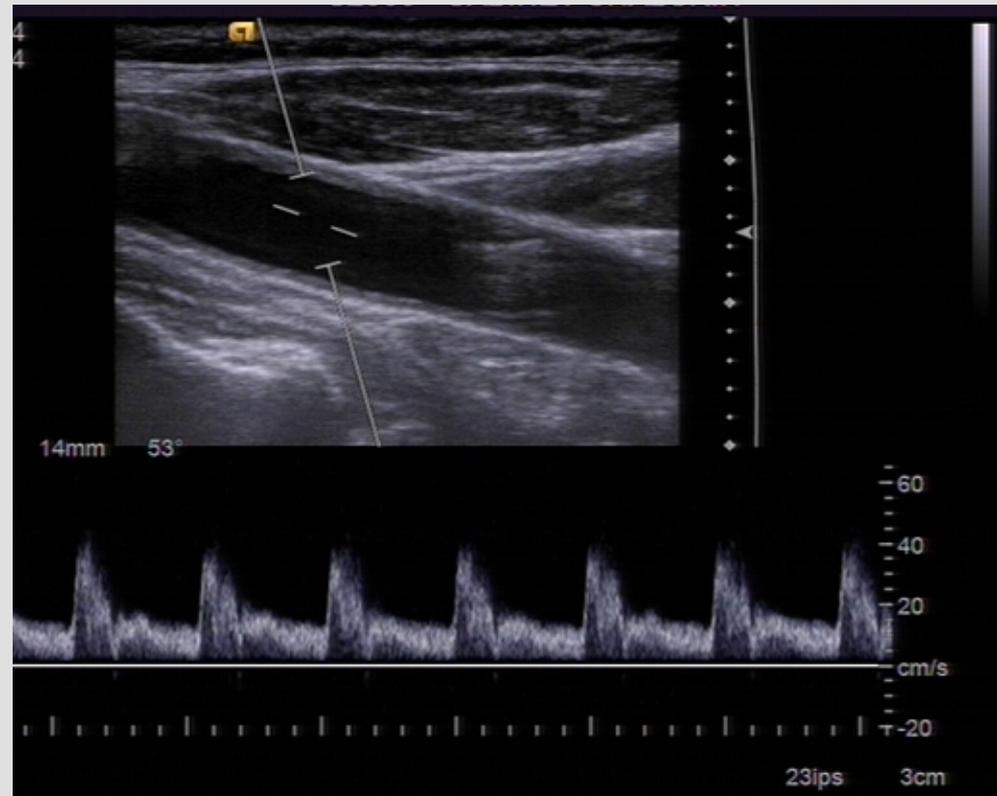
C vitesse de propagation du son dans le milieu

$$f_E - f_R = f_E \frac{2 V \cos \theta}{C}$$

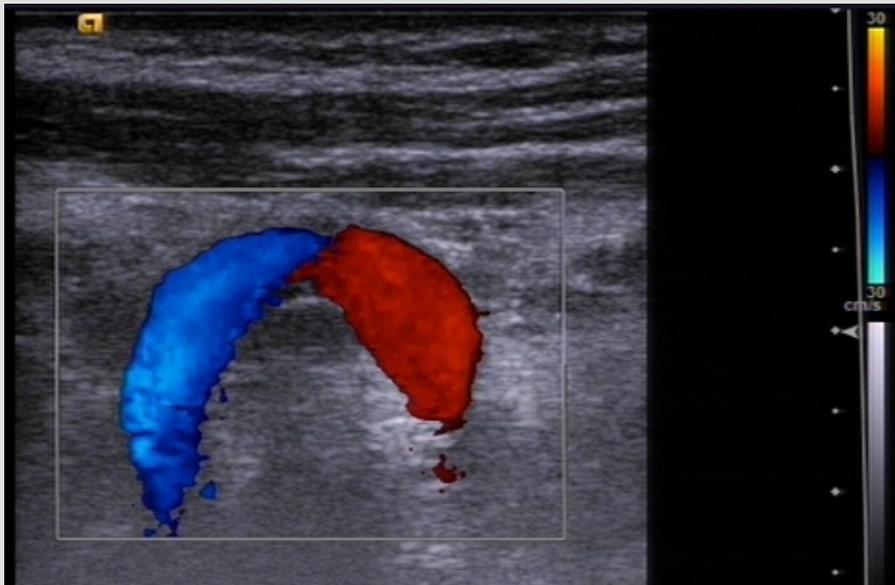
Doppler continuu



Doppler pulsé



Doppler couleur



Doppler énergie



Couplage doppler pulsé-couleur

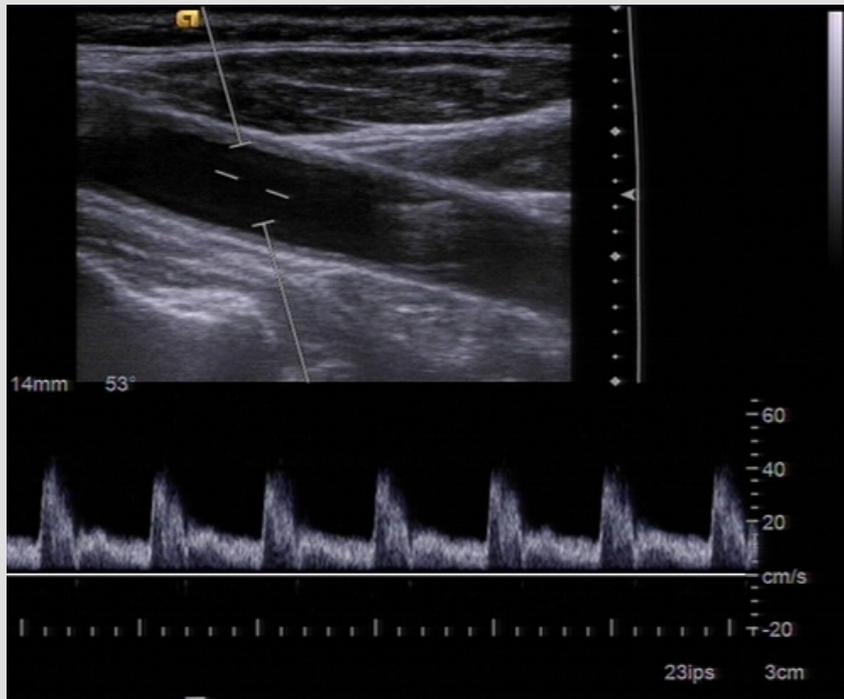


Couplage doppler pulsé-énergie

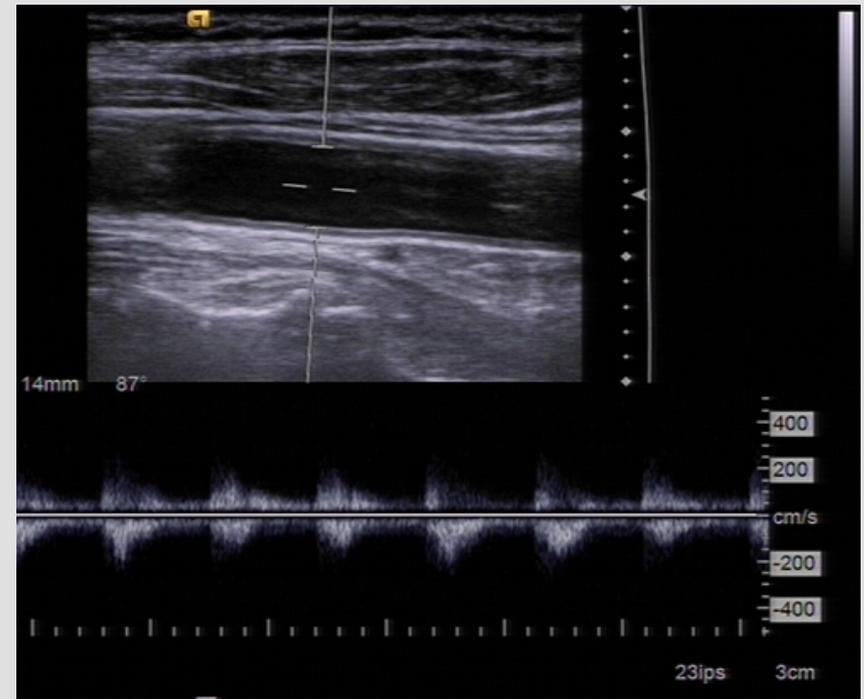


Faible angle de tir doppler par rapport à l'axe du vaisseau

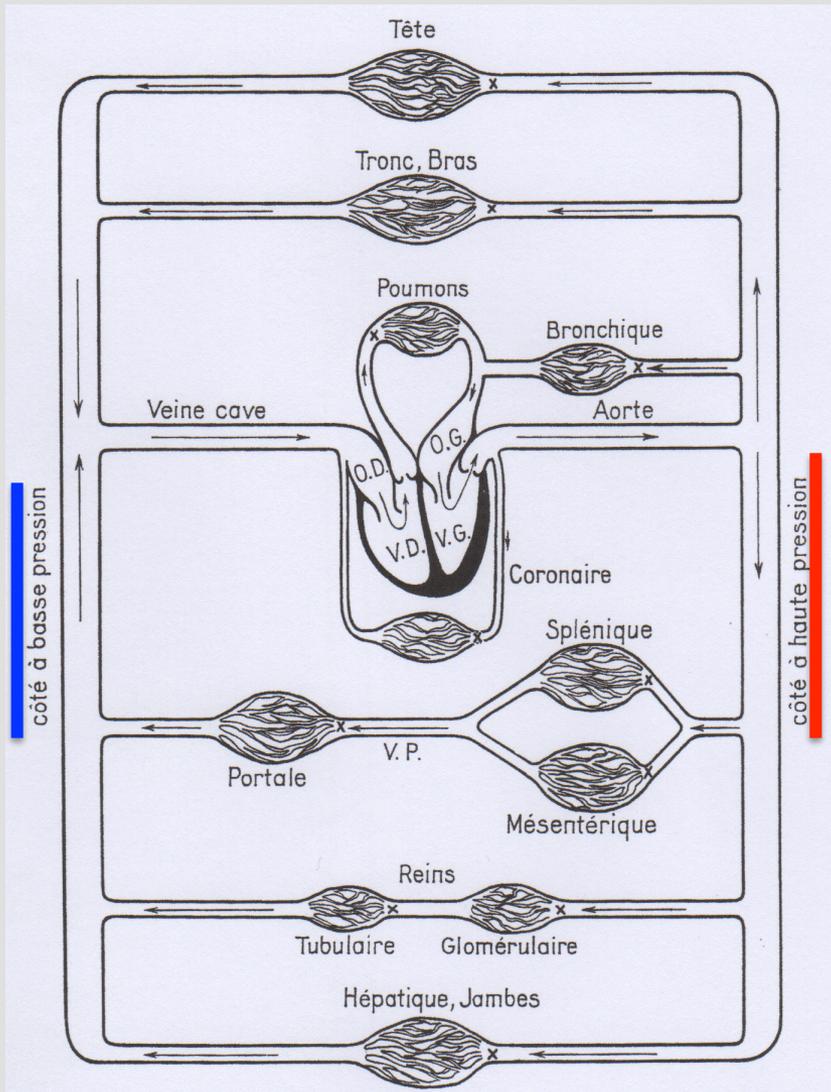
Spectre de vitesse interprétable



Interprétation impossible



L'énergie potentielle de pression évaluée par échographie:



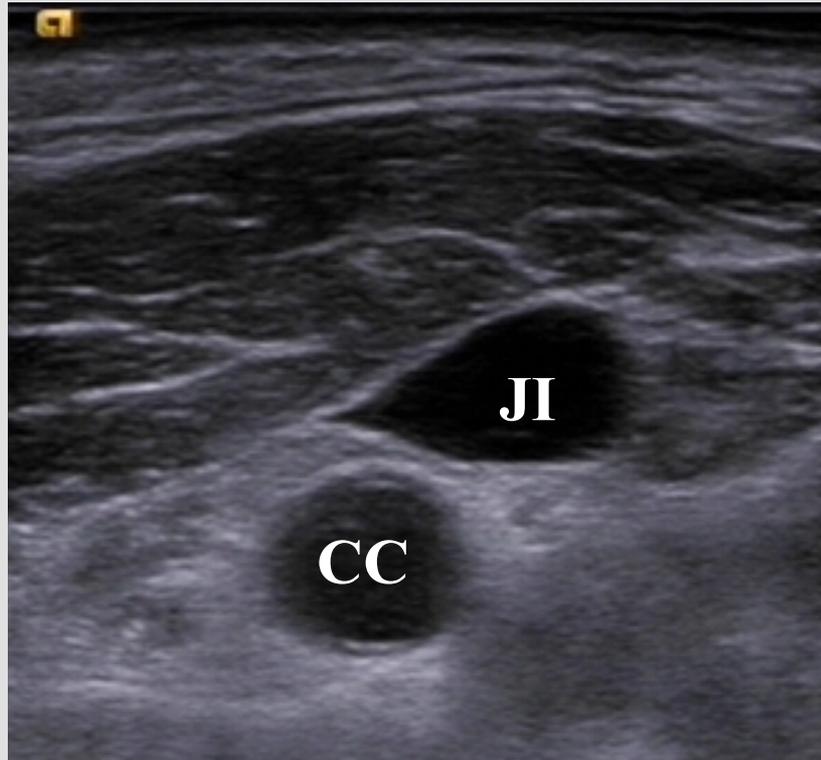
Plus la pression dans le vaisseau est élevée plus l'opérateur doit la comprimer avec la sonde d'échographie pour obtenir son affaissement

Artères: haute pression

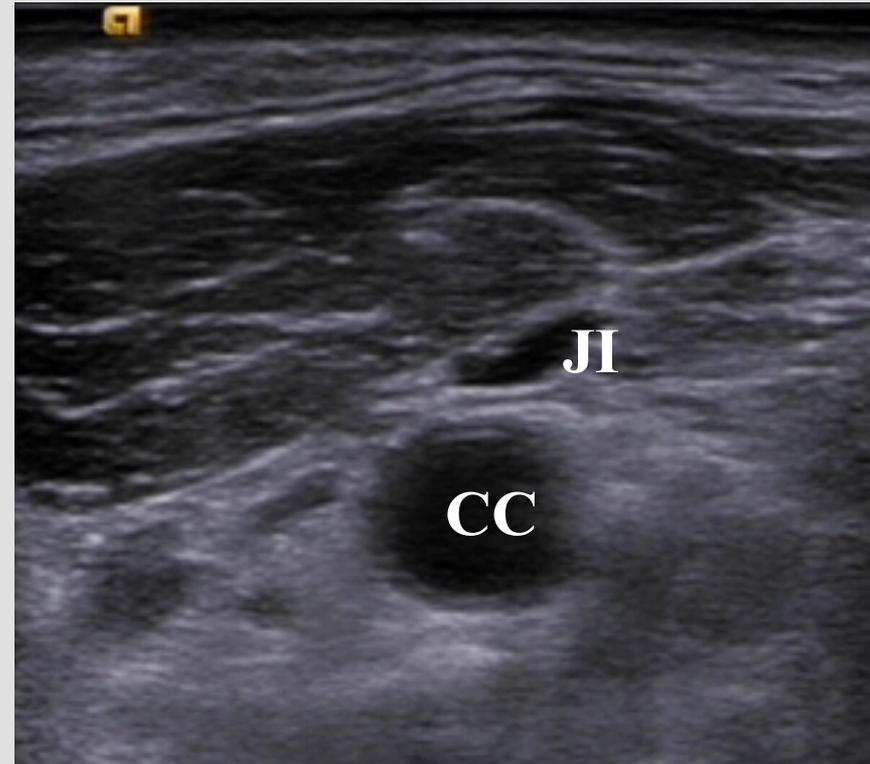
Veines: basse pression

Pression de la jugulaire interne et de la carotide commune avec la sonde d'échographie

Sans compression avec la sonde



Avec compression



Applications pratiques:

Dans l'ischémie des membres:

la compression des artères distales dont le flux est nul au doppler permet de vérifier la présence ou l'absence de matériel intra luminal

(oblitération hémodynamique si pas de matériel)

Dans l'exploration des fistules artério-veineuses pour hémodialyse:

La compression en amont et en aval d'une sténose veineuse permet de quantifier son retentissement en amont (la palpation également)

SEMIOLOGIE HEMODYNAMIQUE VASCULAIRE PERIPHERIQUE

1- Généralités sur la circulation périphérique

2- Etude du versant artériel:

- éléments de physiologie artérielle
- physiopathologie des sténoses et anévrismes

3- Etude du versant veineux

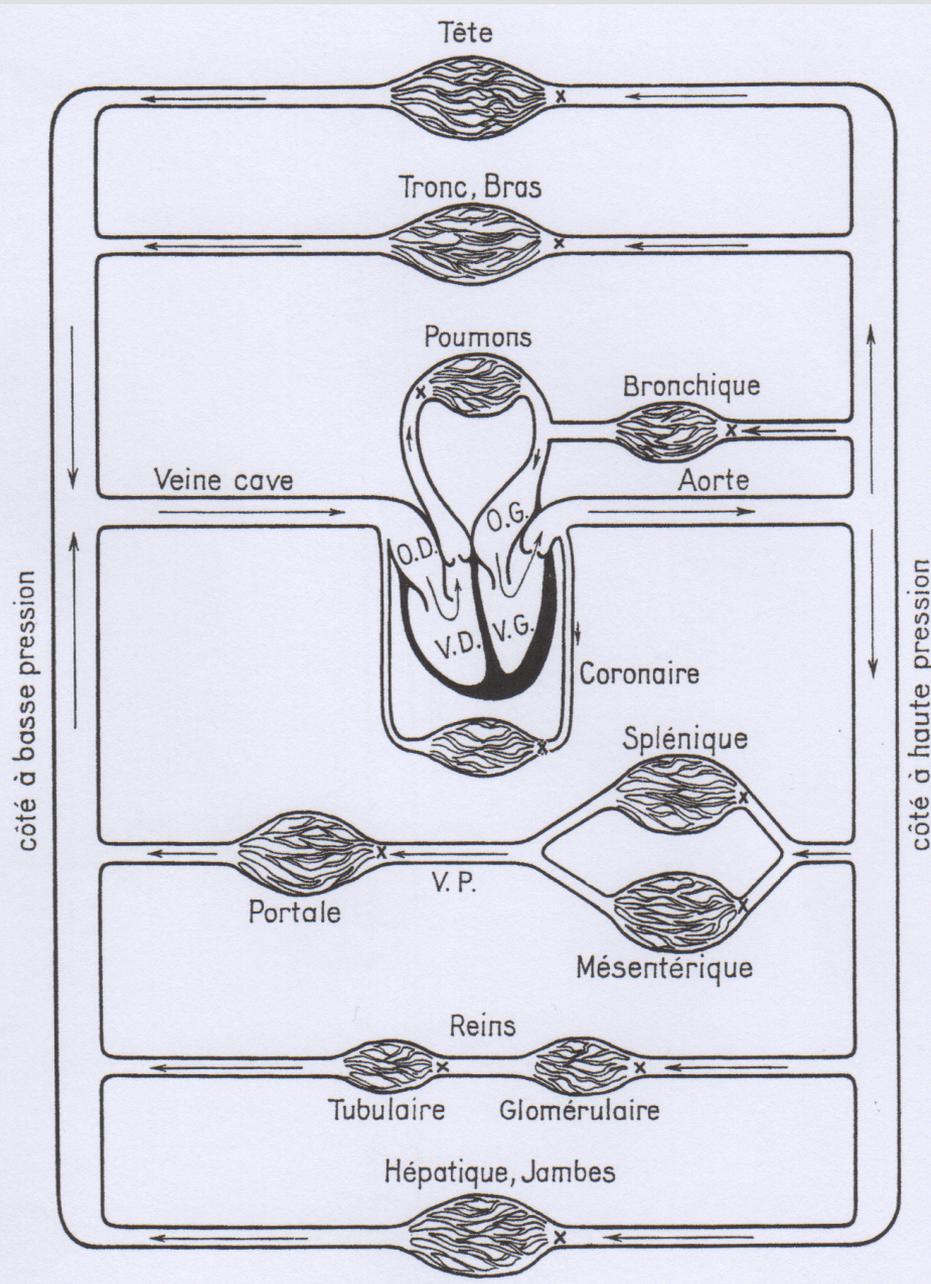
Eléments de physiologie artérielle

Vitesses circulatoires

Notion de résistance à l'écoulement

Elasticité artérielle

Etude du profil de vitesse en fonction
du territoire exploré



A chaque systole, le ventricule gauche éjecte dans l'aorte un volume de sang porteur d'une quantité d'énergie E

$$E = E_p + E_c$$

E énergie totale du sang

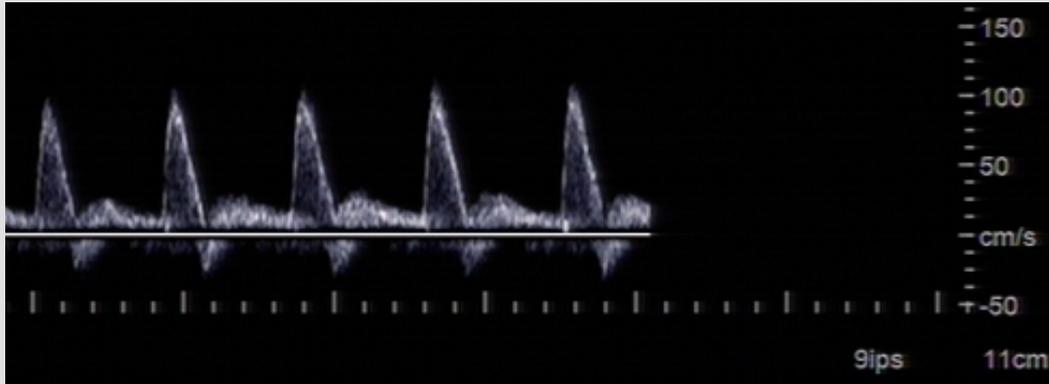
E_p énergie de pression

E_c énergie cinétique ($\frac{1}{2}\rho v^2$)

La composante E_c (énergie cinétique) de ce volume de sang au cours du cycle cardiaque est analysée par le Doppler

Le Doppler permet d'écouter et visualiser la vitesse des éléments réfléchissant du sang (GR) au cours du temps

Spectre de vitesse de l'aorte abdominale (doppler pulsé)

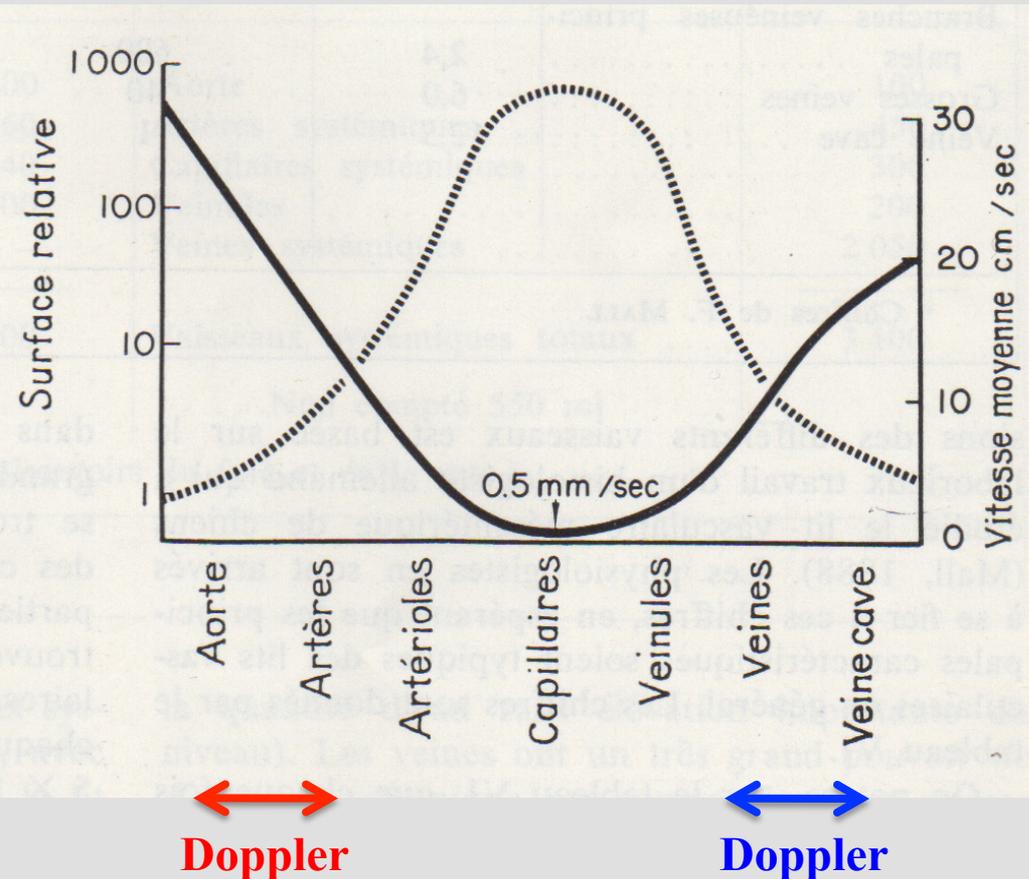


Abscisse: temps

Ordonnée: vitesse des
globules rouges

Dans le spectre, plus un
point ou une zone sont
blancs, plus il y a de
globules rouges à ce
niveau de vitesse

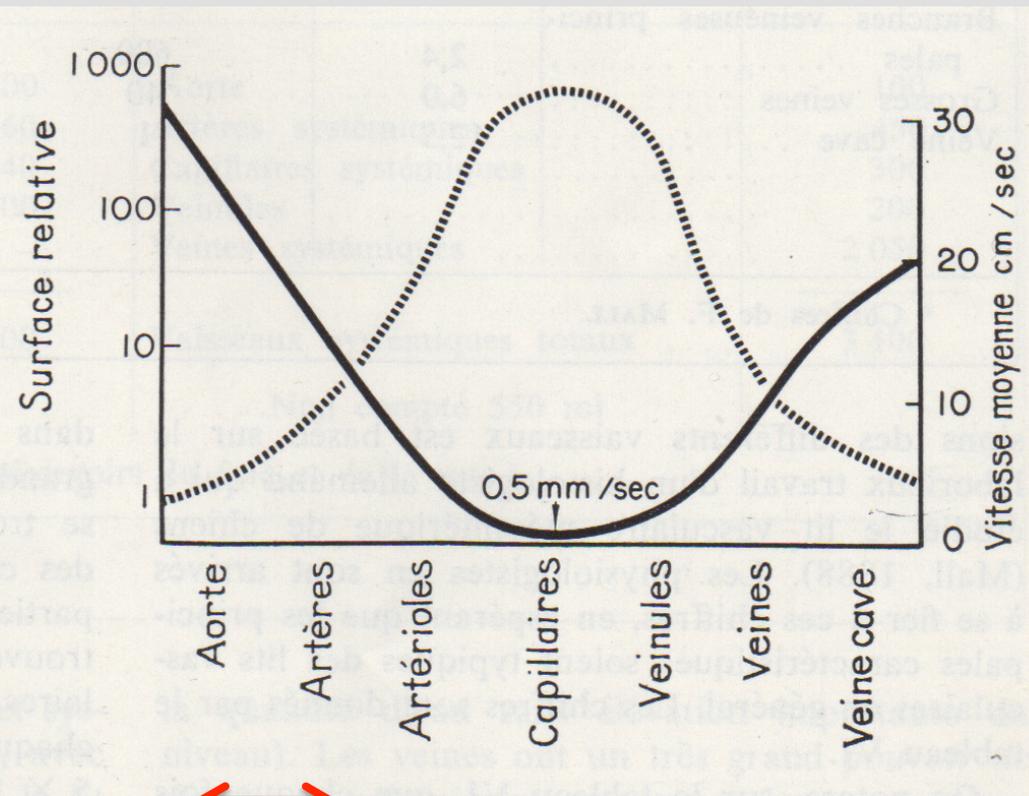
Vitesses rencontrées dans les différentes voies vasculaires



En pointillés:
modifications de surfaces totales relatives des coupes transversales du lit vasculaire

En trait plein:
vitesse moyenne dans les différents types de vaisseaux

En doppler pulsé (et couleur), l'opérateur ajuste l'échelle de vitesse (ordonnée) en fonction du territoire exploré (réglage de la PRF)



La surface de section du lit artériel augmente vers la distalité.

Il en résulte une répartition de l'énergie délivrée par le VG entre les différentes branches avec une baisse des vitesses

↔
Doppler

En pratique

L'opérateur règle l'échelle de vitesse (PRF) avec des vitesses max.:

- Entre 50-100 cm/s dans la majorité des cas
- à 20 cm/s pour les flux parenchymateux rénaux

Et parfois plus basses en pathologie

(exemple: axes de jambe distaux dans l'ischémie)

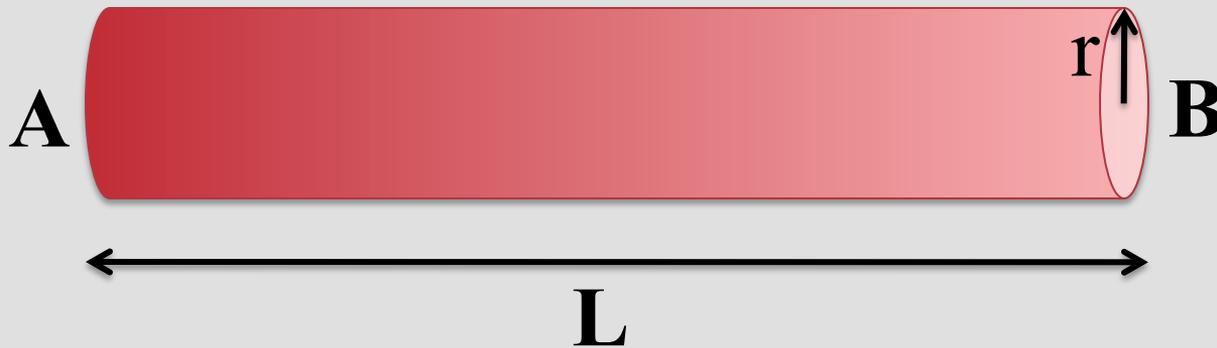
Notion de résistance à l'écoulement de l'ensemble du système vasculaire (du VG à l'OD)

Le volume sanguin qui sort du ventricule gauche à chaque systole rencontre une résistance qui s'oppose à son écoulement.

Cette résistance dépend de l'architecture de l'ensemble du réseau.

Rappel: loi de Poiseuille

résistance à l'écoulement d'un tube



$$R = \frac{\text{chute de pression entre A et B}}{\text{débit entre A et B}} = \frac{8}{\pi} \times \eta \times \frac{L}{r^4}$$

η viscosité du sang

Résistance à l'écoulement relative du lit vasculaire

93% versant artériel y compris les capillaires

7% versant veineux

Donc, pour le ventricule gauche l'obstacle à l'écoulement est représenté par l'arbre artériel et le réseau capillaire avec une dominance des artérioles (41%) et des capillaires (27%)

Elasticité artérielle

(artères de gros et moyen calibre)

A chaque systole, le ventricule gauche éjecte dans l'aorte un volume de sang porteur d'une quantité d'énergie E

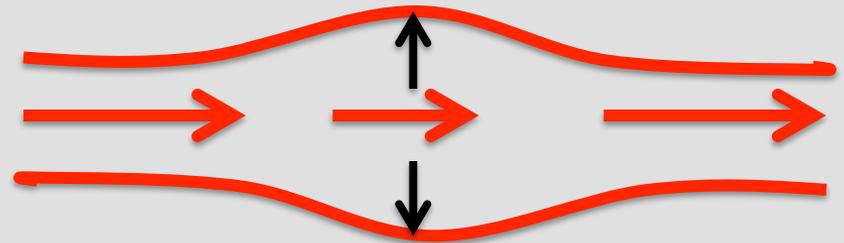
$$E = E_p + E_c$$

E énergie totale du sang

E_p énergie de pression

E_c énergie cinétique ($\frac{1}{2}\rho v^2$)

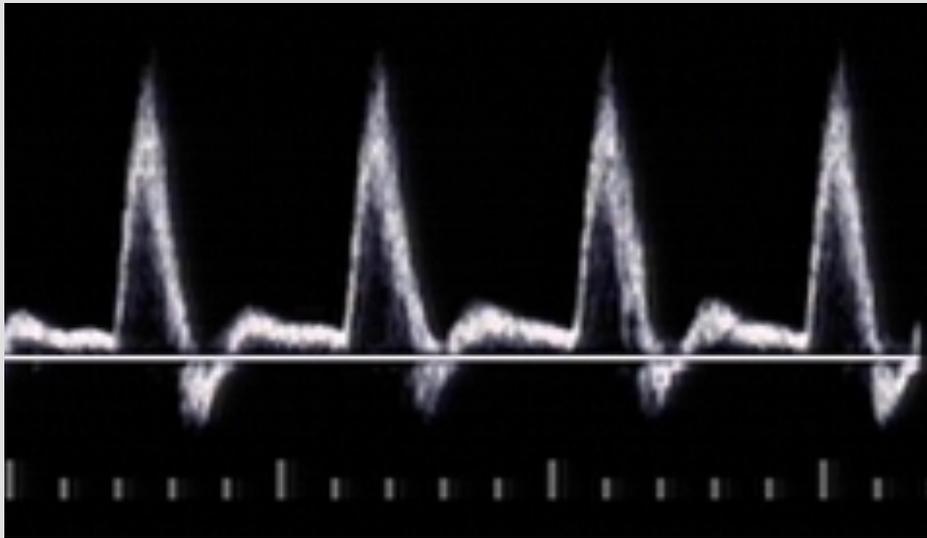
Cette **énergie cinétique** se décompose en une composante axiale et une radiale



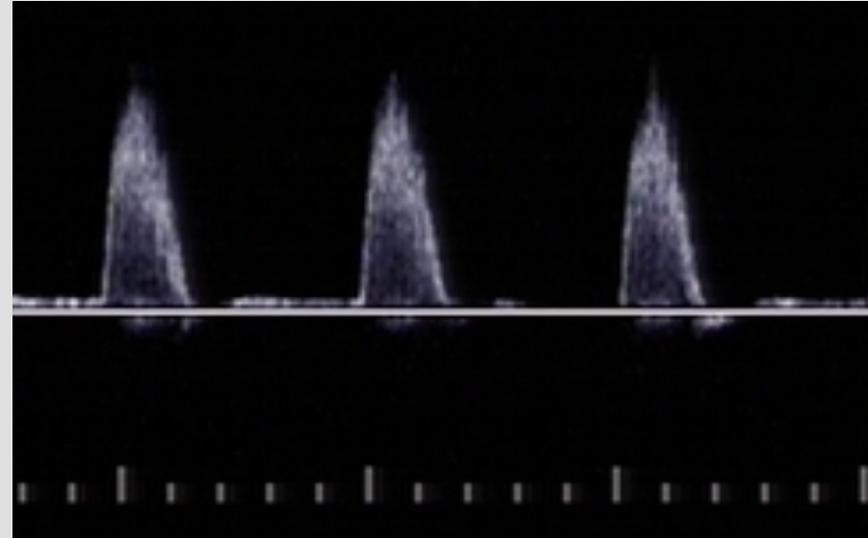
L'énergie radiale est restituée au sang en diastole sous forme d'énergie cinétique

Traduction sur le spectre de vitesse de l'élasticité artérielle (doppler pulsé)

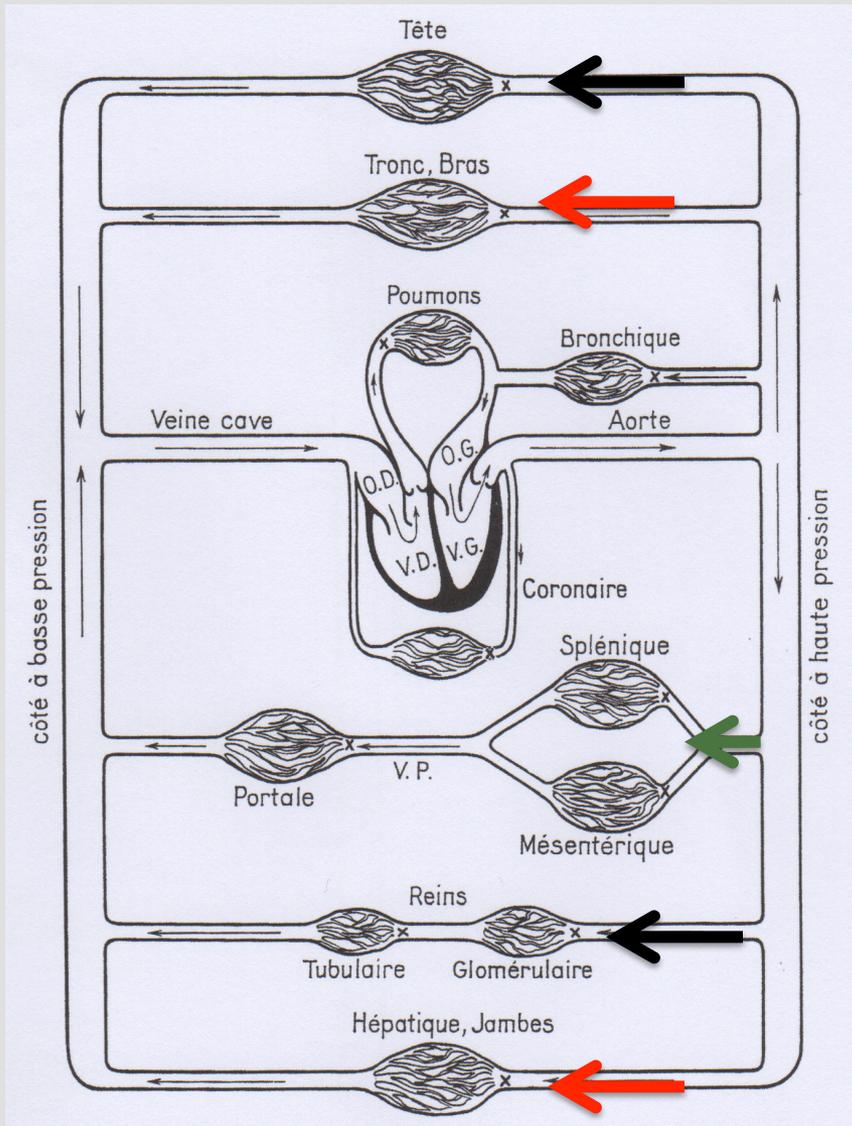
Sujet jeune
(parois élastiques)



Sujet âgé
(rigidité artérielle)



Etude du profil de vitesse dans les différentes voies parallèles



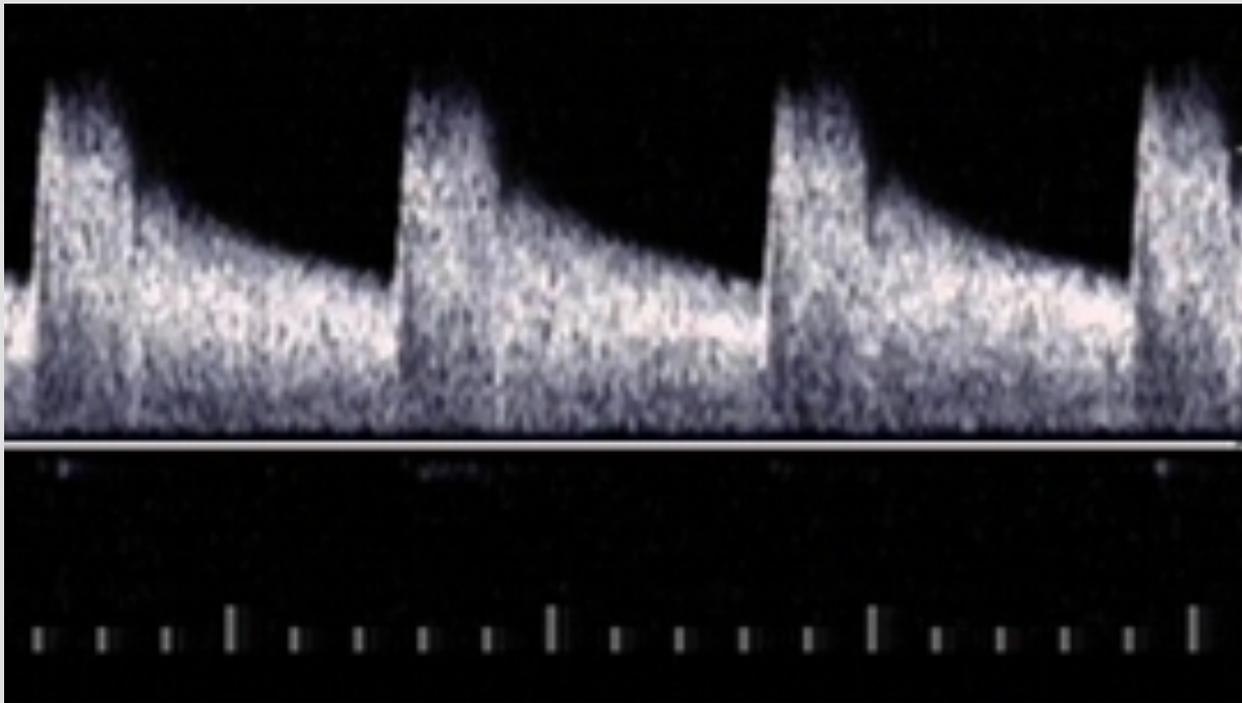
1- Artères à destinée cérébrale, intracrâniennes et rénales

2- Artères digestives

3- Artères musculaires

Le profil de vitesse de ces voies
dépend de la résistance à
l'écoulement du lit vasculaire en
aval du point étudié

1- Artères à destinée cérébrale, intracrâniennes et rénales



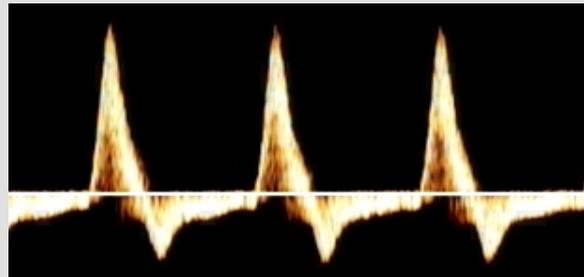
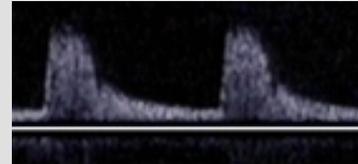
Territoires vasculaires à résistances basses

Flux diastolique positif sur toute la diastole

Correspondant à un débit élevé

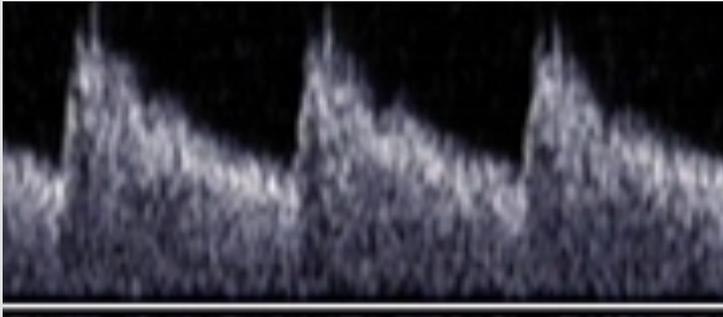
Exception:

si insuffisance aortique, le flux diastolique est diminué dans l'ensemble de ces territoires (explorer dans ce cas les fémorales ou sub clavières dont le flux diastolique est inversé)



Augmentation des résistances avec l'âge

Sujet jeune



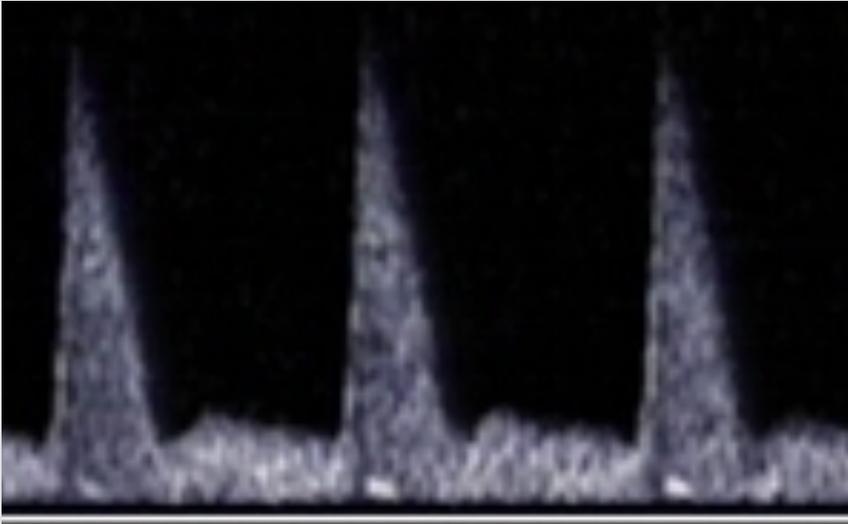
Sujet âgé



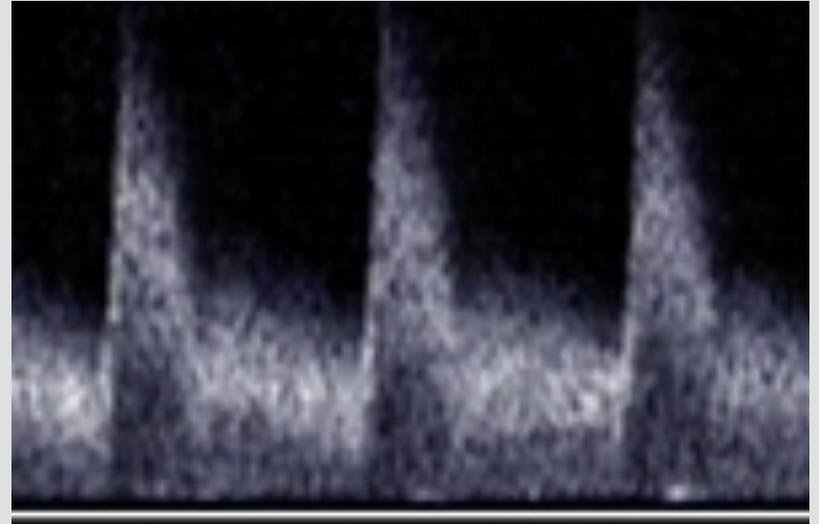
Diminution du flux diastolique avec l'âge
(chute du débit)

2- Artères digestives

Mésentérique supérieure à jeun



Mésentérique supérieure pendant la digestion



Territoire digestif

A jeun:

Flux à résistances élevées

(pas ou peu de flux diastolique positif permanent)

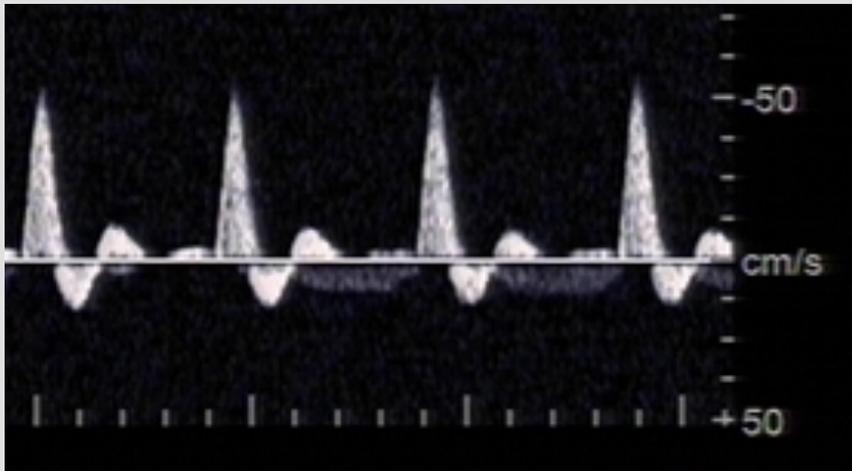
Pendant la digestion:

Flux à résistances basses permettant une augmentation du débit

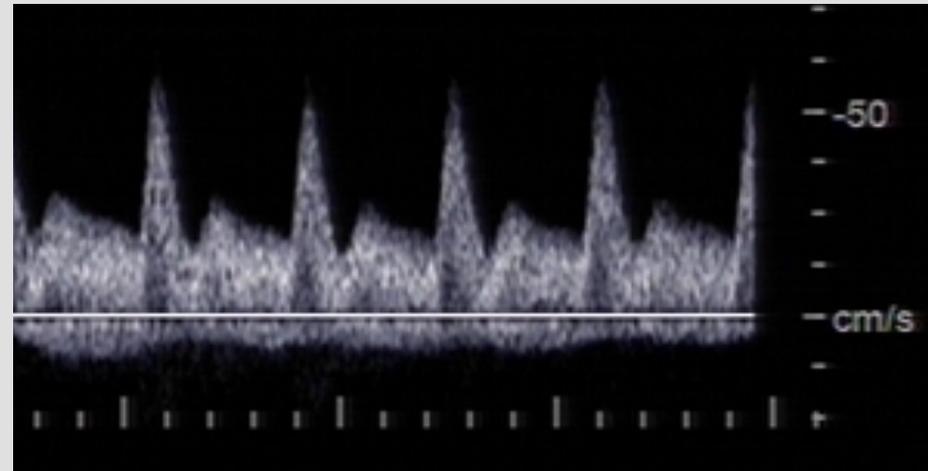
(flux diastolique permanent positif)

3- Artères musculaires

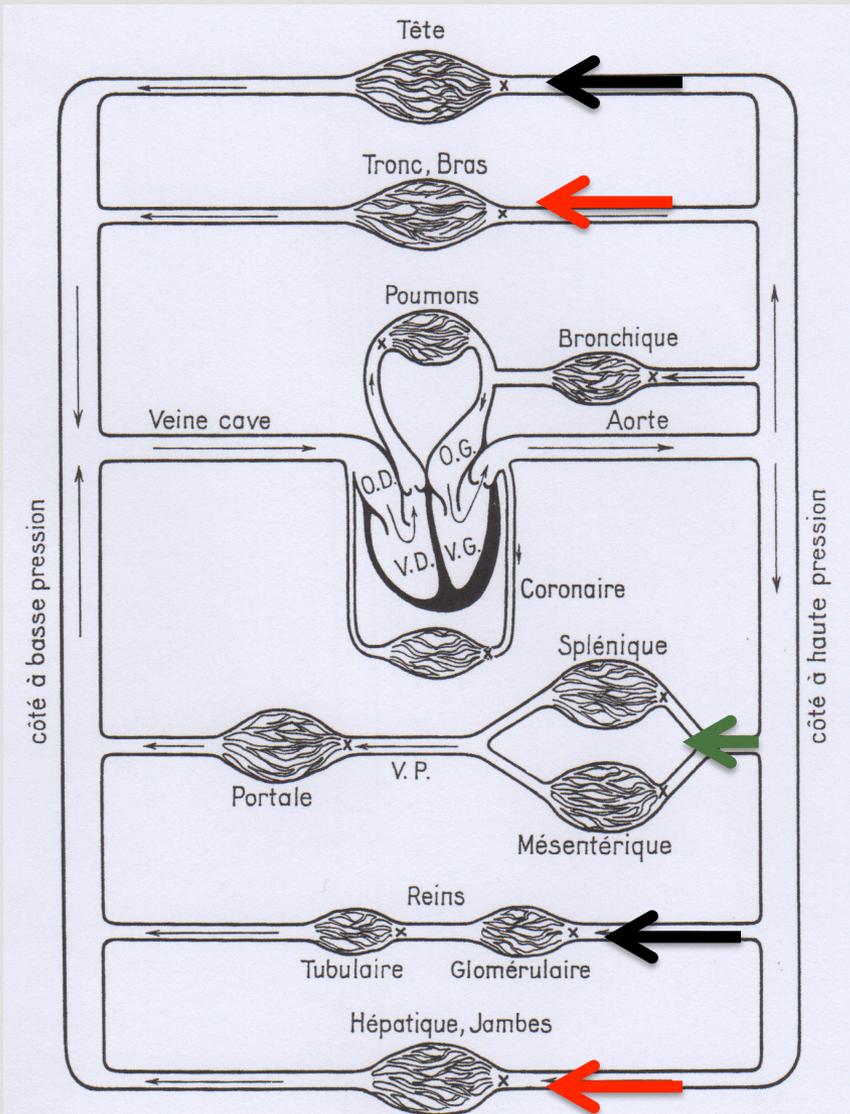
Poplitée au repos



Poplitée pendant l'effort



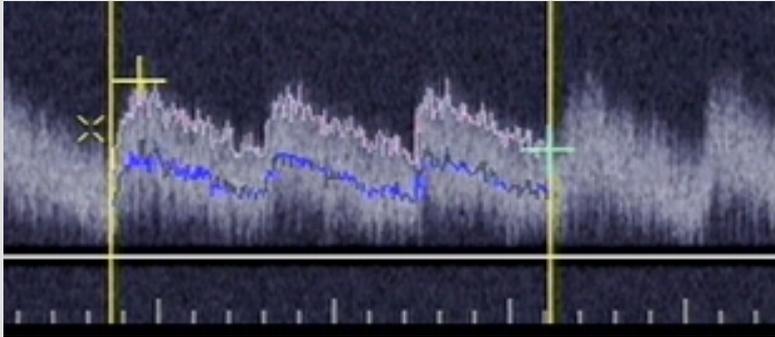
En conclusion:



L'énergie donnée au sang par le VG (le travail cardiaque) augmente quand l'un de ces territoires abaisse ses résistances:

- Digestif
- Muscles (effort)
- Cutané (chaleur)

En pathologie:



Les artères donneuses des fistules artério-veineuses:

- thérapeutiques (hémodialyse),
- traumatiques
- ou des malformations artério-veineuses

Ont des résistances très basses et peuvent menacer la fonction cardiaque

Pathologie artérielle

Sténoses

Anévrismes

STENOSES

1- Description d'une sténose

2- Incidence (ou retentissement) d'une sténose en amont

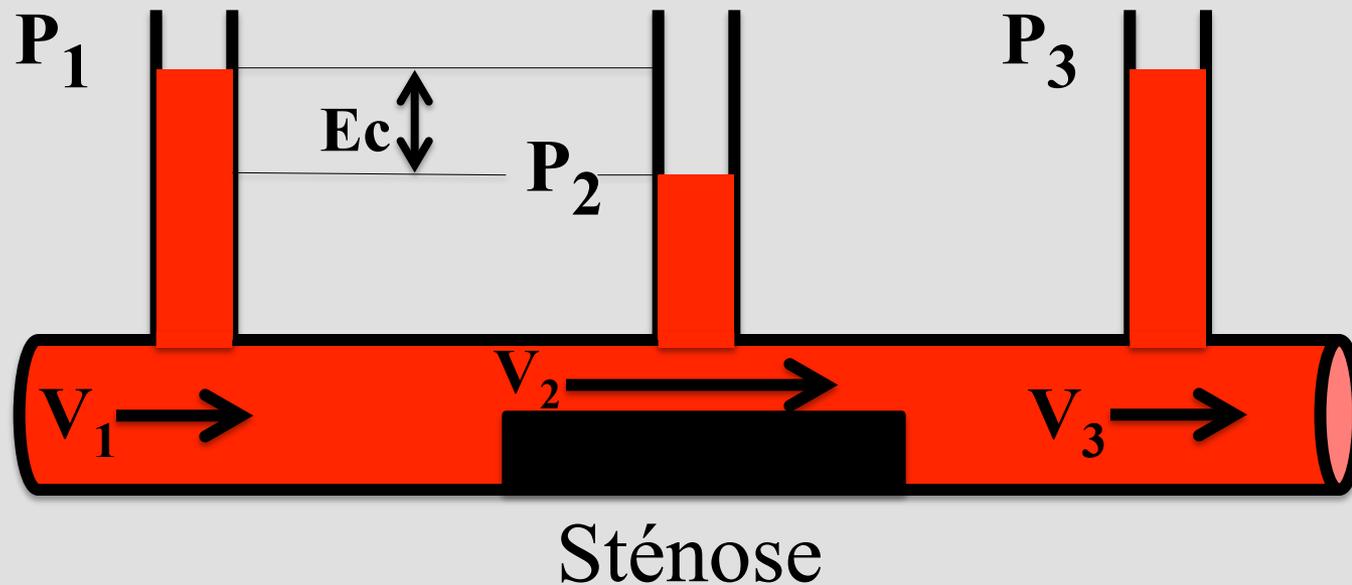
3- Incidence en aval

4- Modification de l'architecture du lit vasculaire en aval d'une sténose

5- Les voies de dérivation

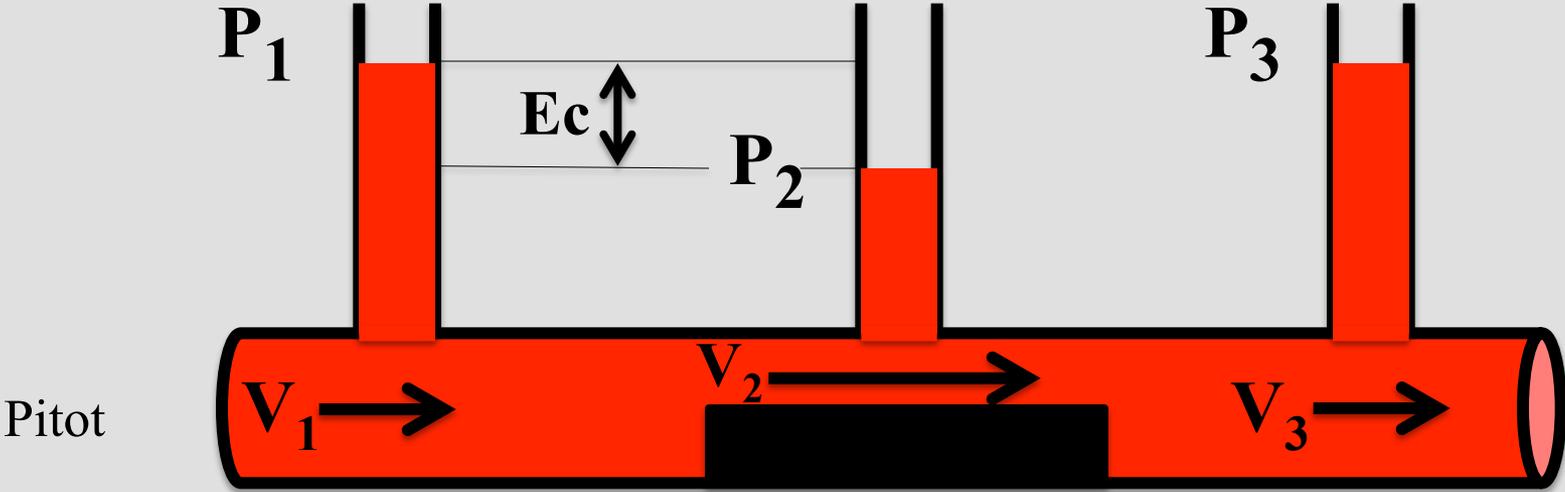
1- Description d'une sténose

Rappel: tube de PITOT



Dans la sténose: la vitesse augmente
et la pression chute (transfert d'énergie)

Fluide et tube « parfaits » → pas de frottement → pas de perte d'énergie



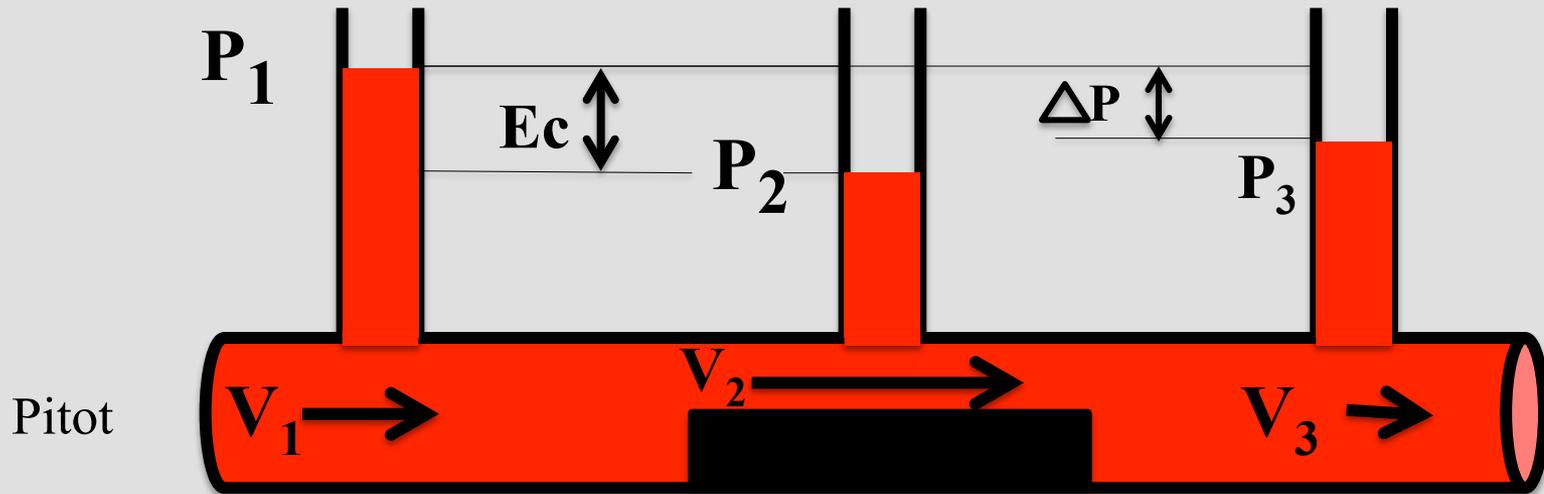
$$V_1 = V_3 < V_2 \quad \text{et} \quad P_1 = P_3 > P_2$$



Profil plat, sans perte d'énergie (absence de résistance à l'écoulement)

Un battement cardiaque suffit pour l'éternité

Sang : fluide visqueux \longrightarrow frottements \longrightarrow perte d'énergie du sang = $\Delta P + \Delta V$



$$\Delta P = P_1 - P_3 \quad \text{et} \quad \Delta V = V_1 - V_3$$



Profil parabolique
(flux laminaire)

Profil parabolique
(flux laminaire)
ou turbulent

Profil parabolique
(flux laminaire)

Perte d'énergie du sang dans la sténose

Liée aux frottements entre les éléments du sang et sur la paroi vasculaire

Ces frottements sont d'autant plus importants que la sténose est résistante (loi de Poiseuille) c'est à dire de petit diamètre (r^4) et longue (L)

Perte d'énergie sous formes thermique (chaleur) et mécanique (vibration de la paroi vasculaire quand le flux est turbulent; phénomène inconstant)

Écoulements laminaire / turbulent

Reynolds a montré que la vitesse critique (V_c) de l'écoulement du sang est égale à :

$$V_c = \frac{R_e \times \eta}{\rho \times r}$$

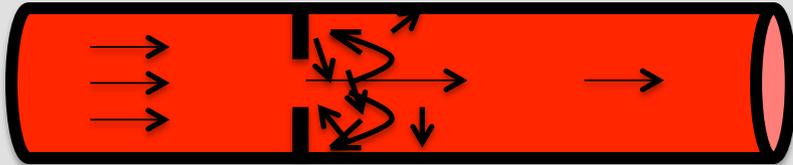
R_e nombre de Reynolds = 2000 pour le sang
(dans un tube en verre rectiligne)

η viscosité du sang

ρ densité du sang

r rayon du tube

En réalité, R_e dépend aussi de la morphologie de la sténose

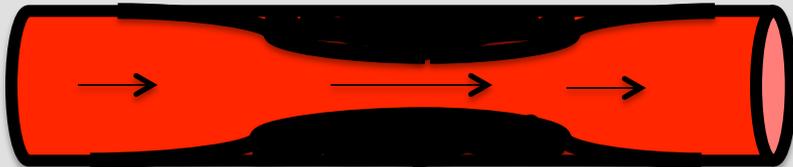


1 - Sténose en diaphragme:

R_e et V_c bas

régime turbulent

pour des vitesses faibles



2 - Sténose régulière pour une même réduction de diamètre qu'en 1:

R_e et V_c plus élevés

Régime laminaire même si vitesses élevées



3 - Sténose irrégulière

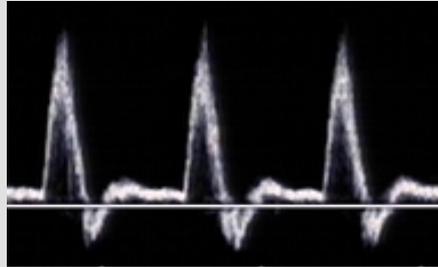
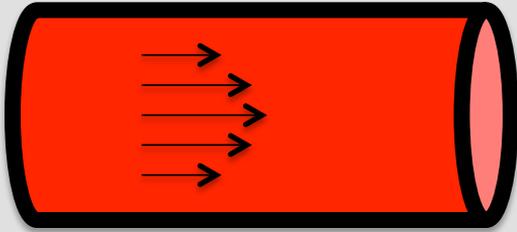
R_e et V_c bas

Régime turbulent

pour des vitesses faibles

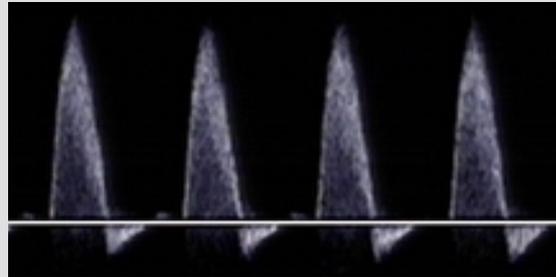
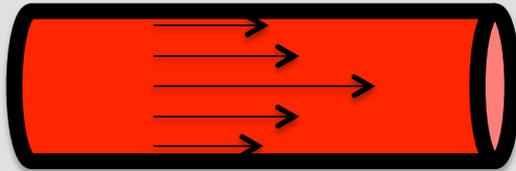
La quantification des sténoses
au doppler pulsé est basée sur
les valeurs de vitesses
mais aussi sur l'analyse du régime
circulatoire
(laminaire ou turbulent)

Quantification hémodynamique des sténoses au doppler pulsé



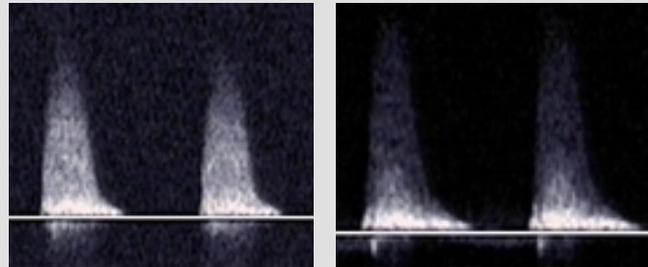
Absence de sténose:

Profil parabolique



Sténose modérée:

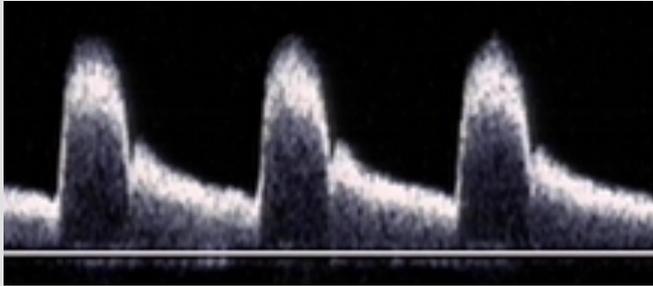
Élévation des vitesses mais
conservation du profil de
vitesse parabolique
(laminaire)



Sténose serrée:

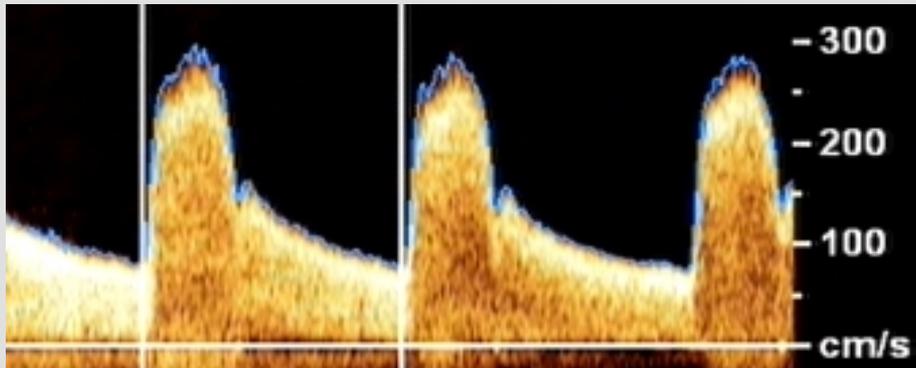
Élévation des vitesses et
dispersion spectrale avec
faibles brillances pour les
hautes vitesses et
hyperbrillances pour les
vitesses basses (turbulent)
+/- vibrations de paroi

Dans les artères à résistances basses



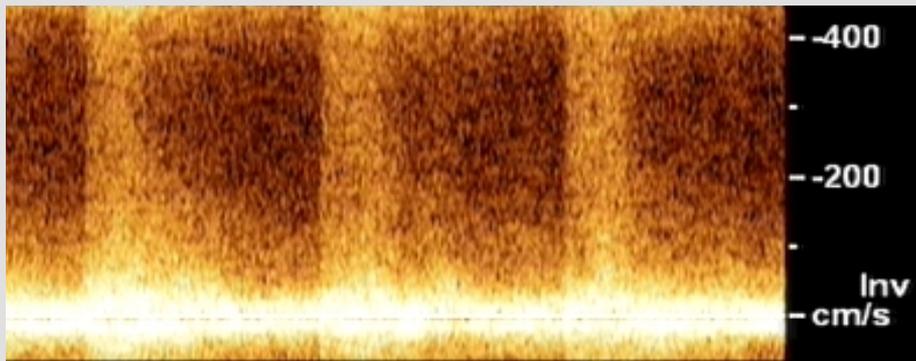
Sténose modérée:

Élévation des vitesses mais conservation du profil de vitesse parabolique (laminaire)



Sténose serrée:

Élévation des vitesses et dispersion spectrale

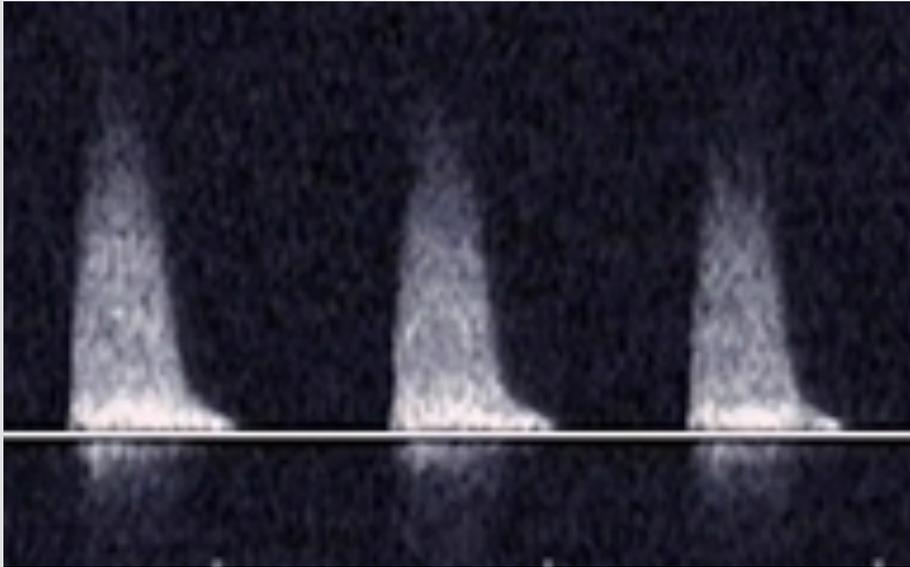


Sténose très serrée:

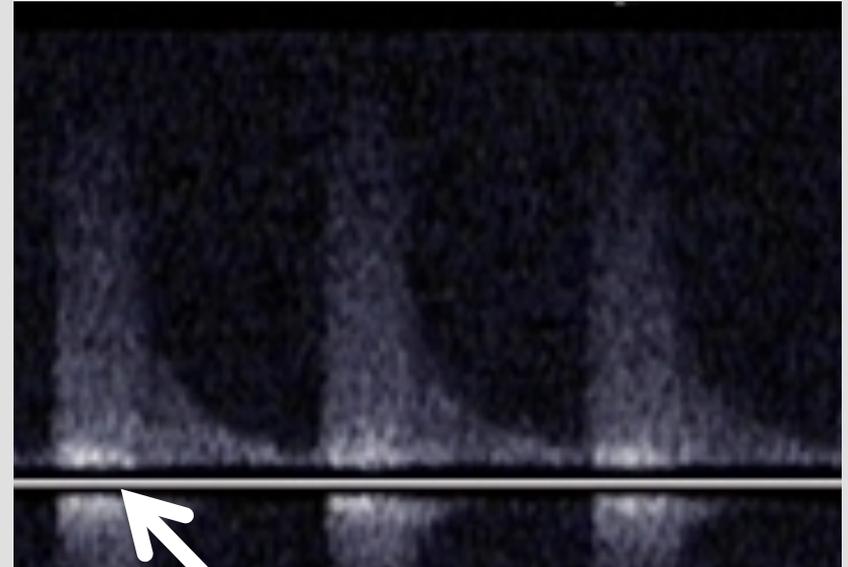
Élévation des vitesses et dispersion spectrale avec fortes brillances pour les basses vitesses (turbulent) +/- vibrations de paroi

Sténose hémodynamique serrée

Sans vibration de paroi



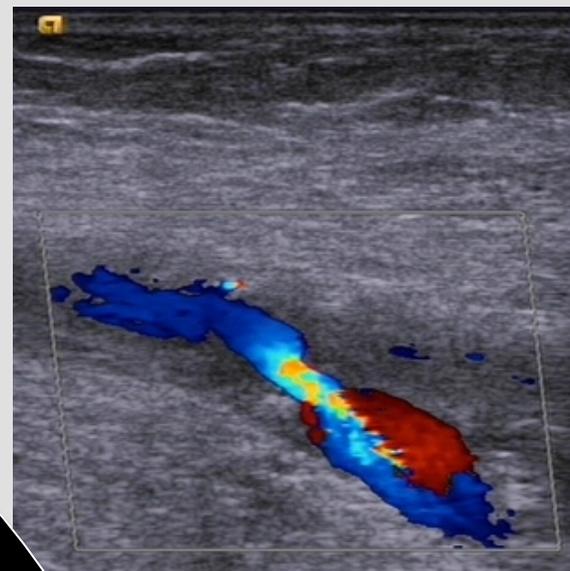
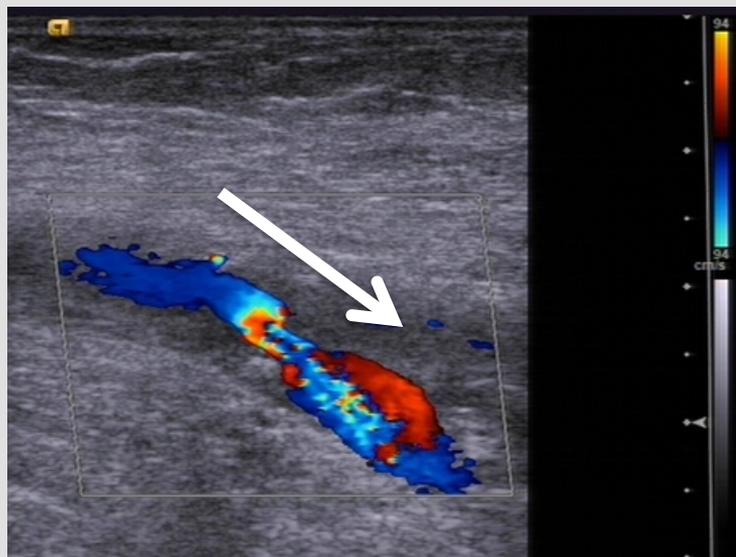
Avec vibration de paroi



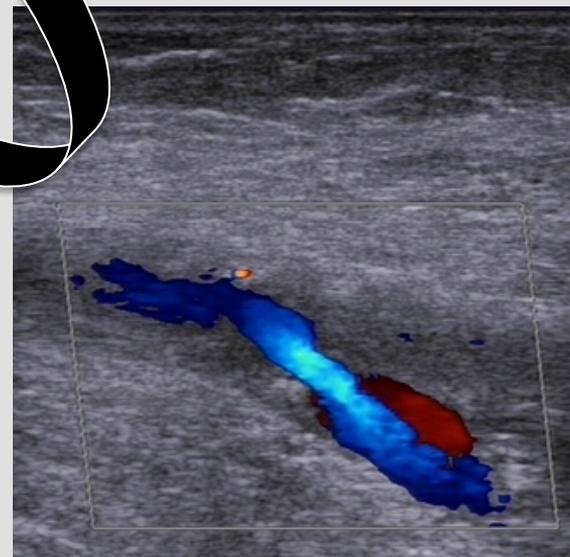
Hyperbrillances sur les basses vitesses en miroir

Sténose serrée de l'origine de la fémorale profonde

systole



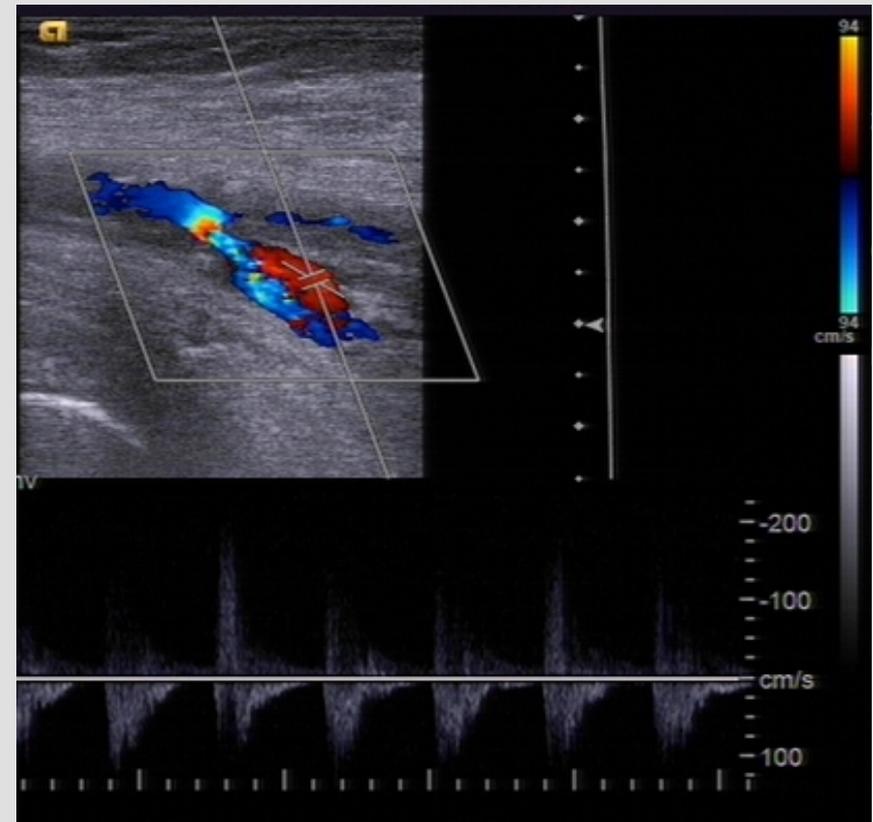
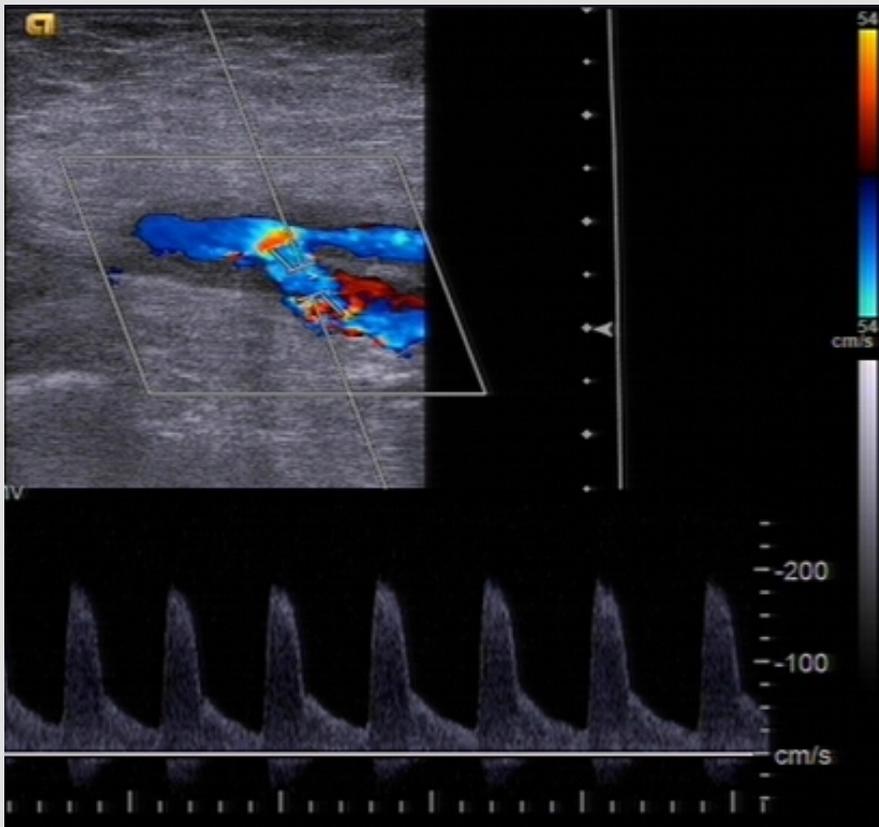
diastole



(dilatation post sténotique)

Sténose serrée de l'origine de la fémorale profonde

Déplacement de la fenêtre du doppler pulsé



Une sténose peut être soumise à des
variations de vitesses
liées aux modifications des résistances
du lit vasculaire d'aval.

Si les résistances en aval d'une sténose modérée baissent,
les vitesses dans cette sténose augmentent,
la V_c peut être dépassée
et son régime devient turbulent
Elle est alors quantifiée: serrée.

Deux exemples:

Sténose fémorale superficielle

Au repos:

sténose hémodynamique modérée
(patient asymptomatique)

A la marche:

Abaissement des résistances
dans le lit vasculaire en aval de la sténose



augmentation du travail cardiaque



augmentation des vitesses dans la sténose



Sténose hémodynamique serrée
(claudication intermittente du mollet)

**Sténoses en série:
sténoses iliaque serrée et
fémorale superficielle modérée**

Claudication fessière liée à la sténose serrée iliaque
(sténose modérée fémorale superficielle asymptomatique)

Traitement de la sténose iliaque



Amélioration de la distance de marche
(plus de claudication fessière)



Mais claudication du mollet liée à la sténose fémorale
devenue serrée par augmentation des vitesses dans la
sténose fémorale après la levée de la sténose iliaque

2- Incidence (ou retentissement) de la sténose en amont

Le flux en amont de la sténose est modifié par la résistance à l'écoulement de la sténose.

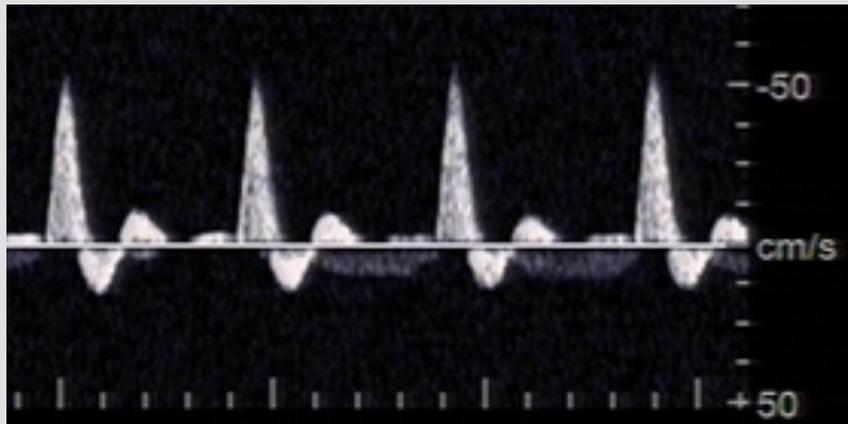
Loi de Poiseuille:

la résistance à l'écoulement de la sténose s'élève
si son rayon diminue (r^4)
et à un moindre degré si elle est longue (L)

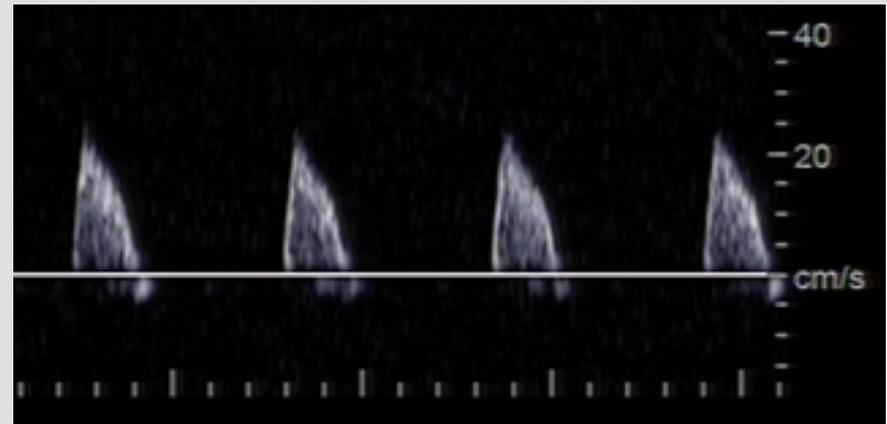
Quantification hémodynamique de l'incidence en amont d'une sténose

Artère à destinée musculaire

Fémorale superficielle normale



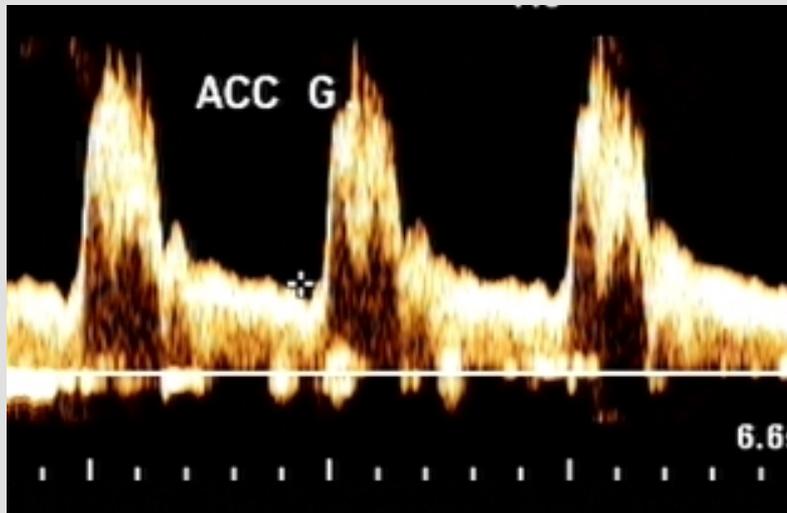
Fémorale superficielle en amont d'une sténose serrée poplitée



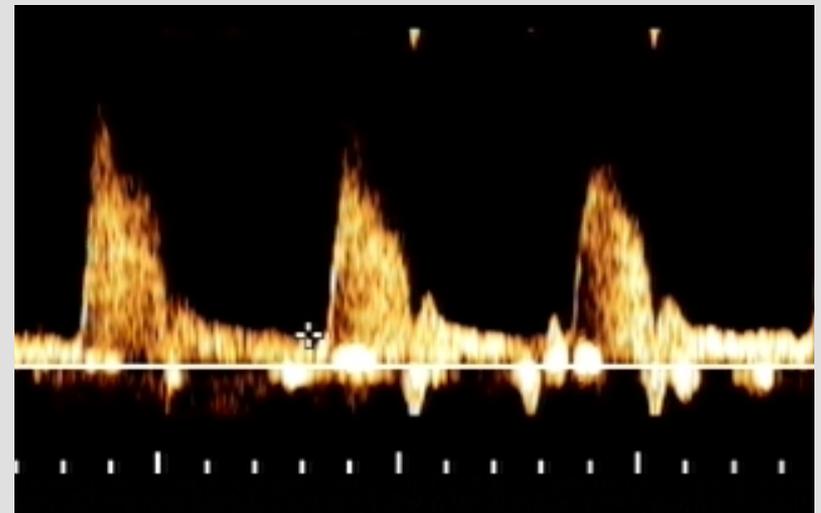
Quantification hémodynamique de l'incidence en amont d'une sténose

Artère à destinée cérébrale

Carotide primitive normale



**Carotide primitive en amont
d'une sténose ou oblitération
carotide interne**



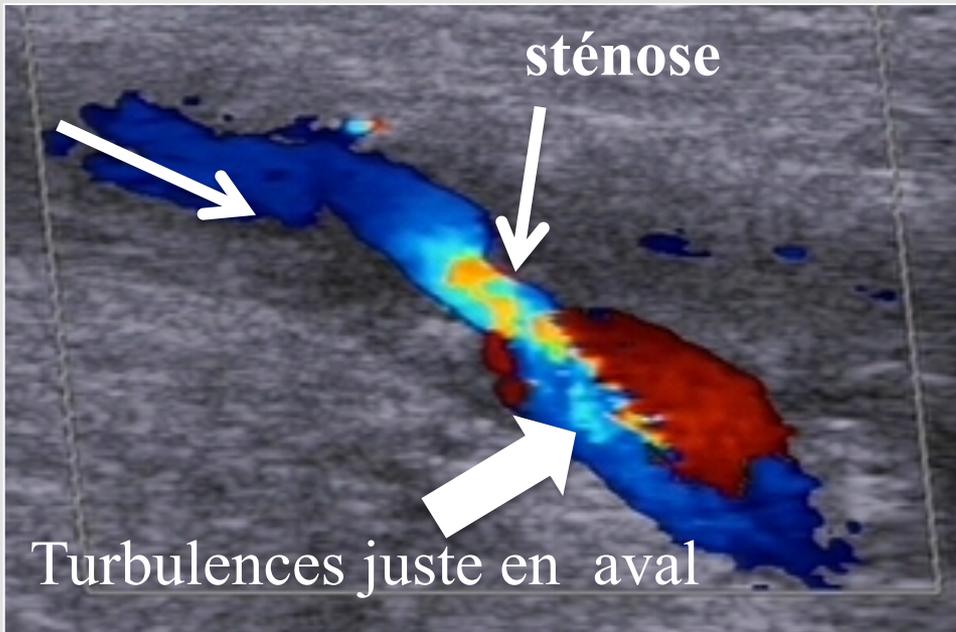
En pratique:

L'exploration des troncs supra aortiques débute par la recherche d'une asymétrie des flux des carotides communes à la recherche d'une augmentation des résistances.

Toute asymétrie des résistances conduira à chercher une sténose de la carotide interne extra ou intracrânienne (du côté de l'augmentation des résistances)

3- Incidence (ou retentissement) de la sténose en aval

Perte d'énergie cinétique

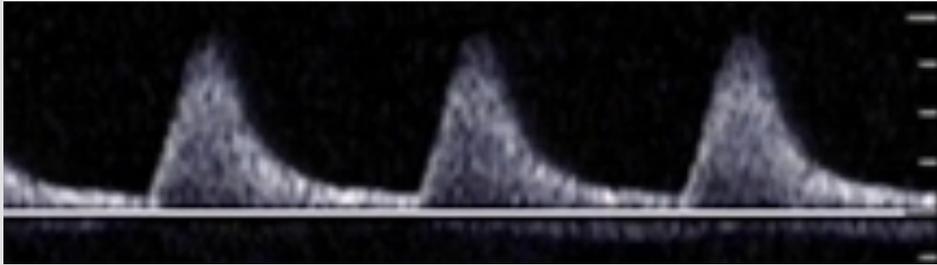


A l'aide du Doppler continu ou pulsé

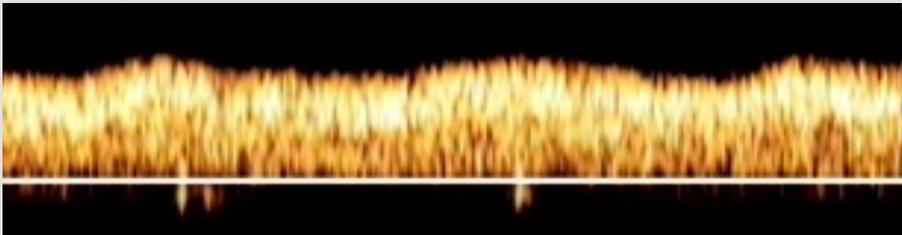
A distance de la sténose pour évaluer la perte d'énergie cinétique dans la sténose sur un flux laminaire

Traduction sur la courbe ou le spectre de vitesse Doppler

Sténose modérément incidente en aval



Sténose très incidente en aval



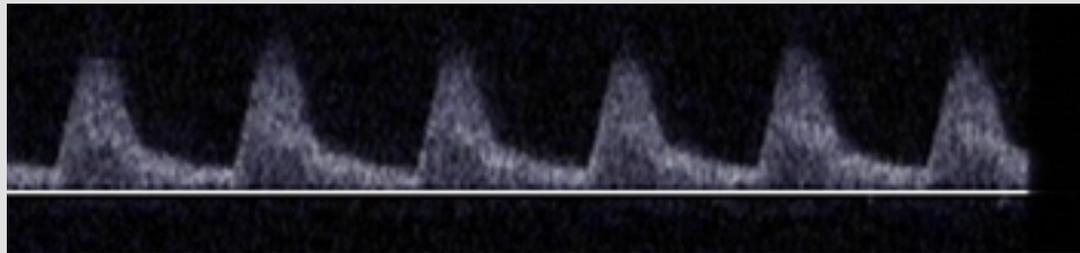
Critère principal:

Allongement du temps
de montée systolique
appelé démodulation

Et diminution du pic
systolique

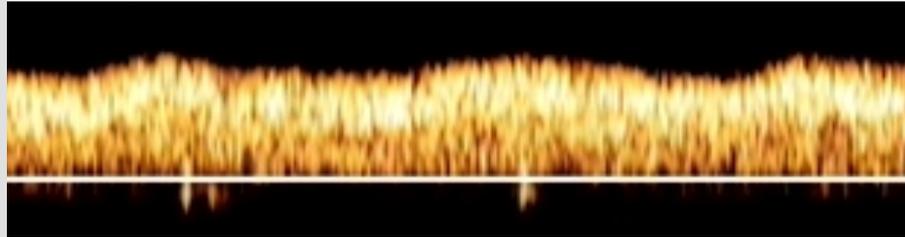
Remarque

Dans le rétrécissement aortique,
les courbes sont démodulées
dans l'ensemble des territoires artériels



Perte d'énergie de pression et ses conséquences sur l'exploration

Dans l'ischémie critique des membres inférieurs, une artère distale (par exemple pédieuse) peut présenter le flux suivant:



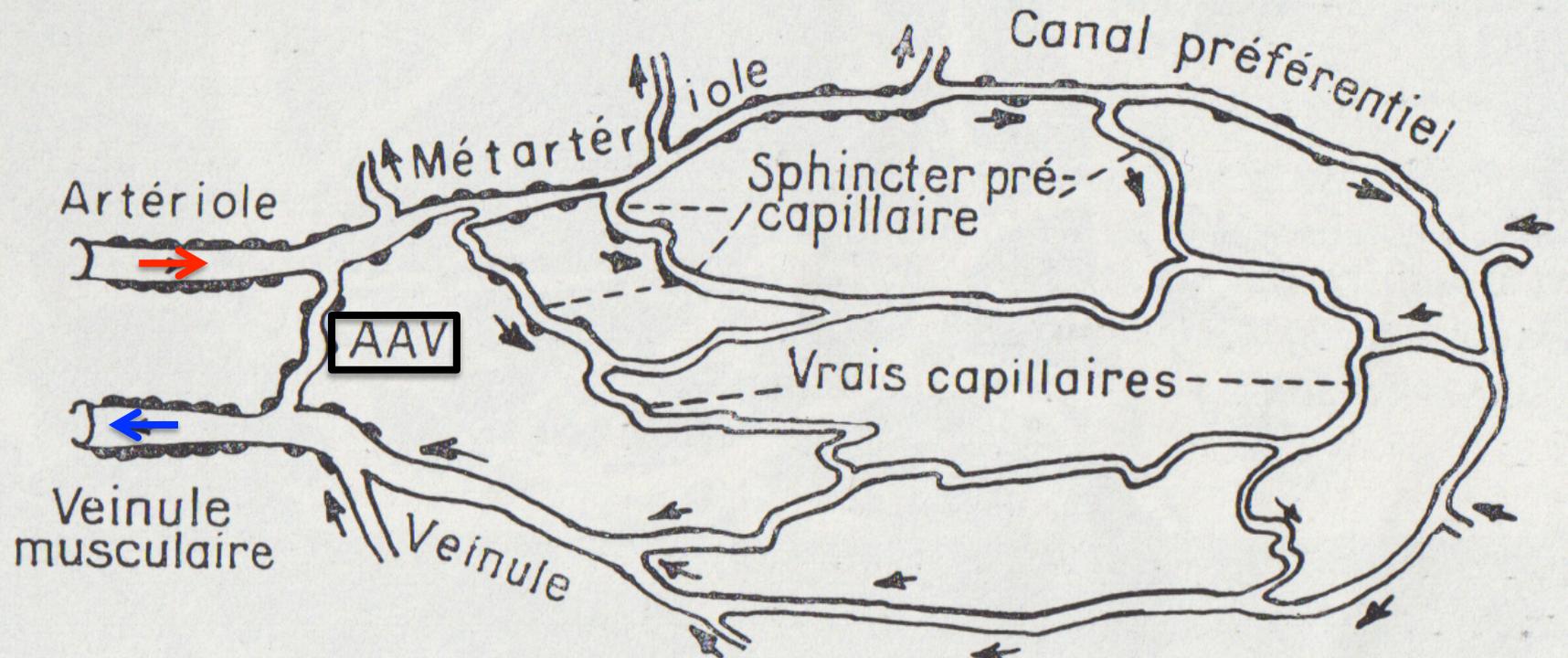
Son voisinage avec les veines et son caractère très dépressible lié à la chute de pression peuvent entraîner une erreur d'identification de l'artère (confusion entre artère et veine liée à des régimes de pression voisins)

4- Modifications de l'architecture du lit vasculaire en aval d'une sténose

En réponse à la baisse d'énergie du sang
en aval de la sténose,
les résistances artériolo-capillaires d'aval
s'abaissent.

Le calibre des artérioles augmente et
les micro shunts (AAV) s'ouvrent
contournant le lit capillaire.

Lit artériolo-capillaro-veinulaire (exemple: muscle)

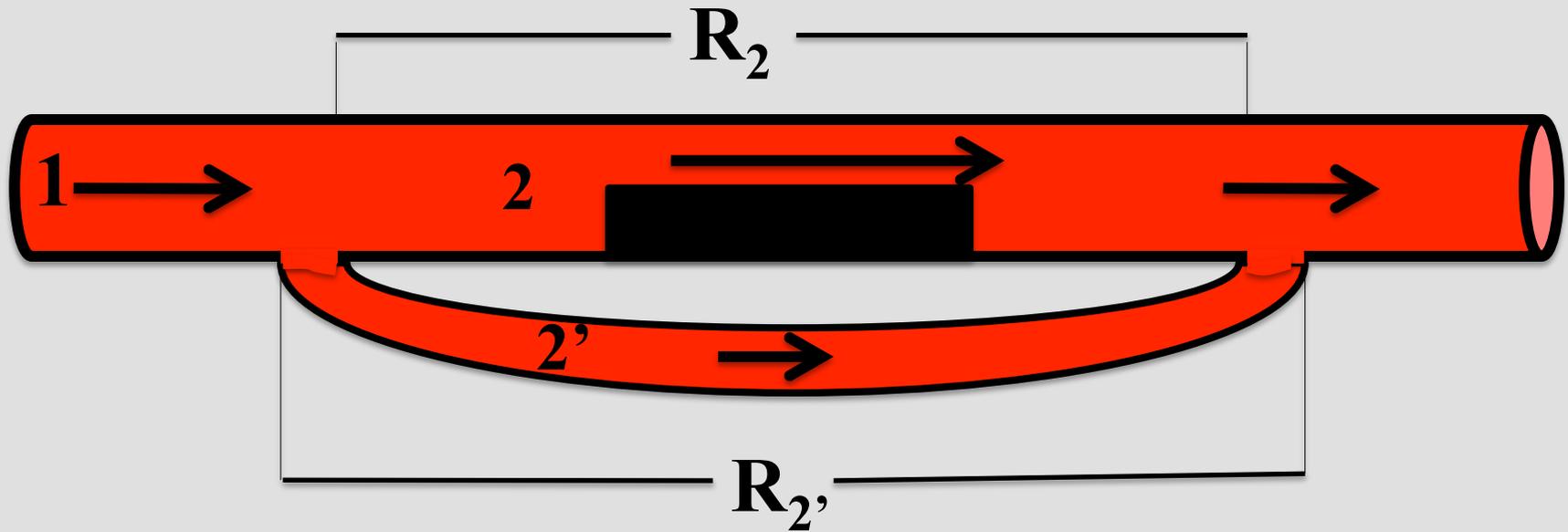


(Physiologie et biophysique de la circulation: Burton)

Baisse des résistances: ouverture des AAV (micro shunts) qui shuntent le lit capillaire (dont les résistances sont plus élevées) → Débit non nutritif.
Et augmentation du débit dans l'artère sténosée → majoration de la sténose artérielle mais maintien de la perméabilité artérielle

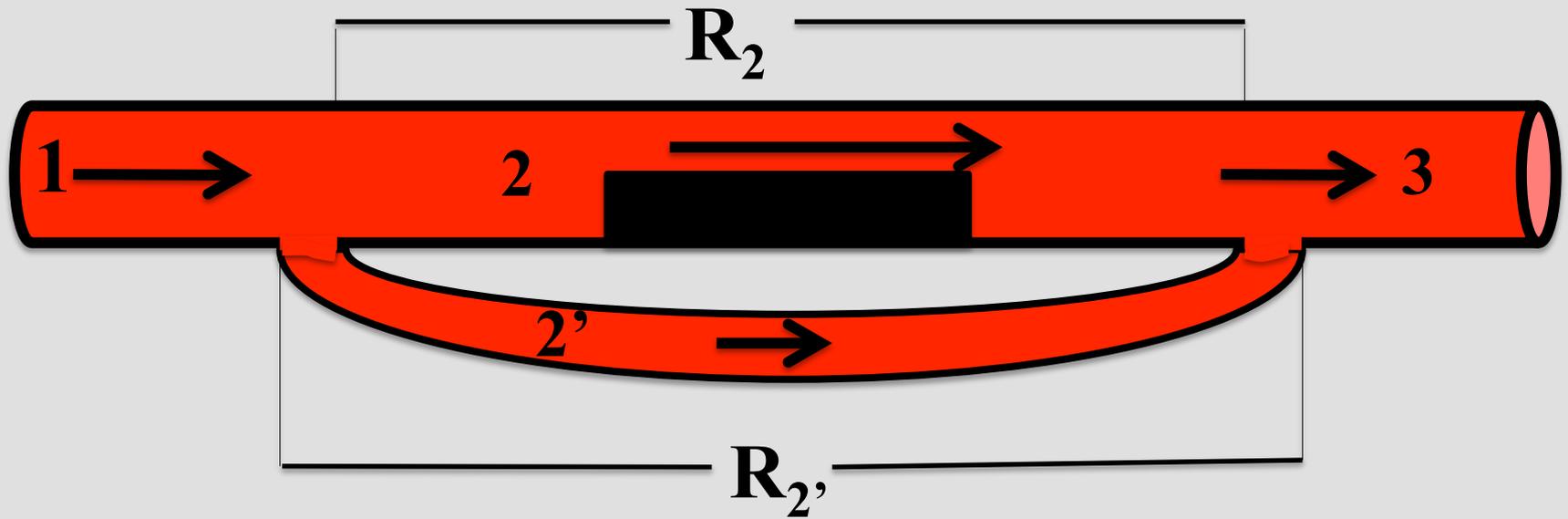
Cette description
d'une sténose artérielle,
de son amont et son aval,
est valable si le système artériel
ne présente pas
de voies de dérivation
en parallèle à cette sténose

5- Les voies de dérivation



L'énergie du sang en 1 a le choix entre la voie sténosée (2) et la dérivation (2')

C'est la voie la moins résistante qui sera privilégiée (Poiseuille)



Si $R_2 < R_{2'}$,
voie de dérivation non sollicitée

Si $R_2 > R_{2'}$,
voie de dérivation sollicitée

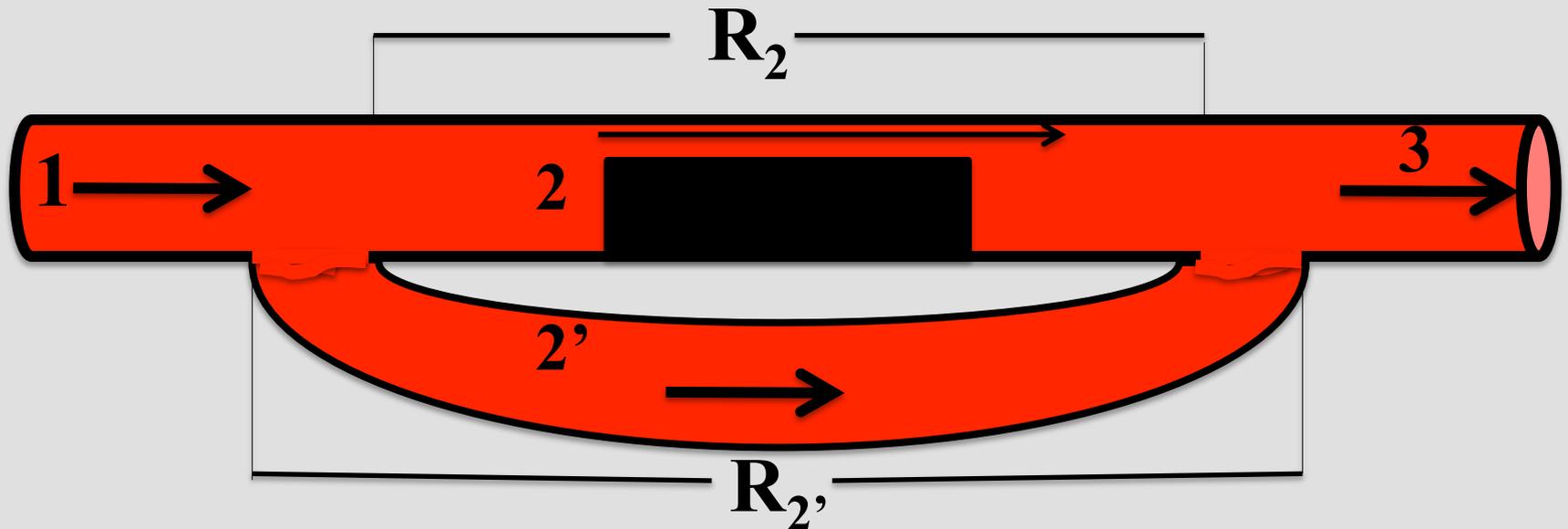
↓
↗ du niveau d'énergie dans cette voie

↓
↗ du calibre (pression) et des vitesses (E_c)

Si la voie de dérivation (2') se dilate suffisamment,
sa résistance à l'écoulement ($R_{2'}$) peut devenir
égale à la résistance de l'axe 2
avant le développement de la sténose



Normalisation du niveau d'énergie en 3



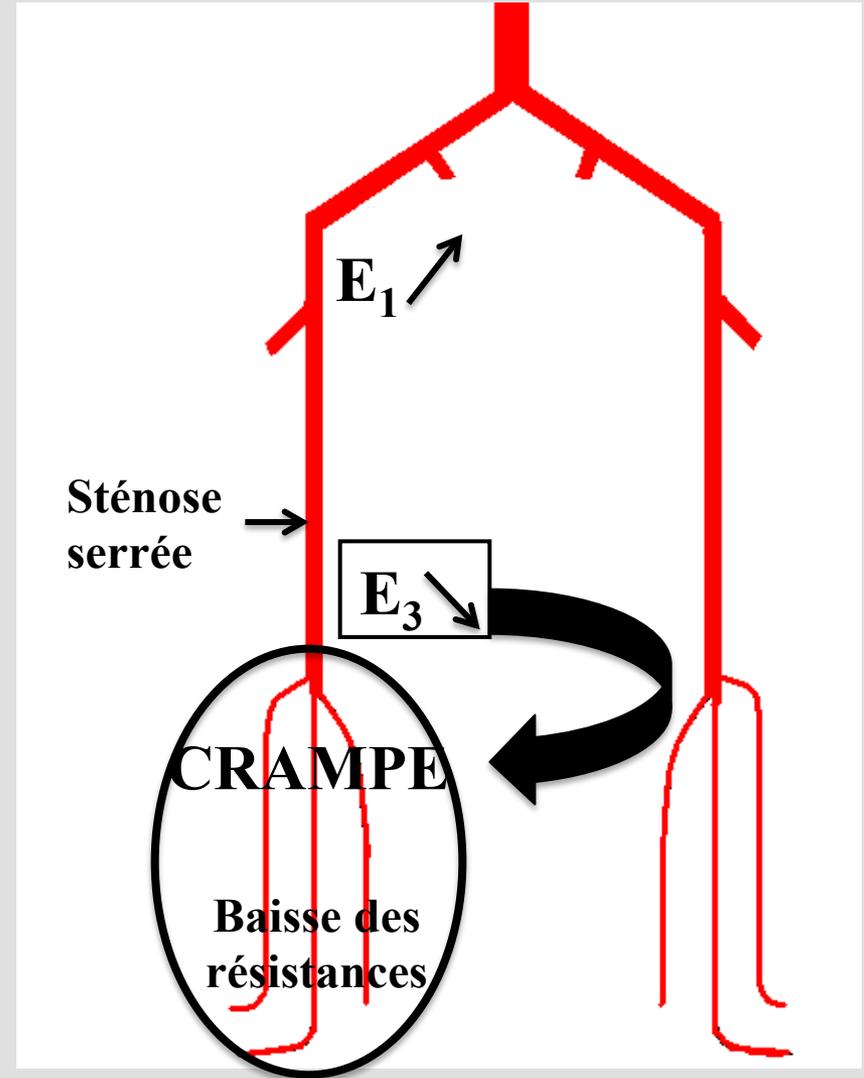
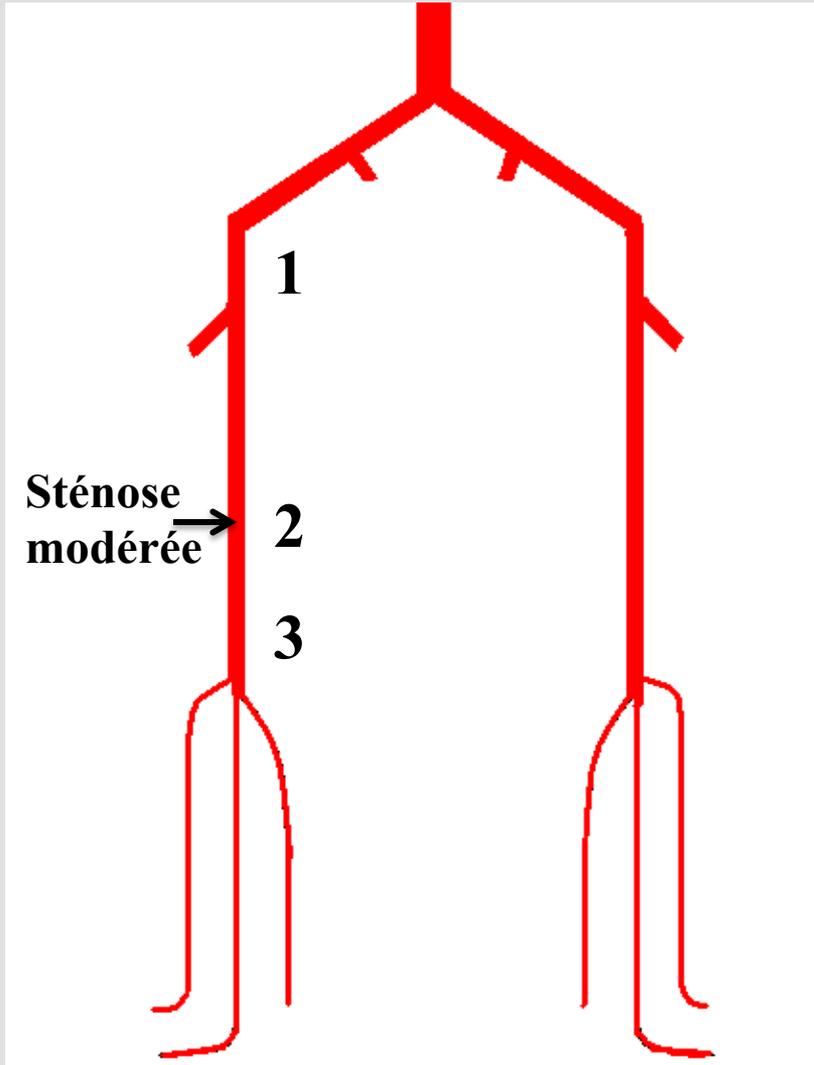
Exemples de voies de dérivation

- 1- Sténose fémorale superficielle
- 2- Sténose d'une carotide interne
- 3- Sténoses des deux carotides internes
- 4- Sténose sub clavière pré vertébrale et hémodétournement vertébral
- 5- Test de la perméabilité des arcades palmaires

1 - Sténose de la fémorale superficielle

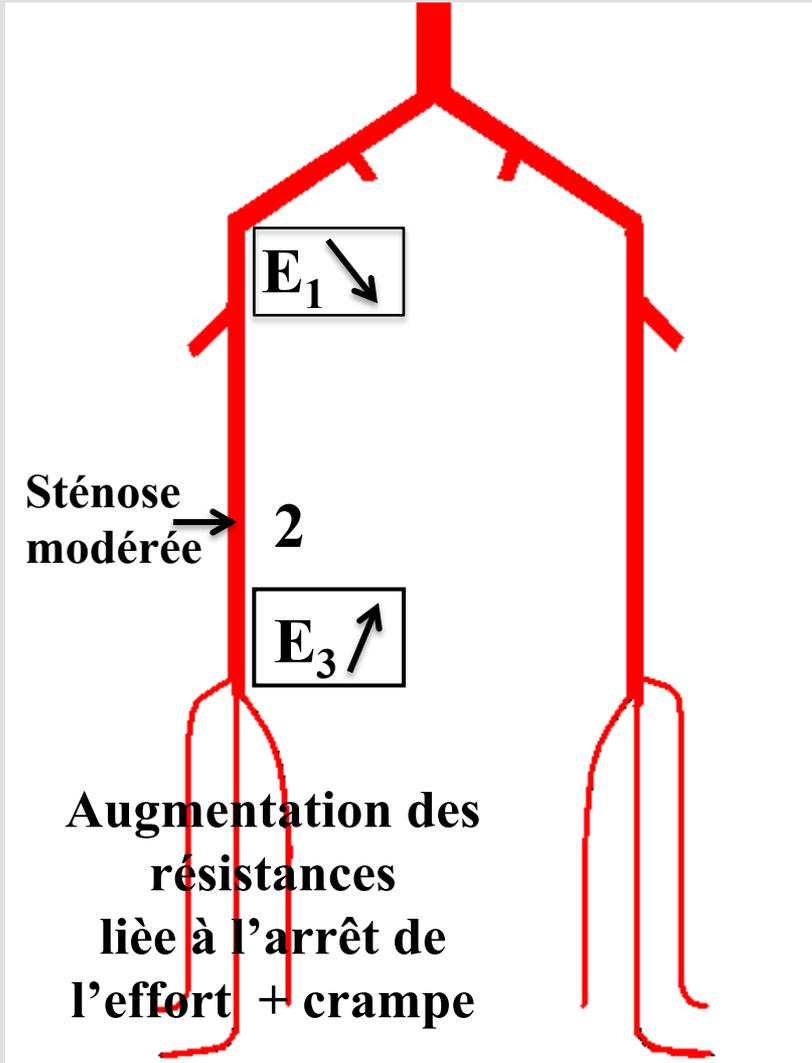
Repos: asymptomatique

A l'effort: claudication intermittente



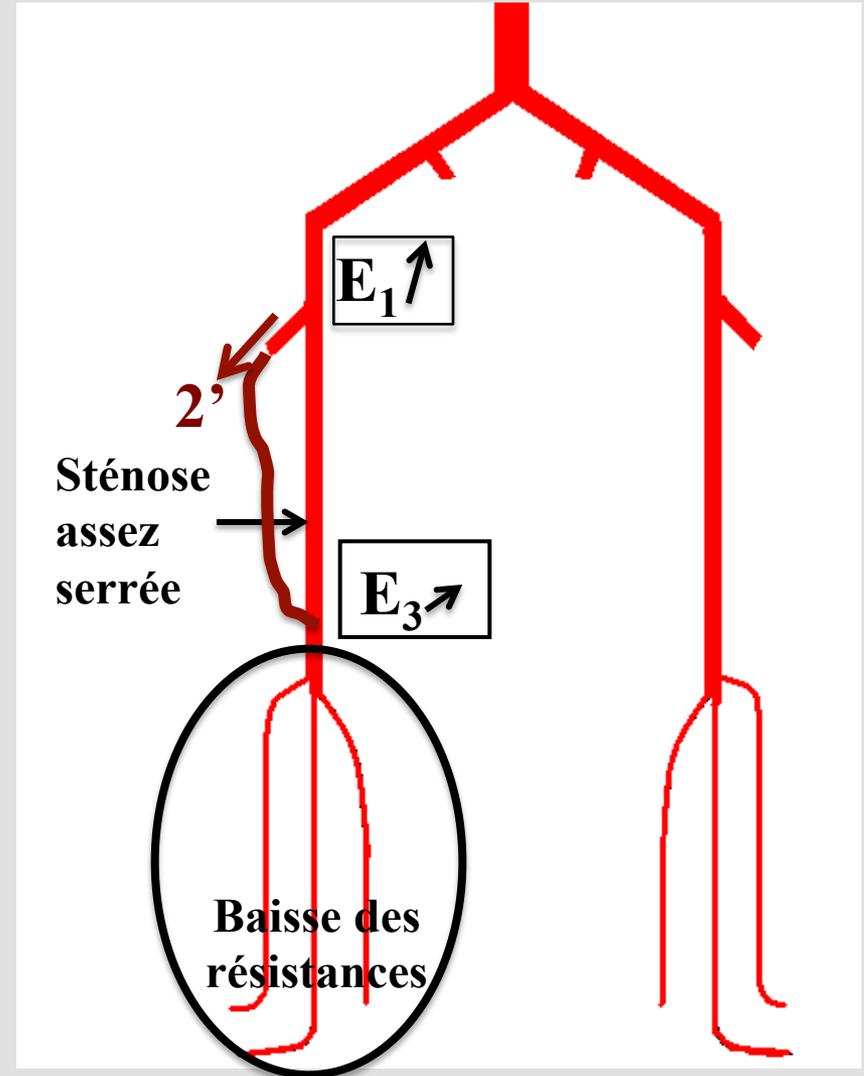
Après quelques mn d'arrêt

À l'arrêt



A l'effort modéré

(pas de claudication intermittente)



La voie de dérivation 2' est formée par
des branches reliant
la fémorale profonde à la poplitée.

Ces dérivations se développent au cours
d'une marche lente et prolongée, sans crampe,
de façon à maintenir
des résistances d'aval basses.

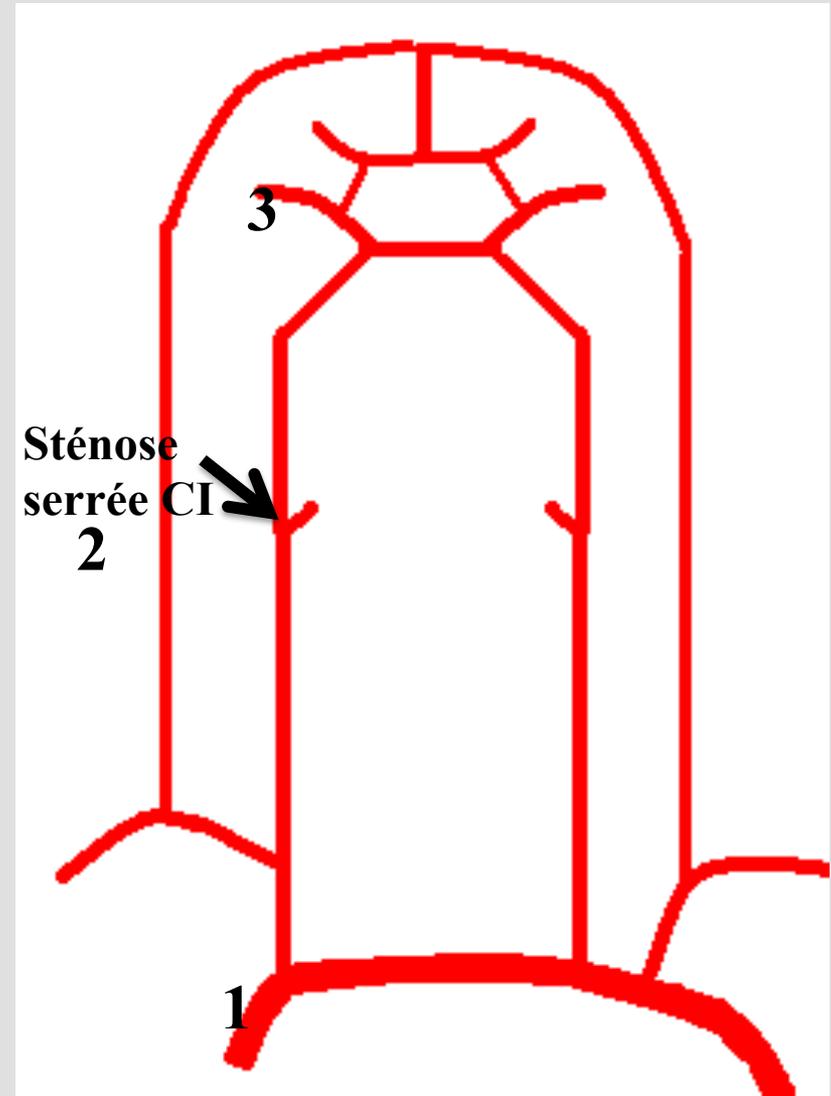
2 - Sténose de la carotide interne droite

La baisse du niveau d'énergie dans le territoire cérébral provoque une baisse des résistances cérébrales qui majore le gradient d'énergie de part et d'autre de la sténose

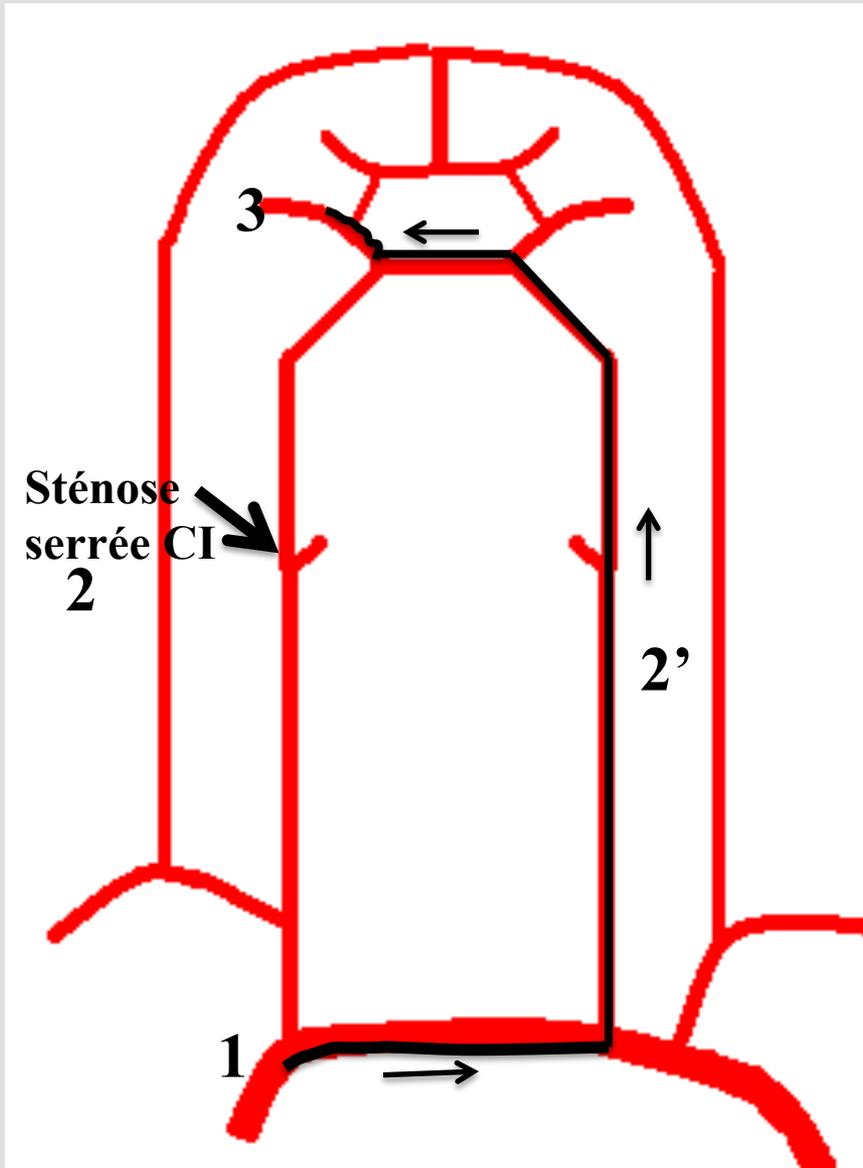
$$E_3 \ll E_1$$

A ce système s'ajoute de nombreuses voies de dérivations (2') visibles sur le schéma mettant en jeu:

- la CI controlatérale via la communicante antérieure,
- les vertébrales via les communicantes postérieures
- et la CE via l'ophtalmique (non représentée)



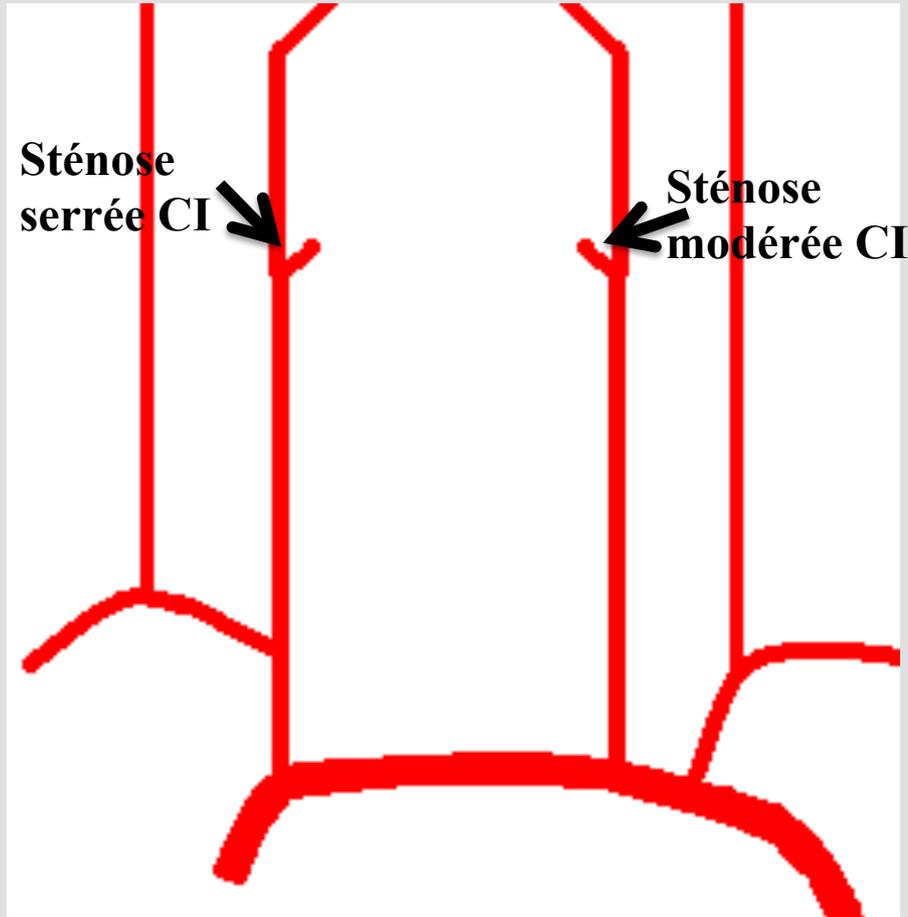
Communicante antérieure fonctionnelle



Voie de dérivation principale (2'):
permet d'augmenter le niveau
d'énergie dans la cérébrale
moyenne (E_3) à condition que la
communicante antérieure soit de
calibre suffisant.

Cette communicante est dite
fonctionnelle ou
non fonctionnelle

3 - Sténoses des deux carotides internes



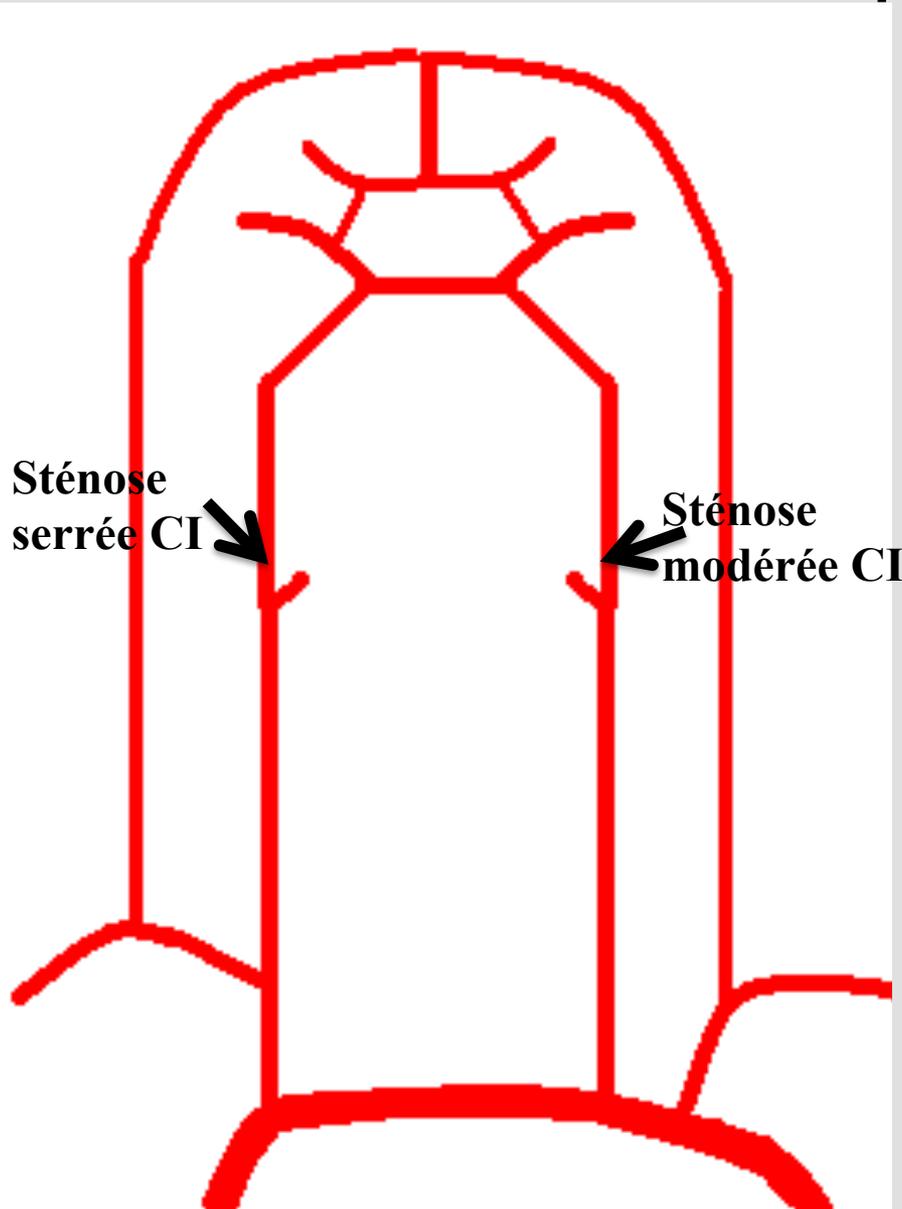
Sténose serrée CI droite
et sténose modérée CI gauche

Levée de la sténose à droite
(traitement chirurgical
ou endovasculaire)



Plus de sténose hémodynamique
à gauche

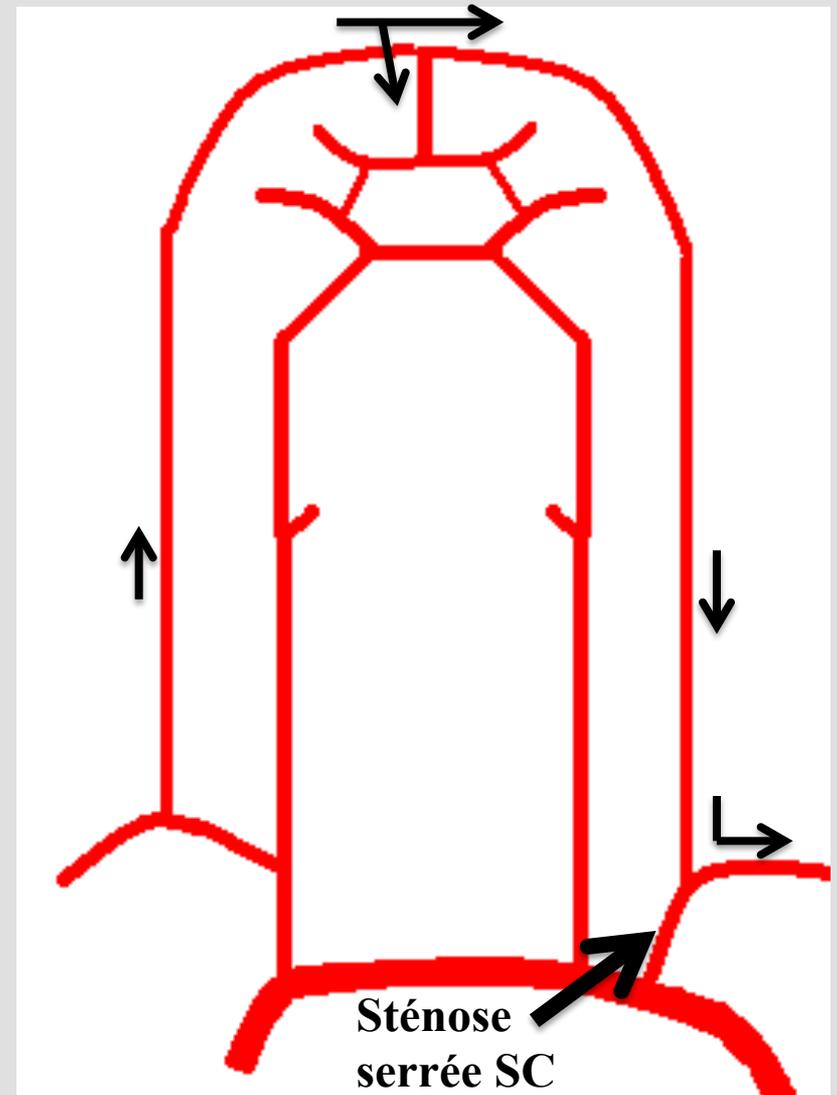
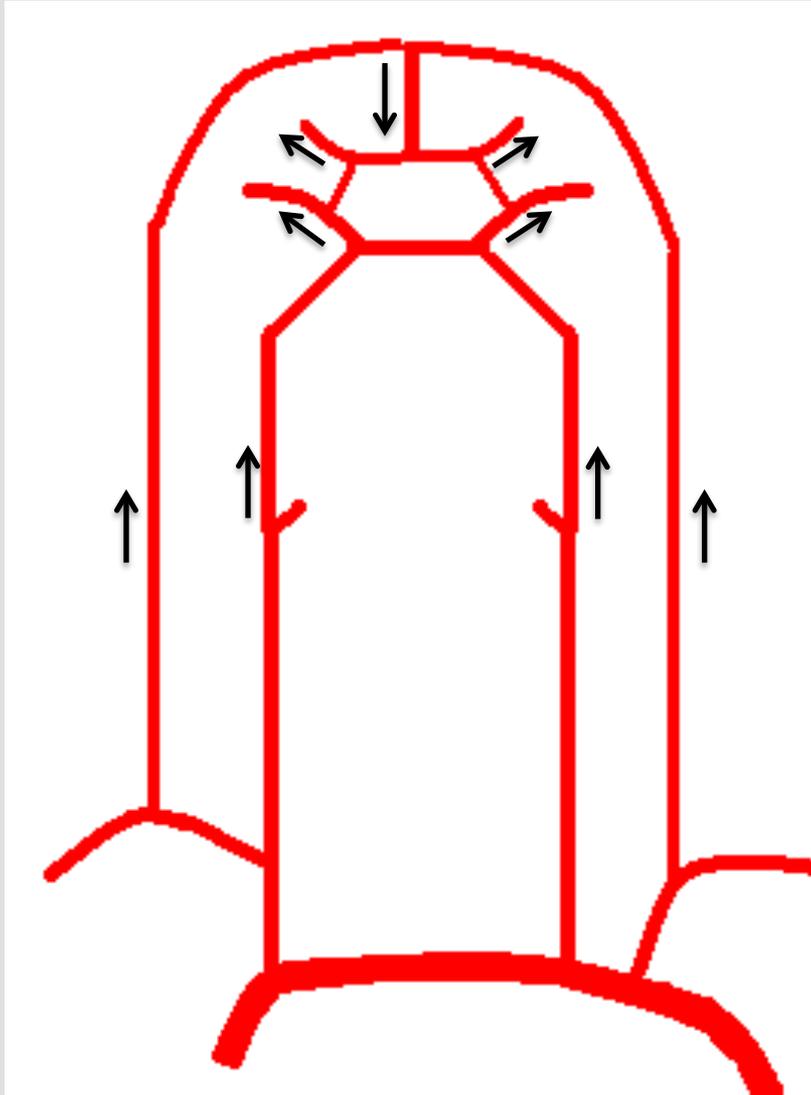
Pourquoi ?



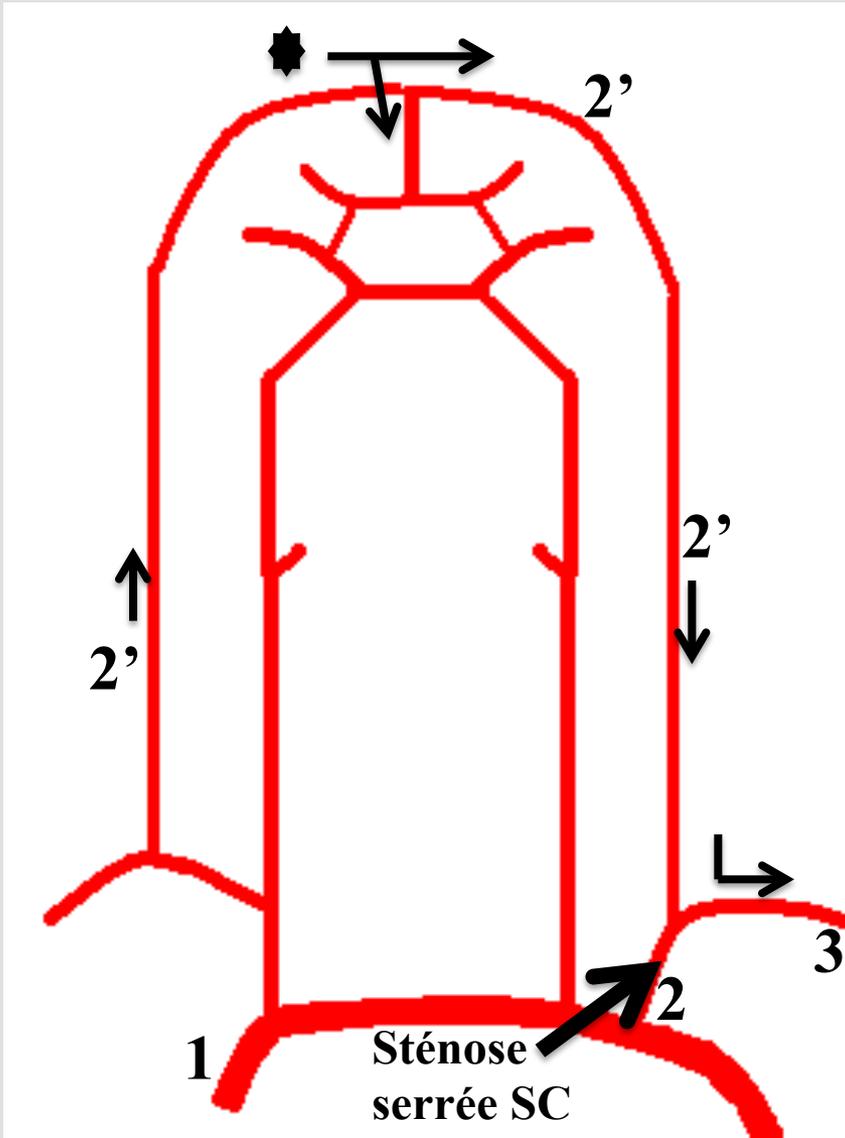
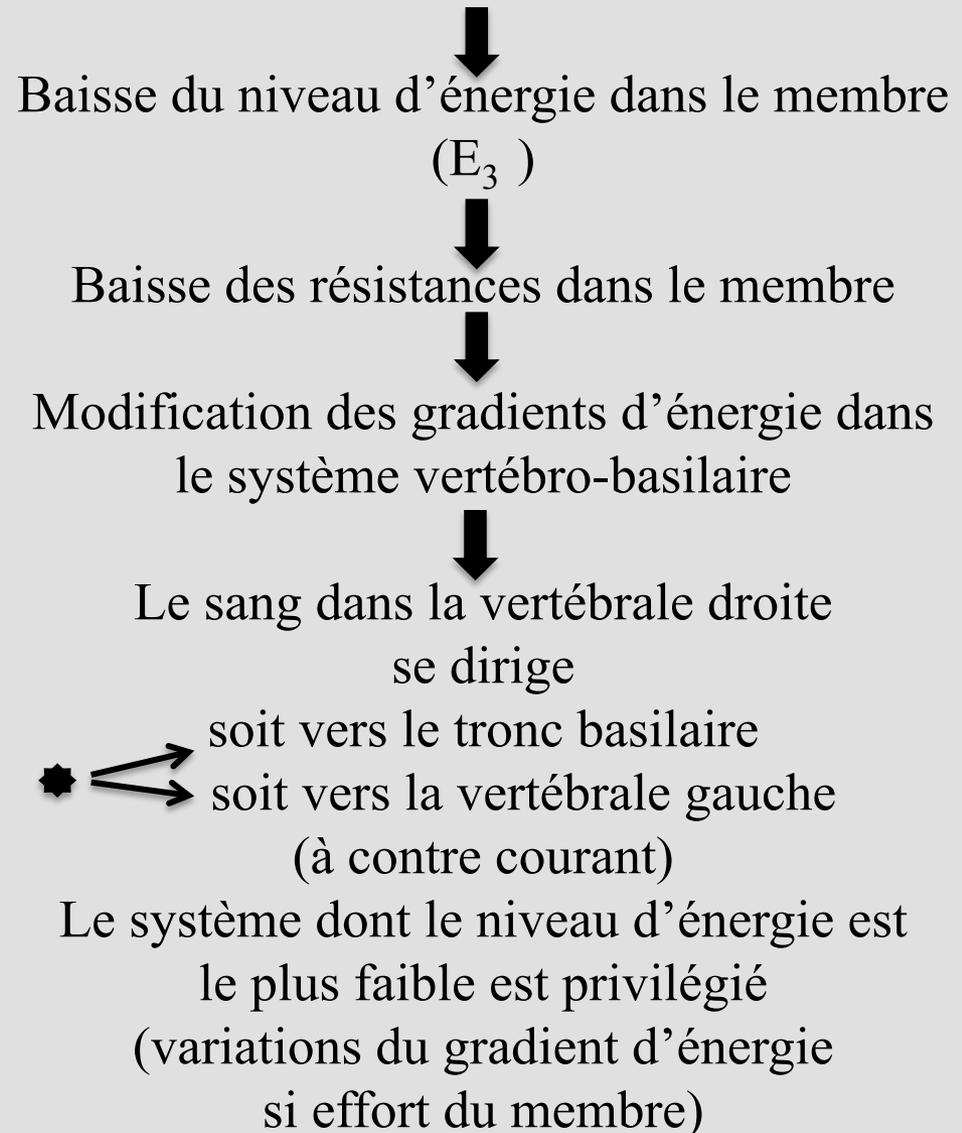
La carotide interne gauche servait de voie de dérivation pour la sténose droite (plus serrée).

Elle était donc à un niveau d'énergie plus élevé (vitesses plus élevées) qui lors de la levée de la sténose s'est abaissé.

4 - Sténose sub clavière pré vertébrale et hémodétournement vertébral



Sténose serrée (ou oblitération) sub clavière gauche



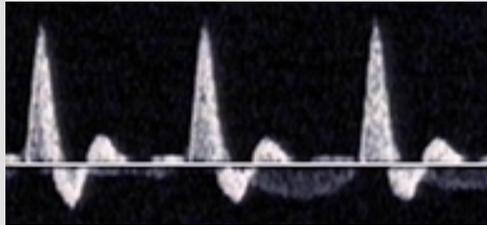
Traduction au Doppler de l'hémodétournement vertébral

Hémodétournement complet

Hémodétournement intermittent

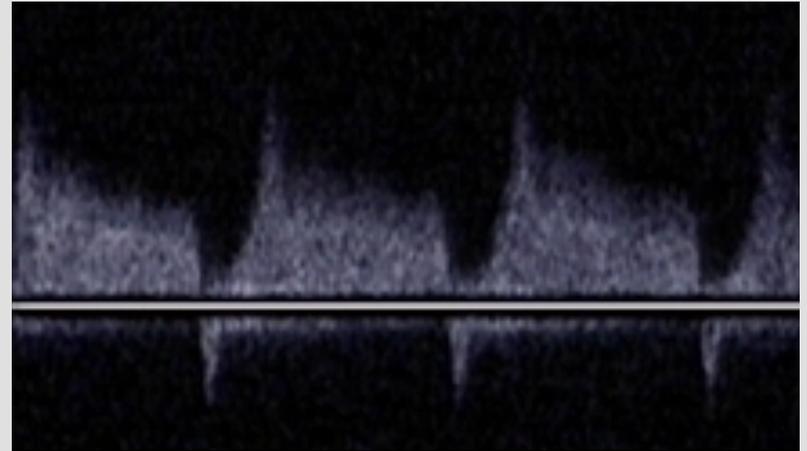
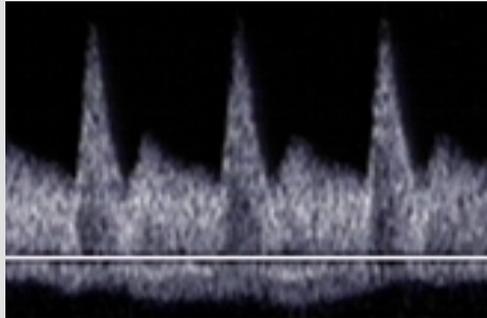
Flux vertébral

Membre supérieur
au repos

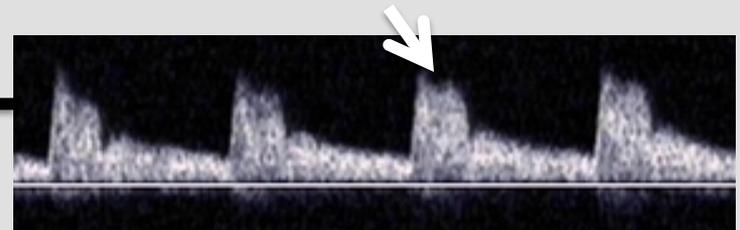
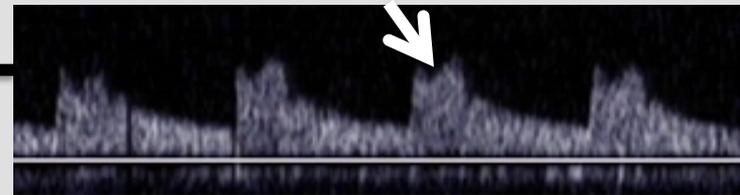
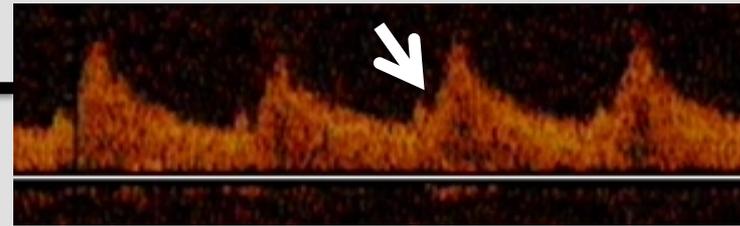
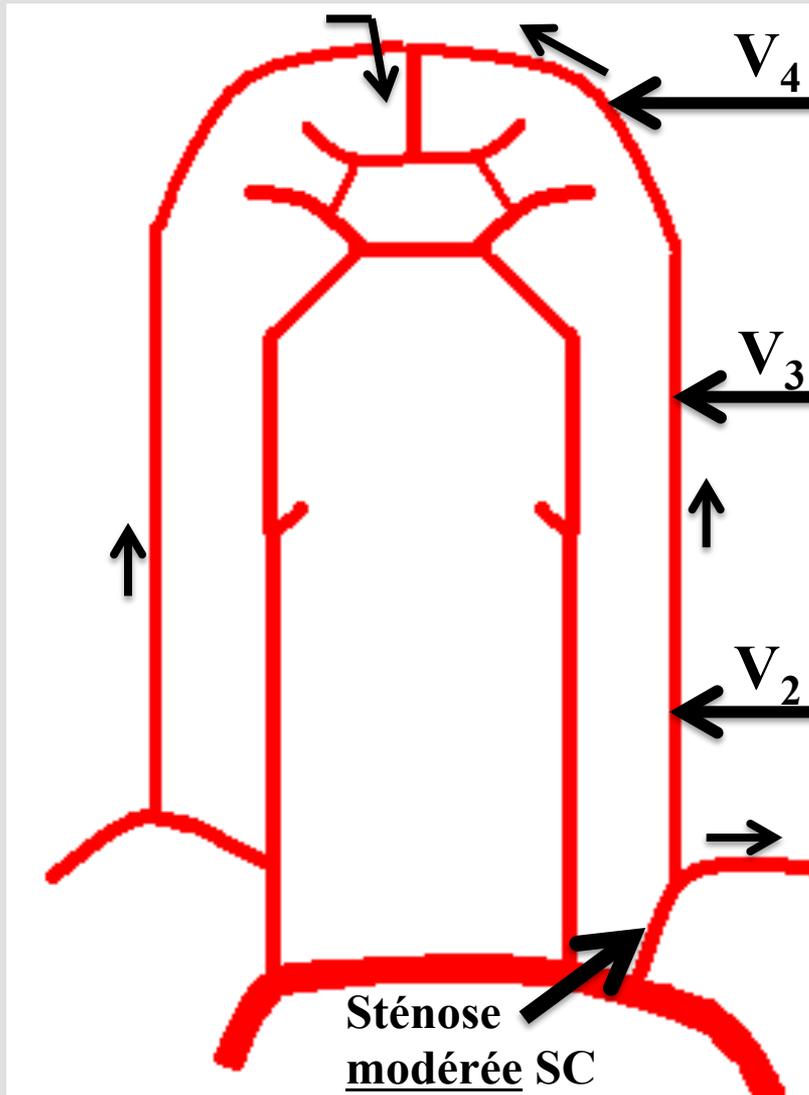


Flux vertébral

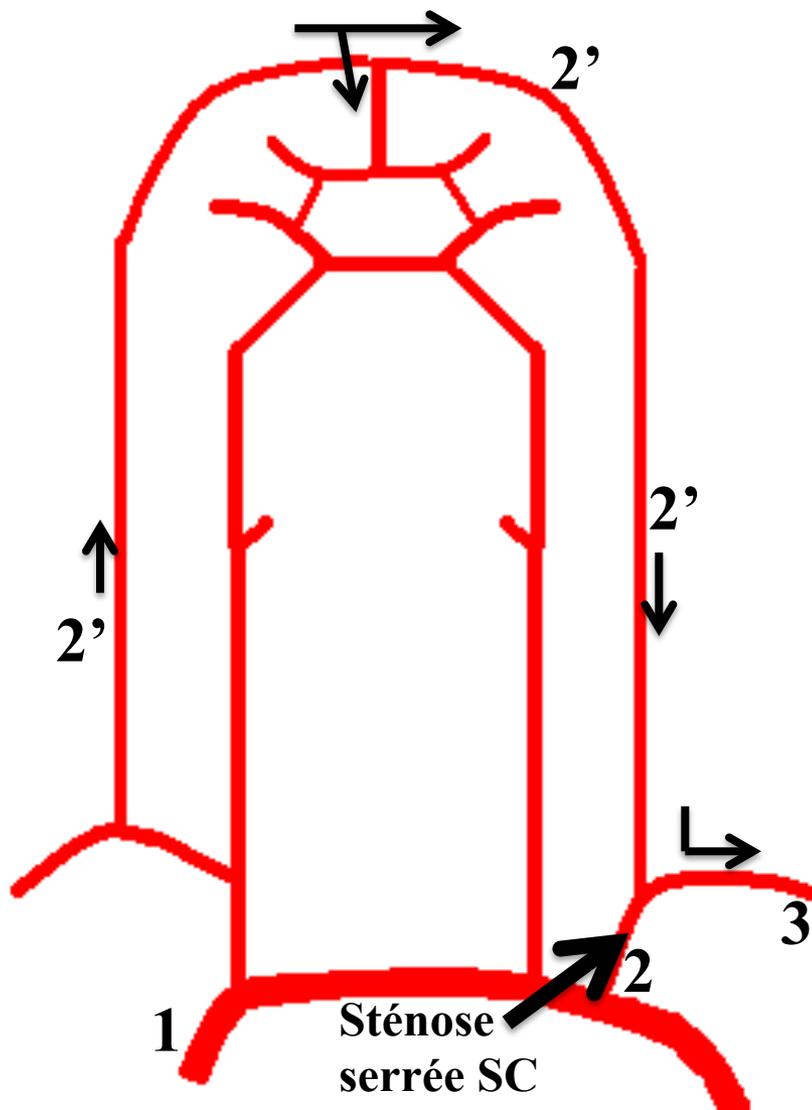
Effort du membre
supérieur



Traduction au Doppler du pré hémodétournement vertébral



**Le gradient d'énergie varie
au cours
du cycle systolo-diastolique
et la longueur de la voie 2' >> 2**

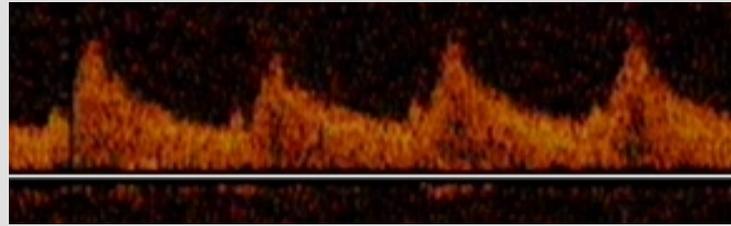


Le terme de **vol**
ou **prévol**
est réservé
au **retentissement**
de l'hémodétournement
vertébral
sur le tronc basilaire
(c'est la subclavière (3)
qui « vole » du sang au
tronc basilaire)

Flux à l'origine du tronc basilaire

Le plus souvent: normal (pas de retentissement cérébral de l'hémodétournement vertébral)

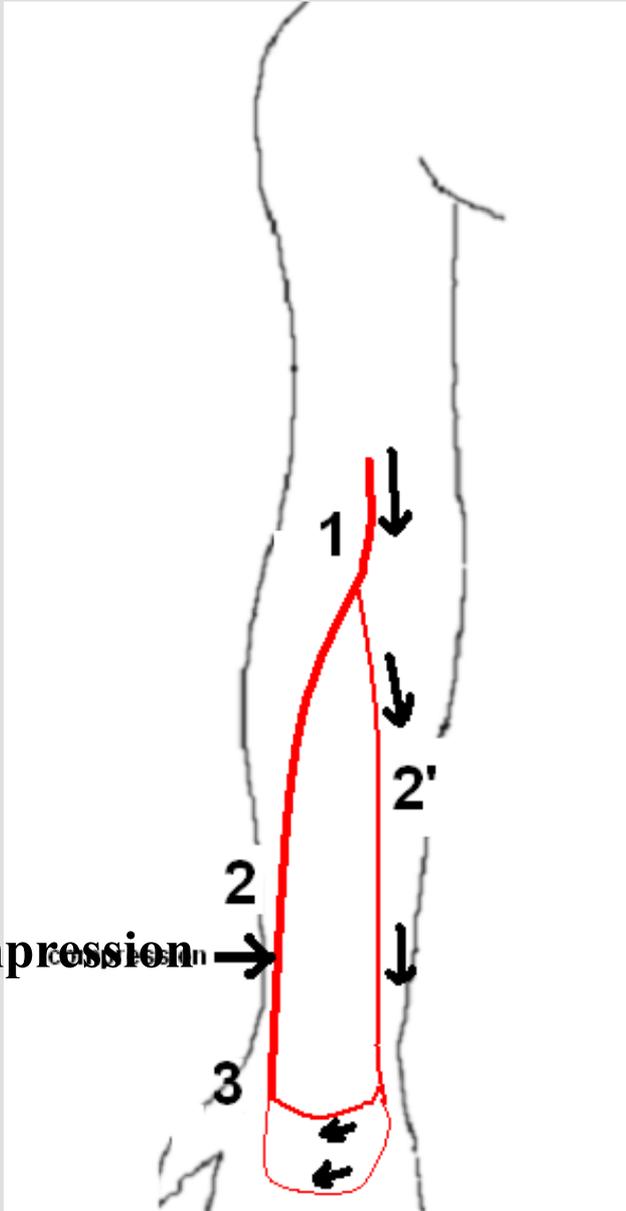
Parfois : prévol



Exceptionnellement : vol complet (inversion du flux)

Retentissement pouvant varier en fonction de l'activité musculaire du membre ou si épreuve d'hyperhémie (garrot)

5 - Test de la perméabilité des arcades palmaires

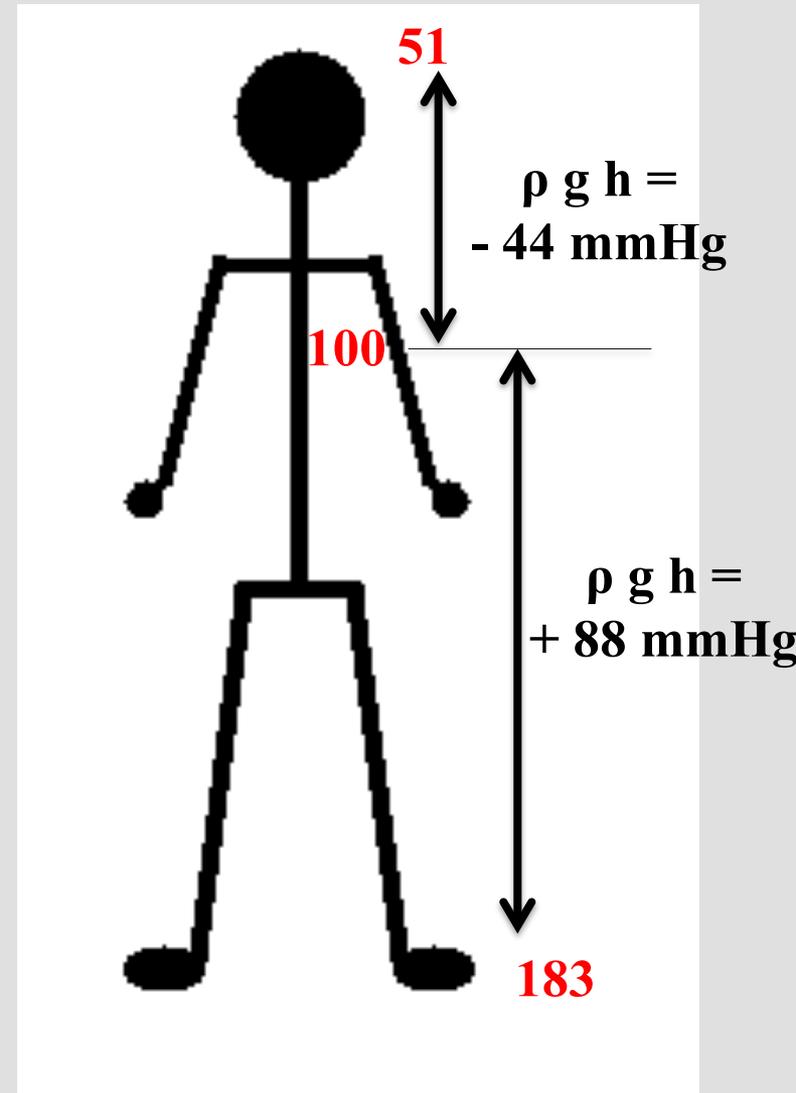
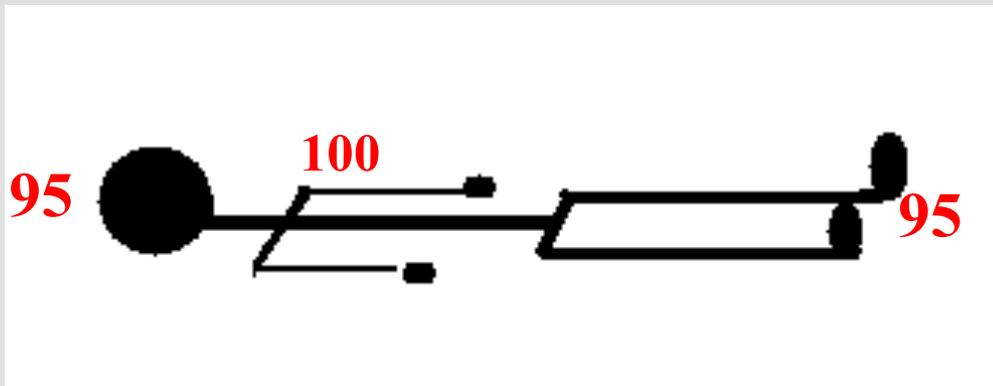


La compression de l'artère radiale augmente le gradient d'énergie dans l'ulnaire (2') entre 1 et 3 si les arcades palmaires sont perméables et ne le modifie pas si les arcades sont absentes

Au doppler: le flux augmente dans l'ulnaire pendant la compression si les arcades sont fonctionnelles

EFFET DE LA GRAVITE SUR LA CIRCULATION ARTERIELLE

Pressions moyennes en mm Hg



Sur un axe vertical, la pression dans les artères diminue au dessus du coeur et augmente en dessous.

Les variations de pression du sang liées à la gravité ne modifient pas le diamètre des artères.

Cette énergie potentielle de pression de gravitation peut se transformer en énergie cinétique.

Application de ce principe de transformation
de l'énergie de pression de gravité
en énergie cinétique :

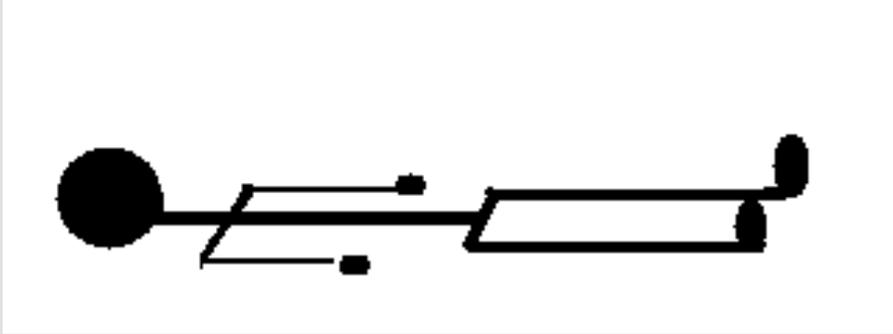
Ischémie critique des membres inférieurs

« L'ischémie permanente chronique (ou ischémie critique) est définie par l'association de douleurs de décubitus ou de troubles trophiques depuis au moins 15 jours avec une pression artérielle systolique inférieure à 50 mmHg à la cheville ou à 30 mmHg à l'orteil. »

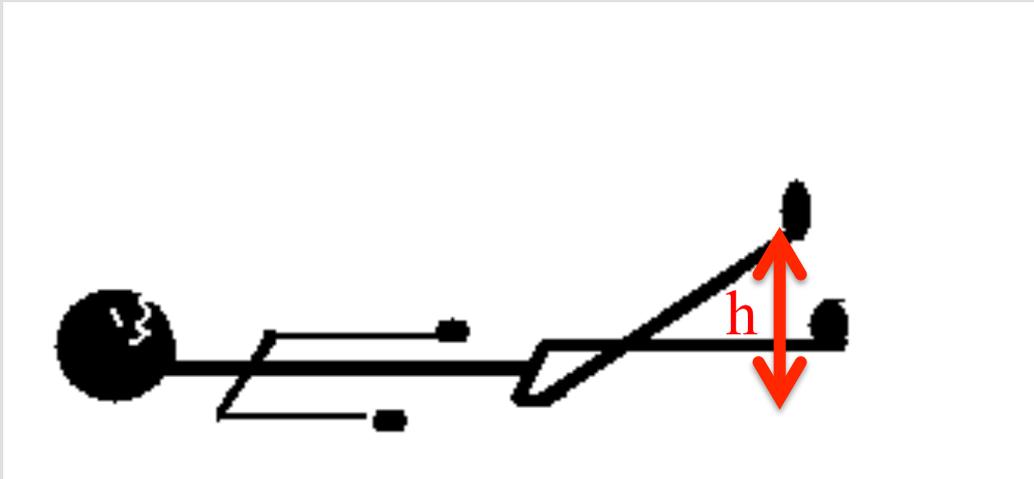
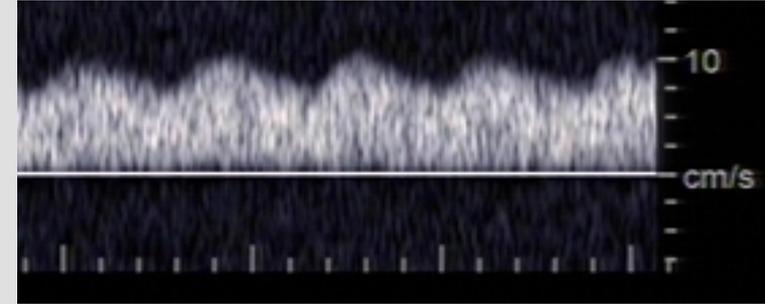
Le caractère calcifié des artères de jambes de ces patients (diabétiques) rend souvent la mesure de la pression de cheville **impossible.**

Utilisation du pole test

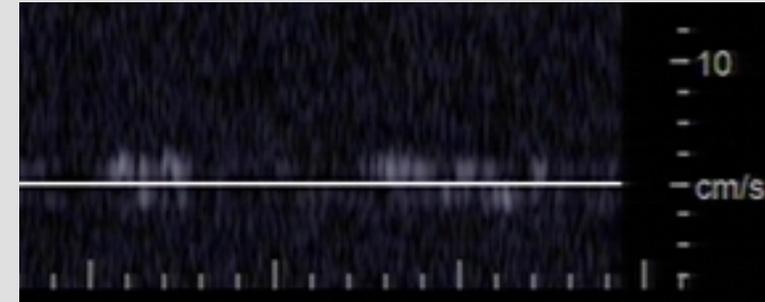
POLE TEST



Flux pédieux
(exemple)



Flux pédieux nul



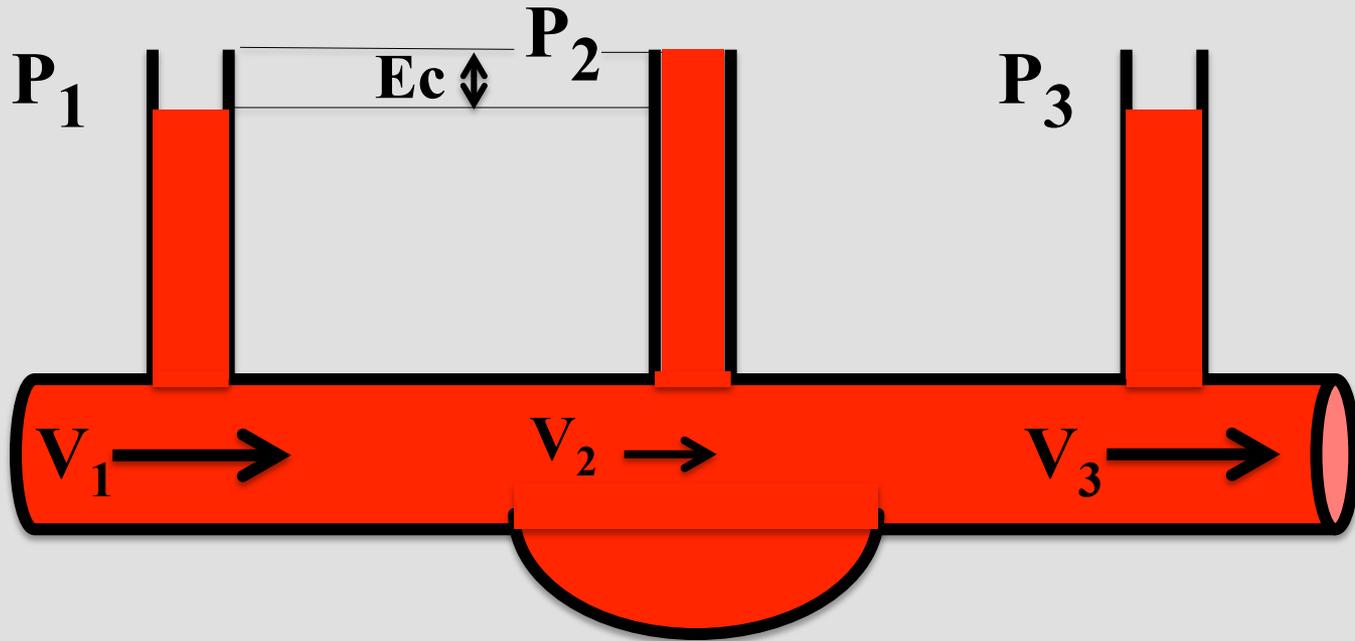
Mesure de h = hauteur cœur-pédiéuse (au niveau de l'annulation du flux)
Pression dans la pédiéuse (patient à plat) = $\rho g h = h \times 0,73 \text{ mm Hg}$

Pathologie artérielle

Sténoses

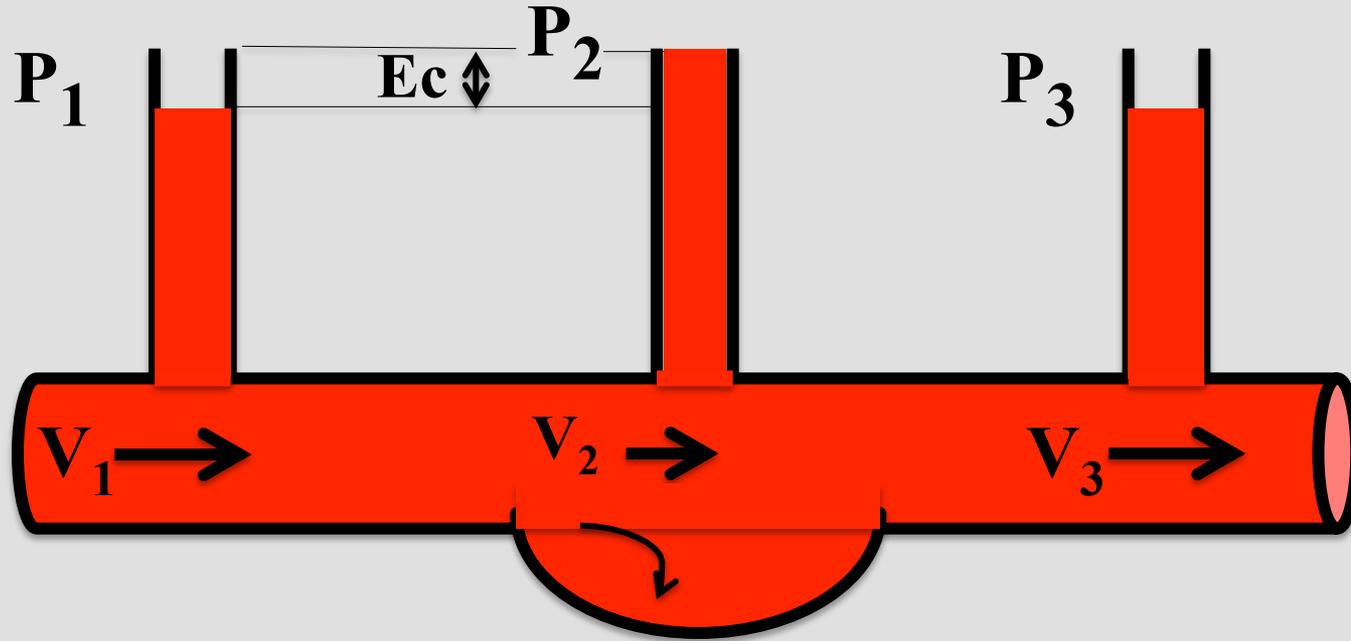
Anévrismes

Anévrisme



Dans l'anévrisme: la vitesse diminue
et la pression augmente (transfert d'énergie)

Première conséquence:



$$V_c = \frac{R_e \times \eta}{\rho \times r}$$

Baisse de la vitesse critique dans l'anévrisme

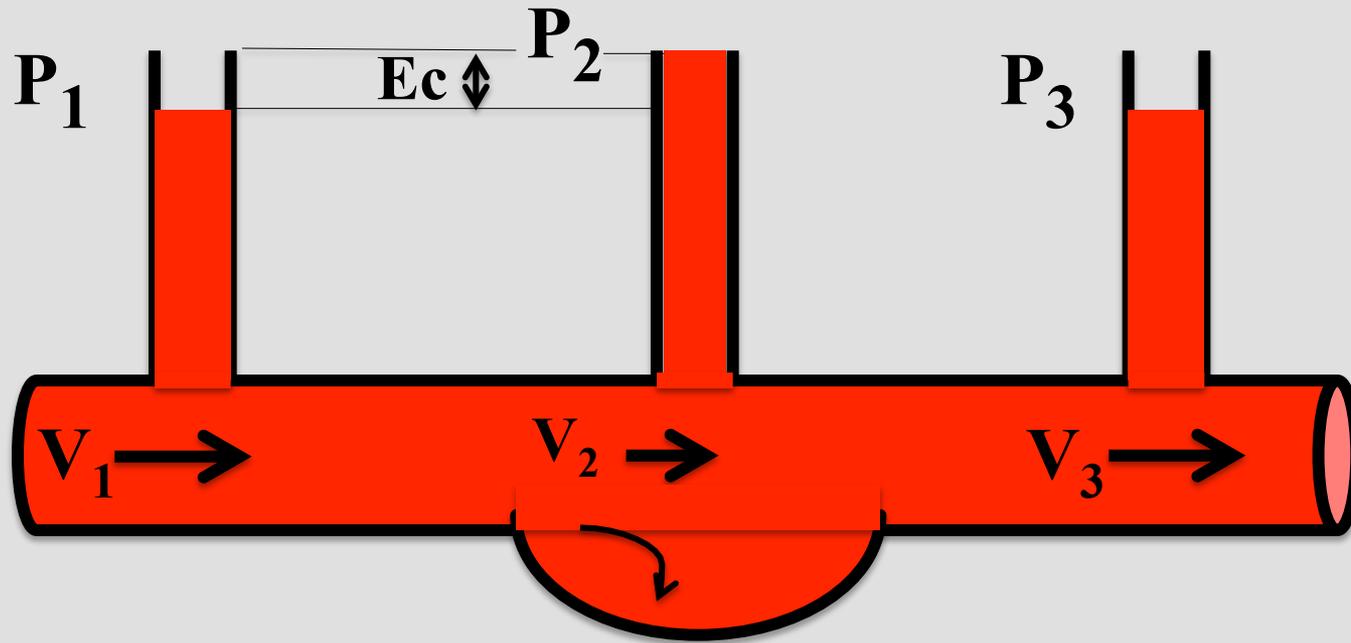
Écoulement turbulent dans l'anévrisme

Écoulement turbulent à vitesses lentes

Pas de perte d'énergie dans l'anévrisme

Pas d'incidence en amont et en aval

Seconde conséquence:



↗ PRESSION



AGGRAVATION DE
L'ANEVRISME

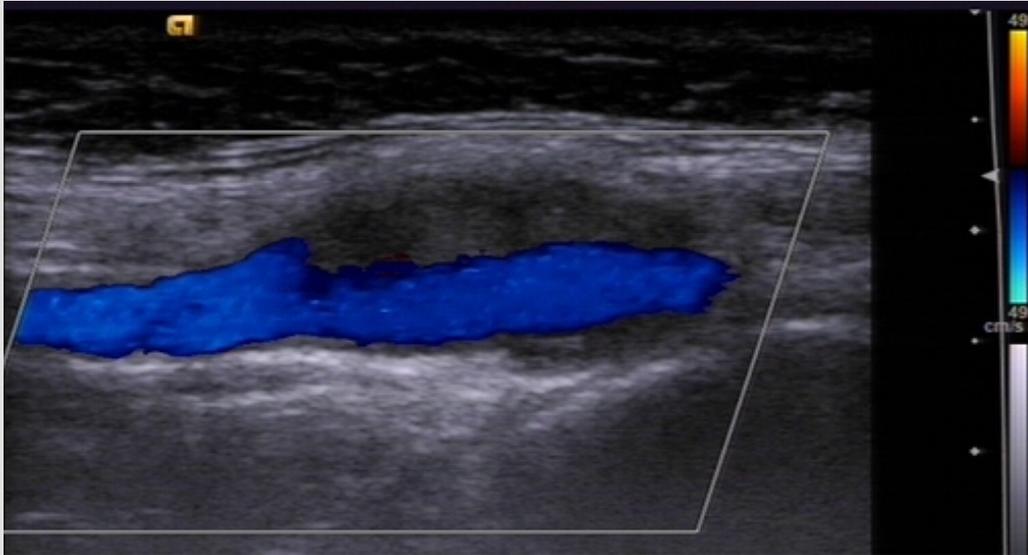
Piège: **Bulbe carotidien**

Bulbe carotidien parfois très large avec
en périphérie un flux turbulent à vitesses très basses
non visualisé en écho couleur

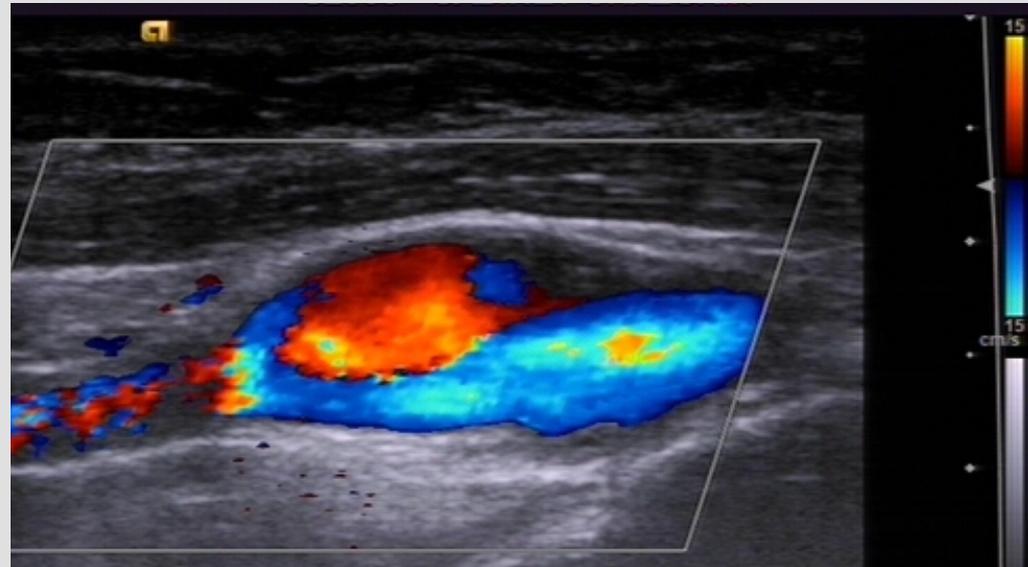


Diagnostic erroné de lésion anéchogène
du bulbe

Erreur d'interprétation si réglage de la PRF inadapté



**Echelle de vitesse
couleur élevée**



**Echelle de vitesse
couleur basse
pour visualiser
la périphérie du bulbe**

En conclusion:

Proposition d'une méthodologie
d'exploration des artères

Pour les sténoses

Une sténose hémodynamique significative est repérée à l'aide du balayage couleur en coupe longitudinale du vaisseau avec une PRF adaptée au territoire exploré.

Le tir au doppler pulsé permet d'affiner et quantifier le degré de sténose (à l'audition et sur le spectre de vitesse).

L'amont et l'aval de la sténose sont évalués à l'aide du pulsé (audition et spectre de vitesse)

Si le vaisseau est non visualisable en échographie (météorisme), le doppler continu permet le repérage et l'analyse à l'aveugle de cette sténose et de son retentissement (audition et spectre).

Les compressions manuelles des vaisseaux peuvent aider à l'identification d'une artère, par exemple:

Pour \neq iliaque externe et hypogastrique:

compression manuelle fémorale commune et écoute de l'axe iliaque, si pas de modification du flux \rightarrow hypogastrique et inversement.

Pour les anévrismes

Balayage mode B (noir et blanc) en coupe transversale des vaisseaux.

Contrairement aux sténoses,
il n'y a pas de modification de l'hémodynamique
en amont et en aval de l'anévrisme.

Cela nécessite donc un balayage soigneux.

Ce balayage en coupe transversale permet également
de détecter des compressions extrinsèques,
les envahissements des vaisseaux
et les structures pathologiques de voisinage.

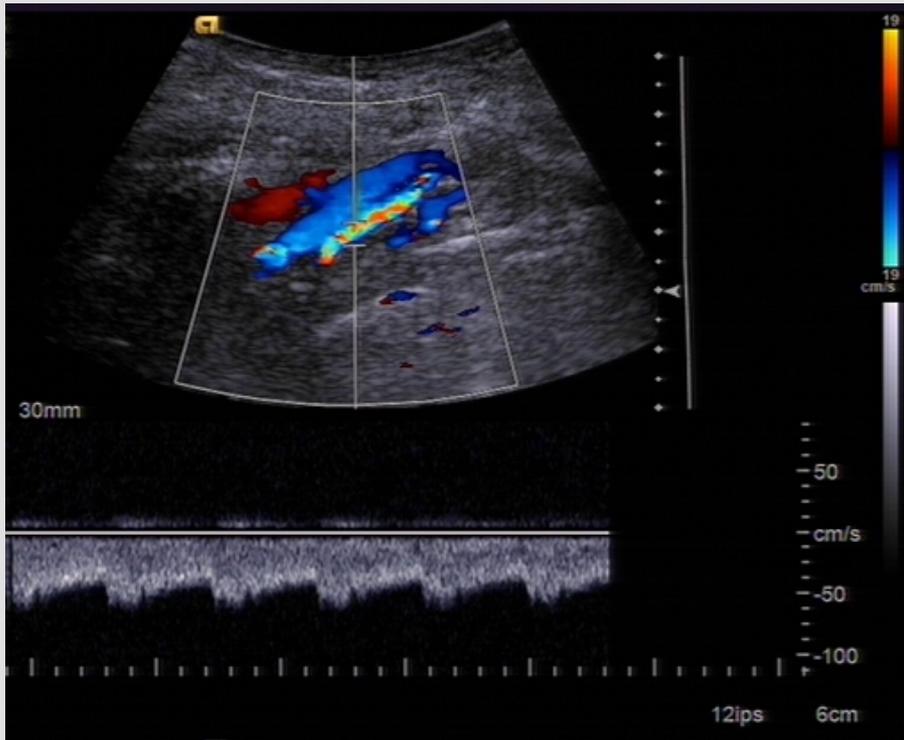
Pour détecter les fistules artério-veineuses (MAV ou post traumatiques)

Si une artère présente en l'absence de sténose:
des résistances anormalement basses
+ des vitesses augmentées
et un régime +/- turbulent

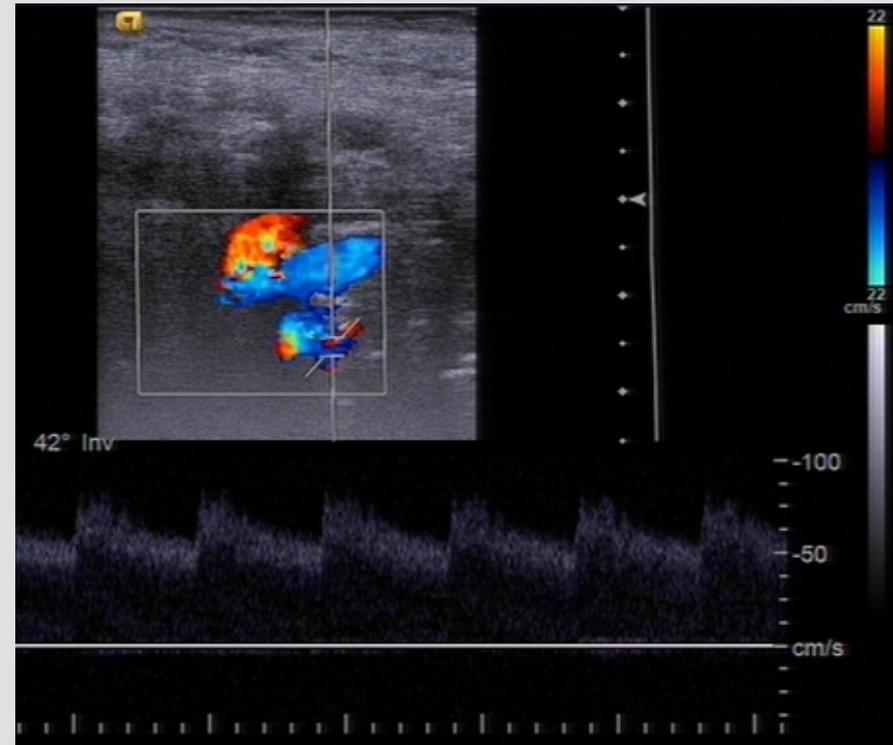
On recherche dans le territoire qu'elle
vascularise une FAV

Exemple de malformation artério-veineuse occipitale gauche

Hyperdébit CE
gauche

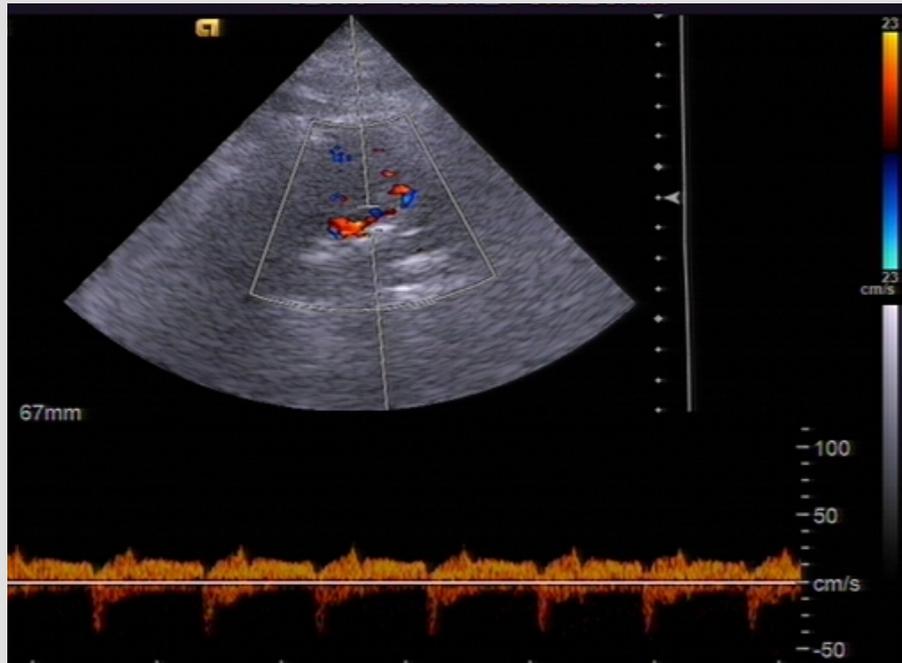


Hyperdébit dans l'occipitale
gauche

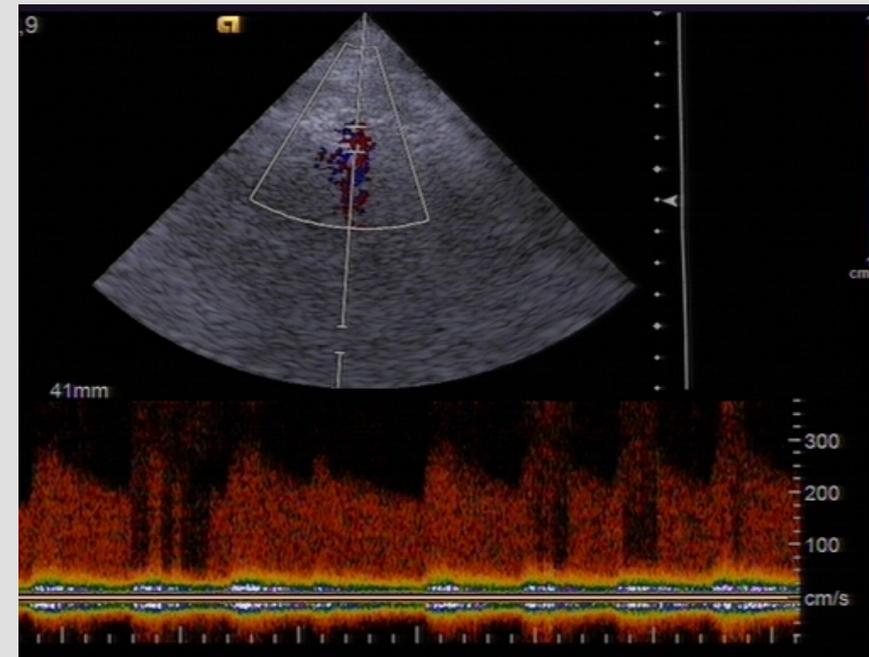


Exemple de malformation artério-veineuse occipitale gauche (suite)

Vertébrale gauche en
hémodétournement dans son
segment intra crânien



MAV occipitale (dure mère)



Imagerie échographique des lésions vasculaires périphériques

Lésions artérielles

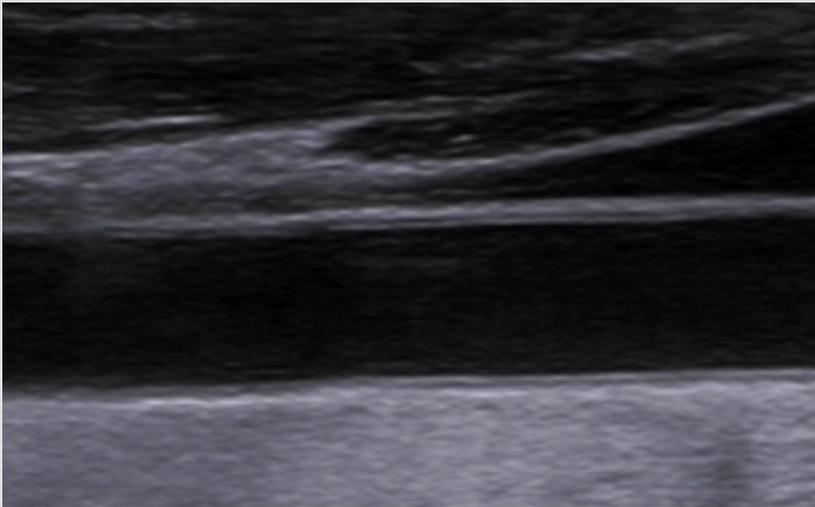
Lésions veineuses

Prothèses

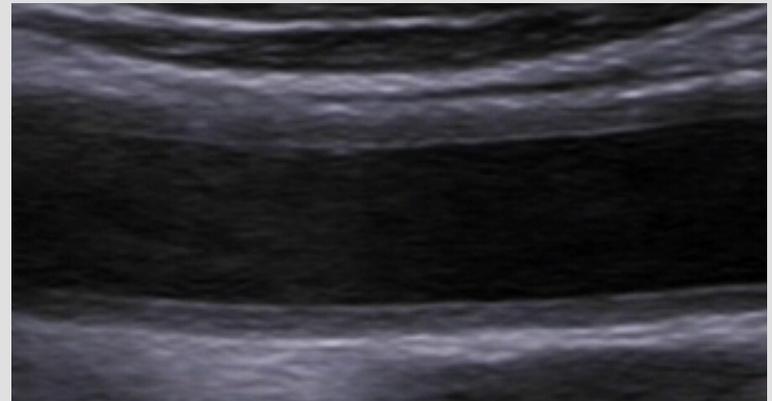
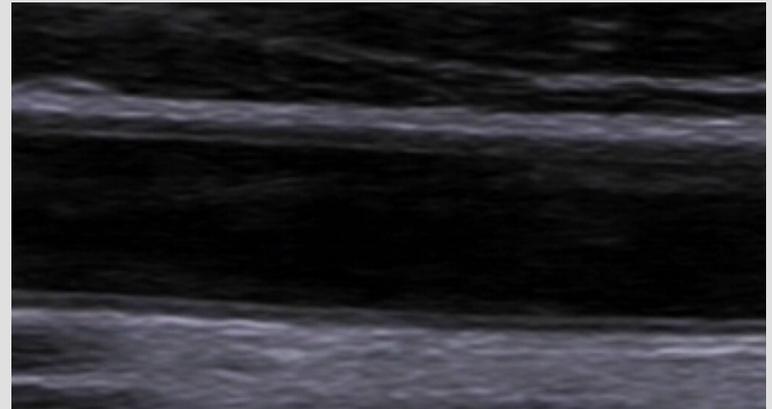
Autres

Parois artérielles

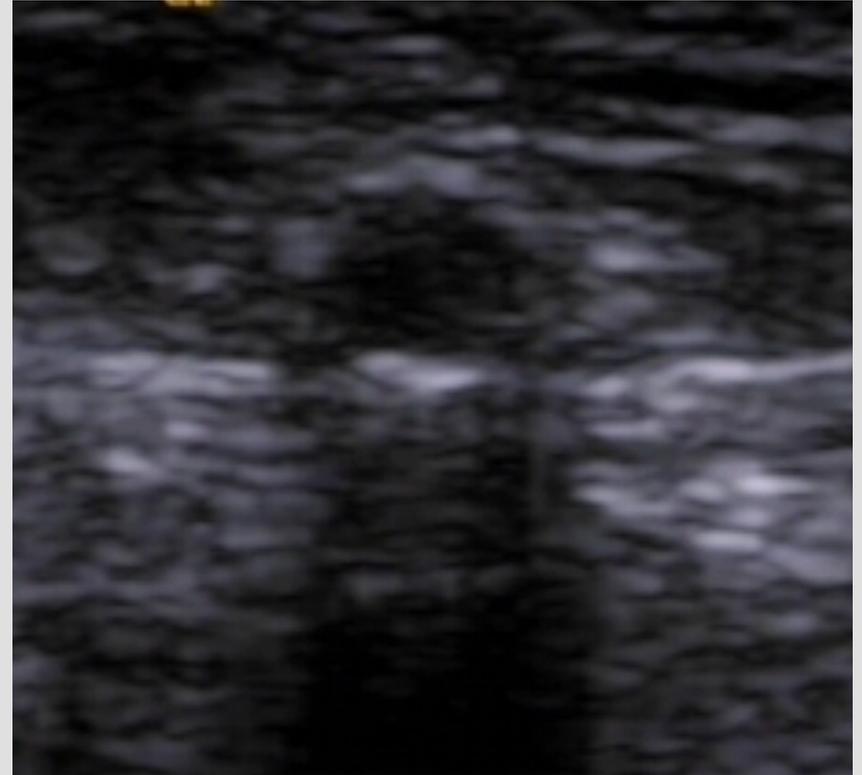
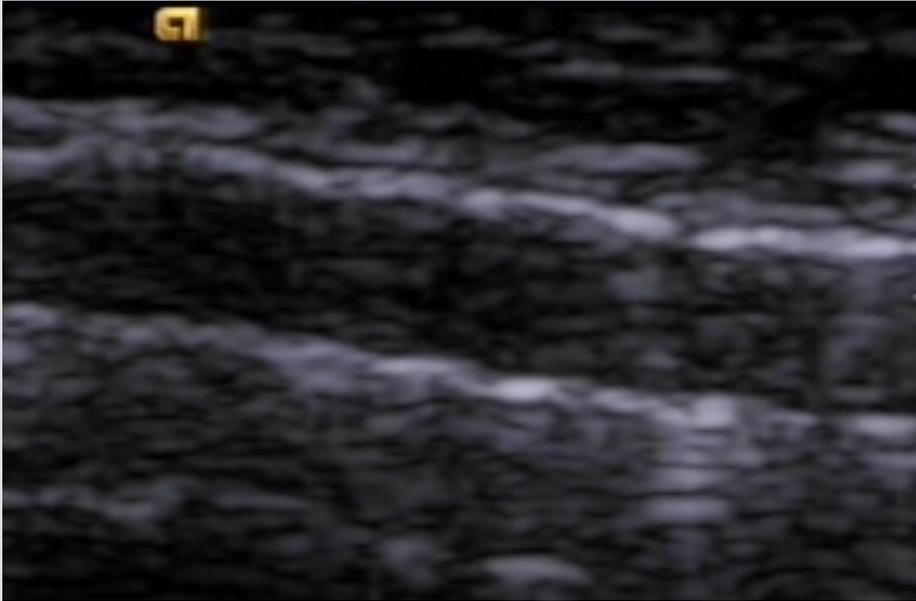
Jeunes



Âgés



Mediocalcose



Plaques athéromateuses échogénicité

Plaque Anéchogène : échogénicité du sang circulant

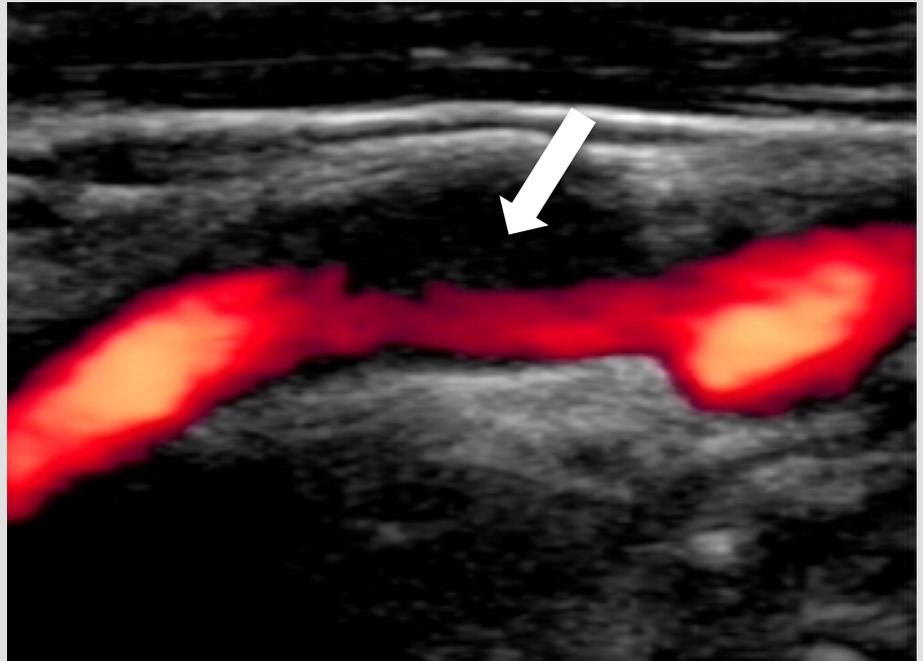
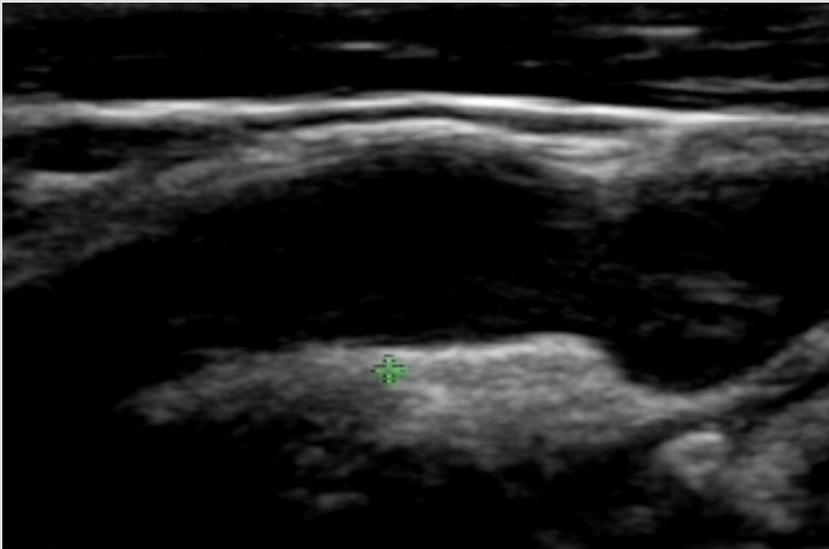
Isoéchogène : échogénicité du muscle

Hyperéchogène : échogénicité de l'os

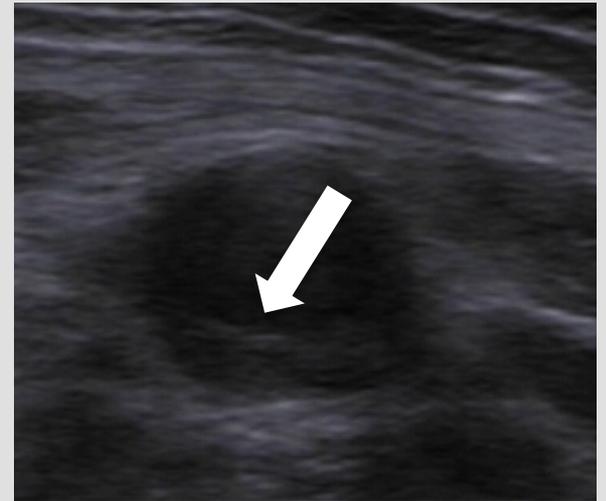
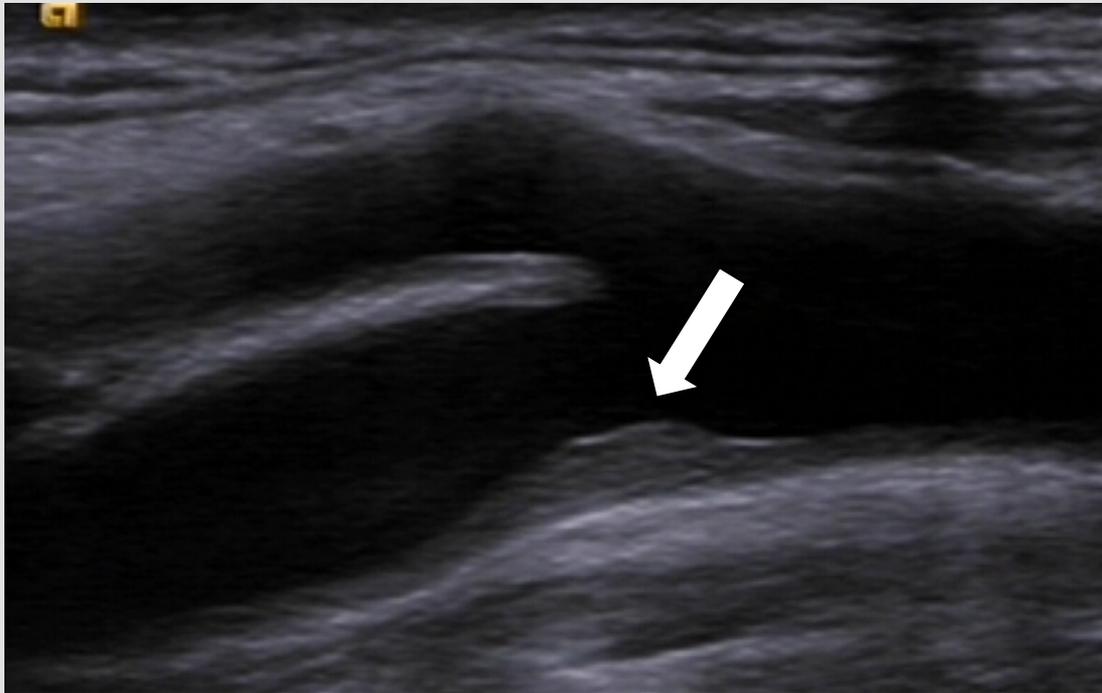
Hypoéchogène : niveau intermédiaire

(Et homogène ou hétérogène)

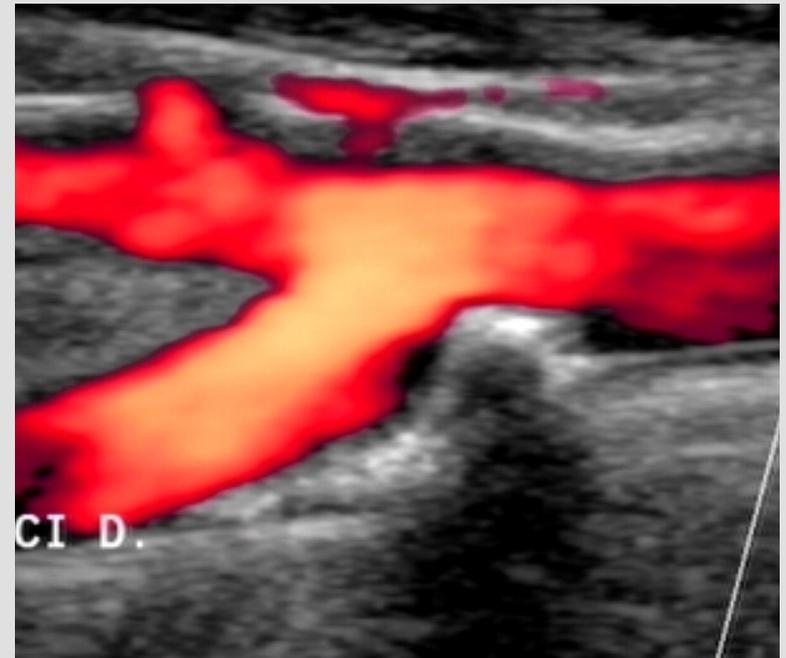
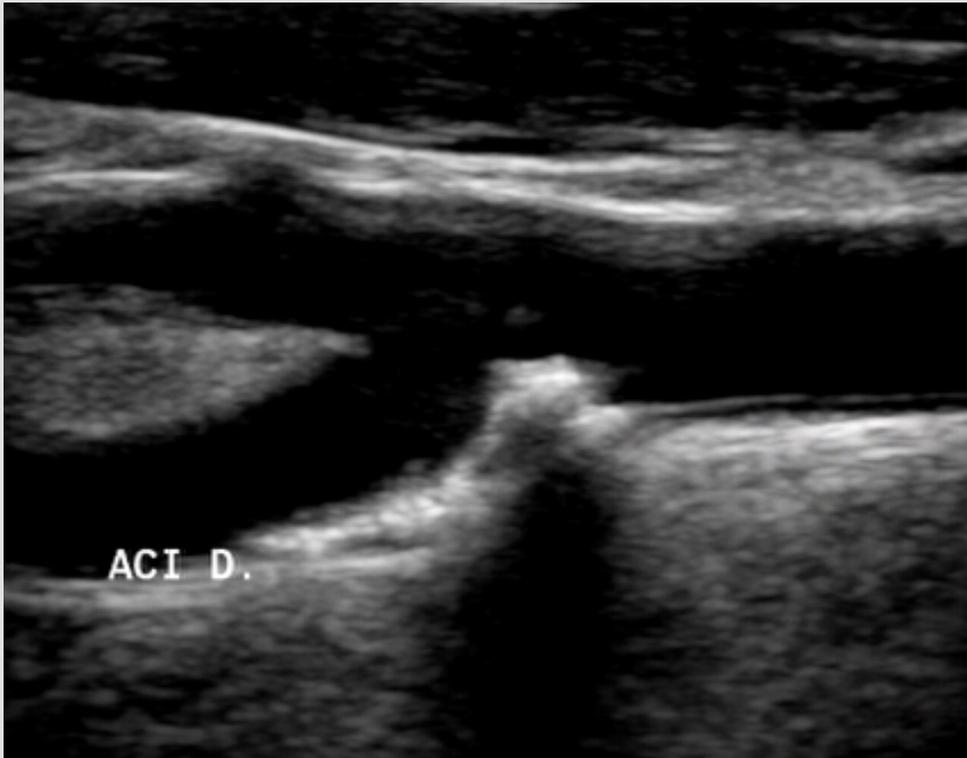
Plaque anéchogène



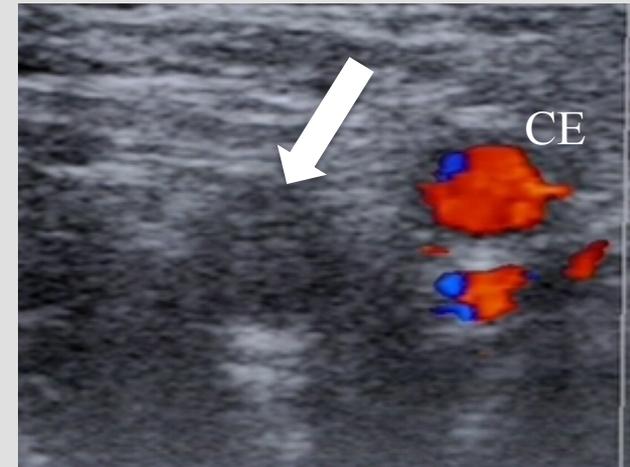
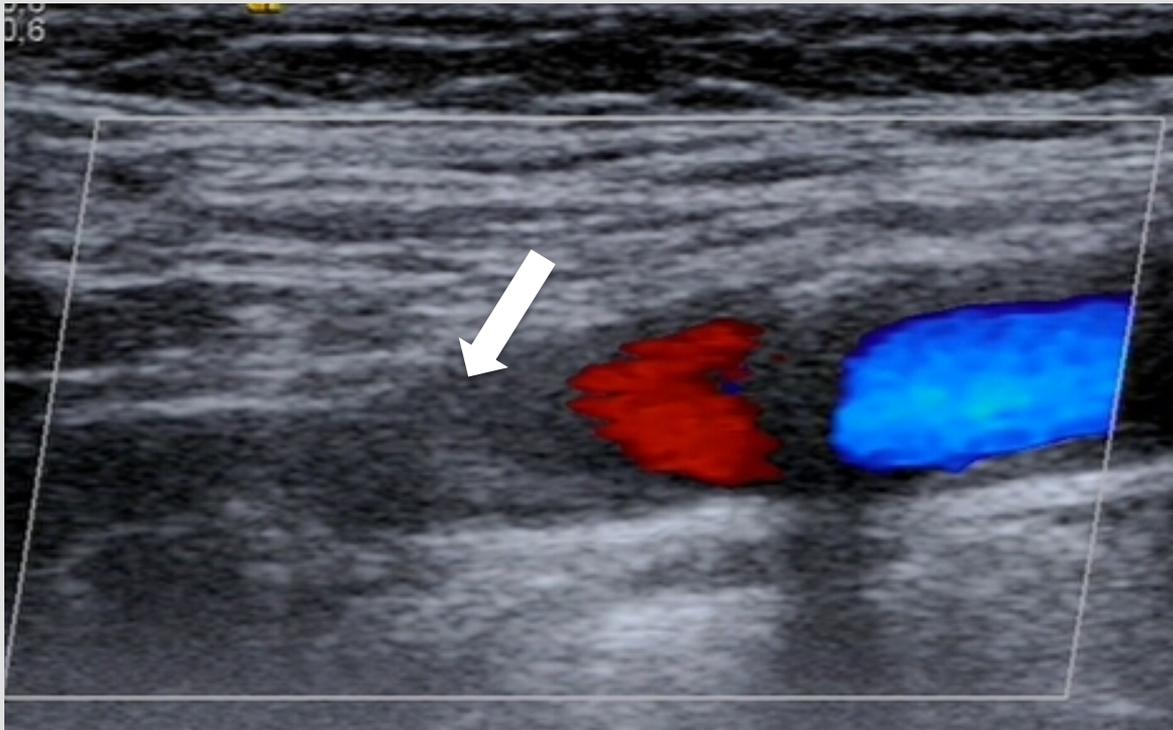
Plaque isoéchogène



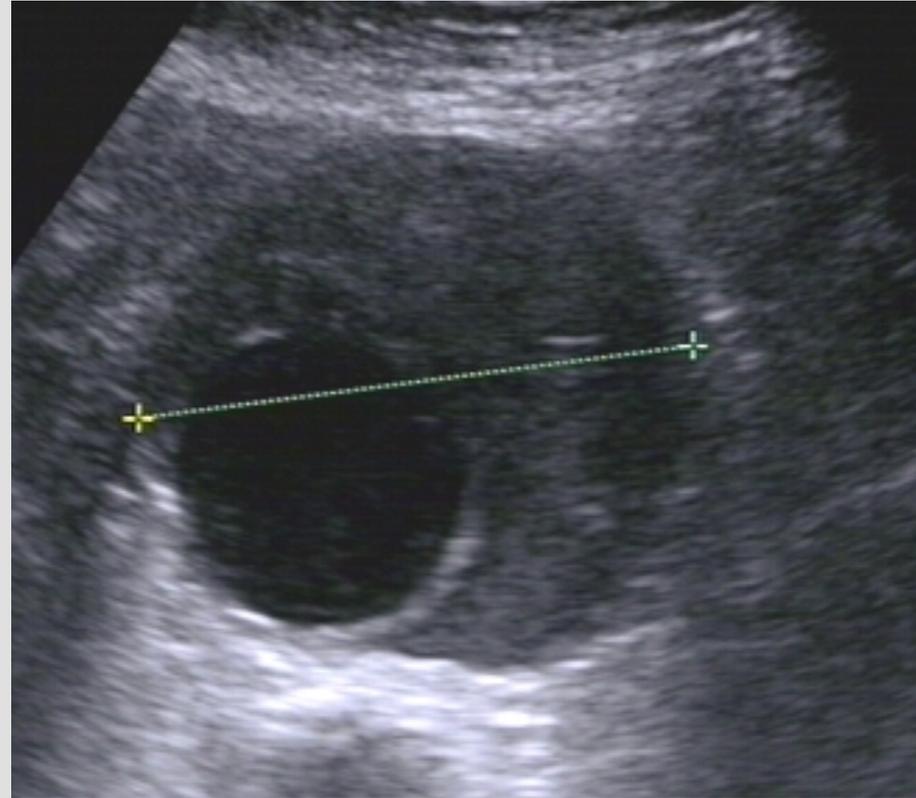
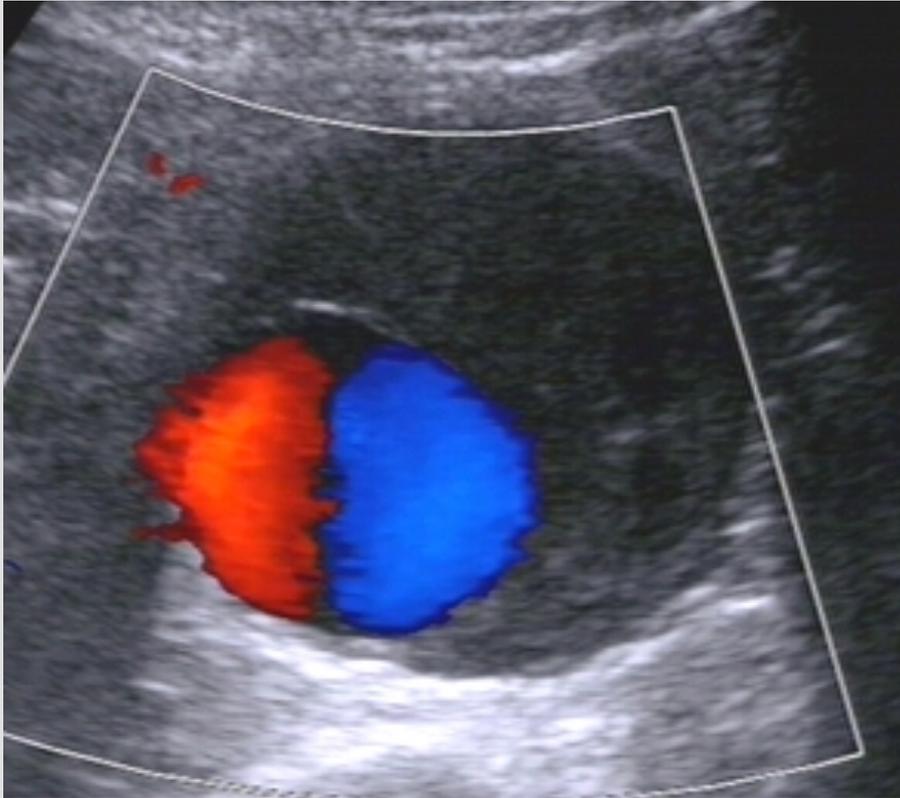
Plaque hyperéchogène (calcifiée)



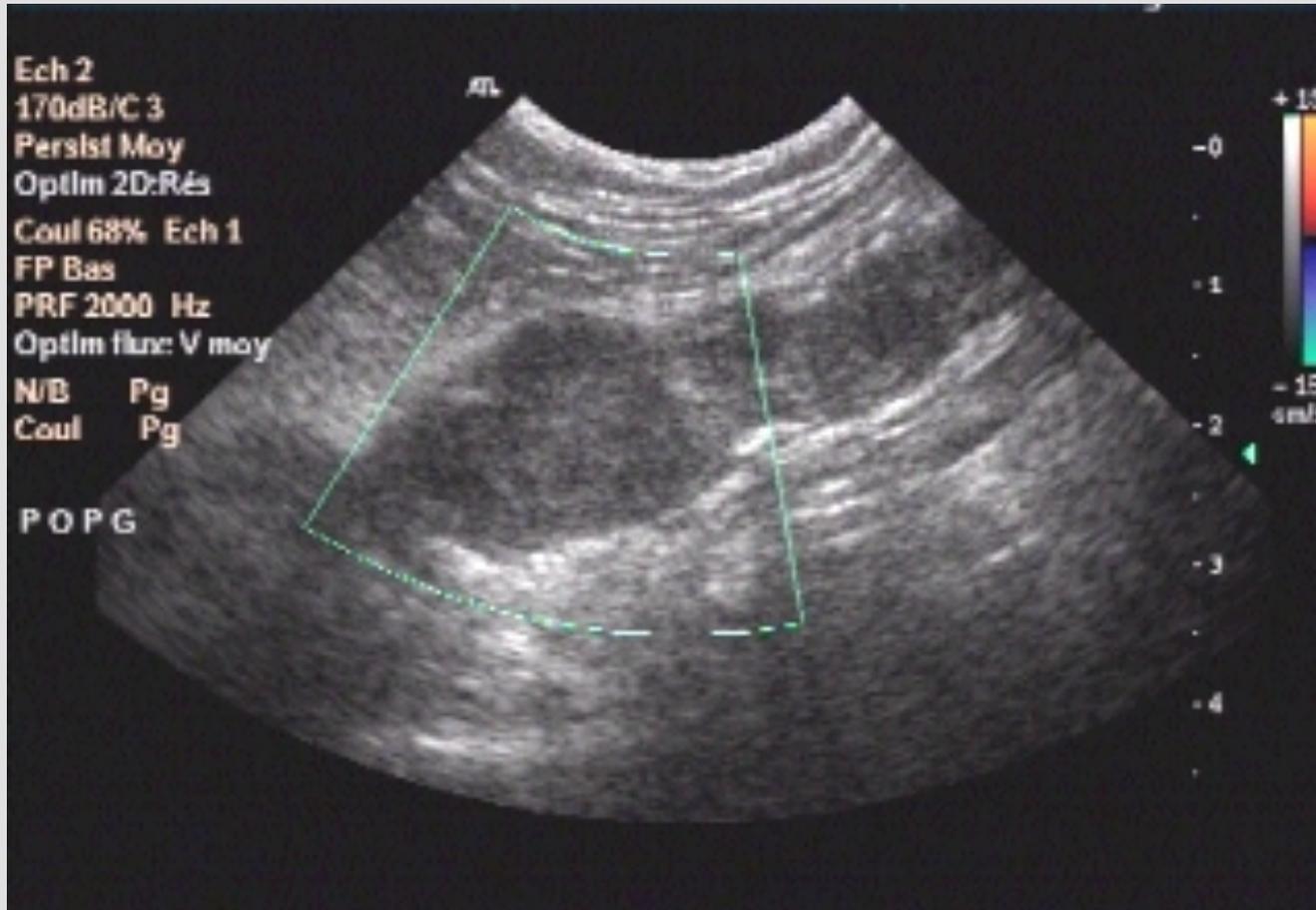
Oblitération carotide interne sur embol



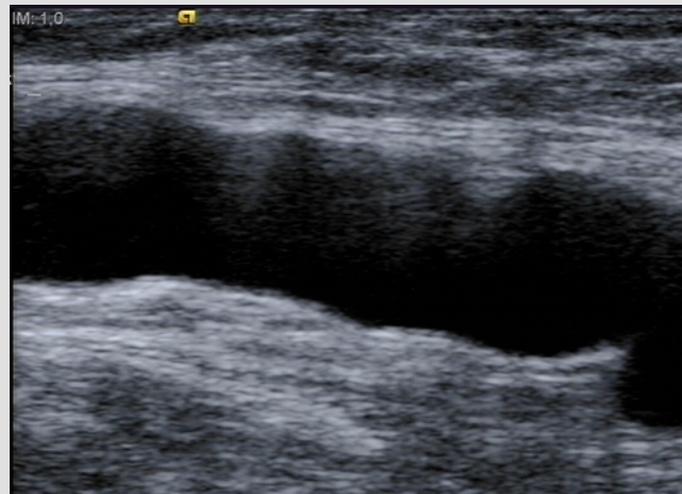
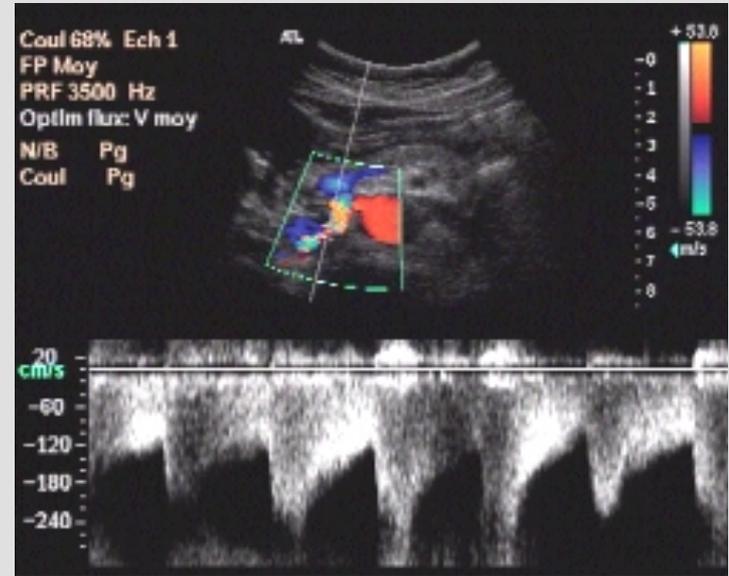
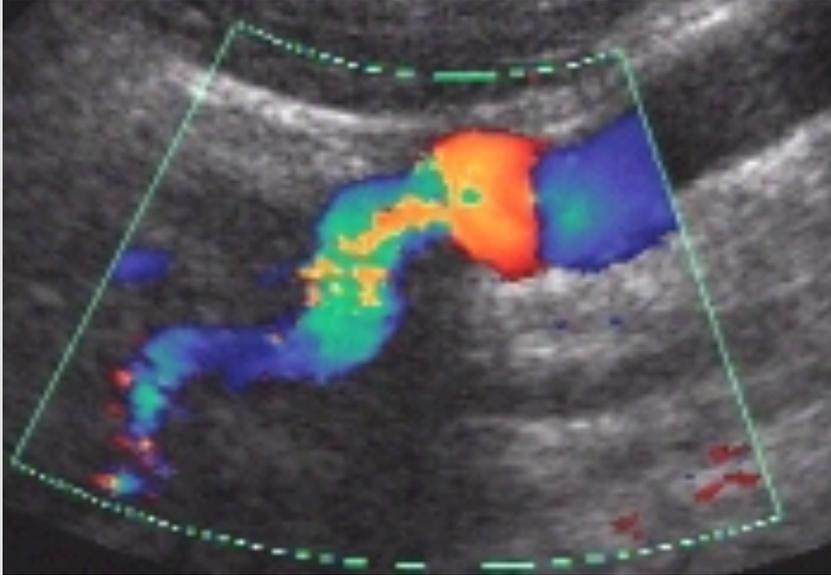
Anévrisme



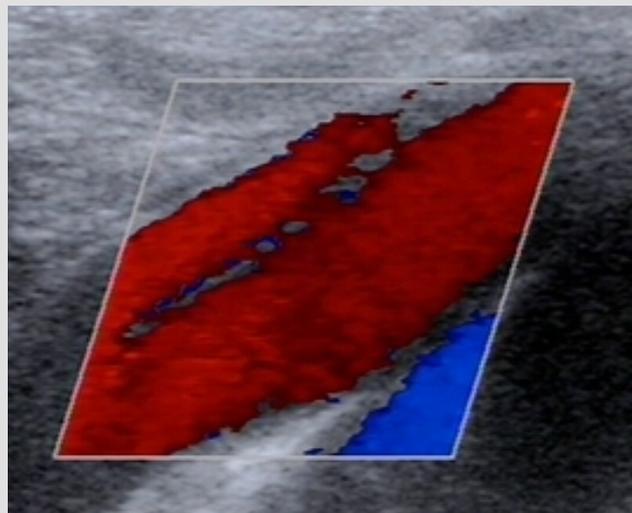
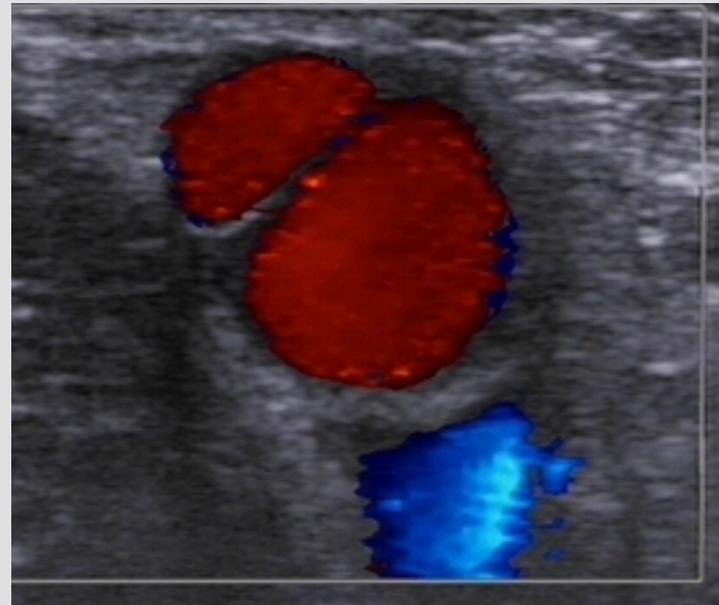
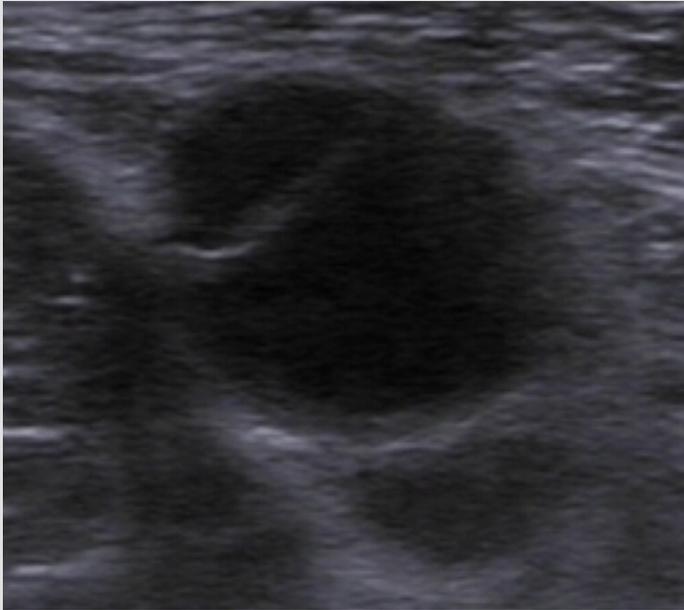
Anévrisme thrombosé



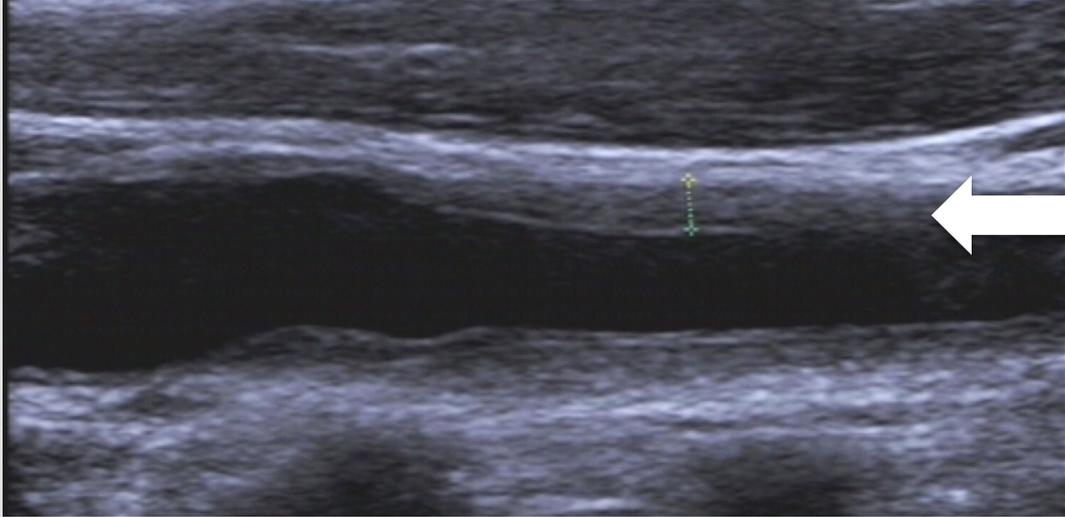
Fibrodysplasie



Dissection artérielle

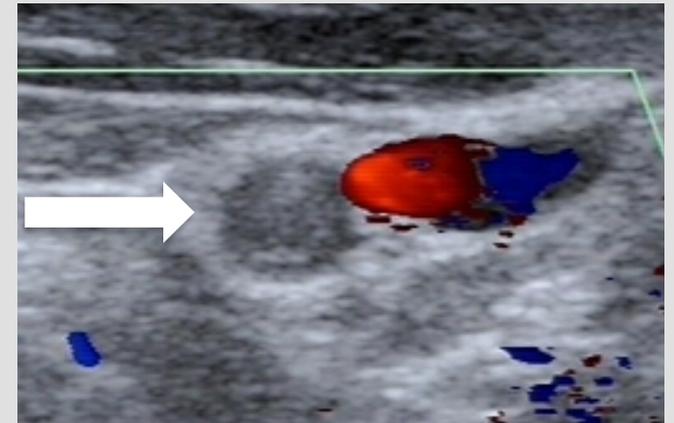


Maladie de Takayashu

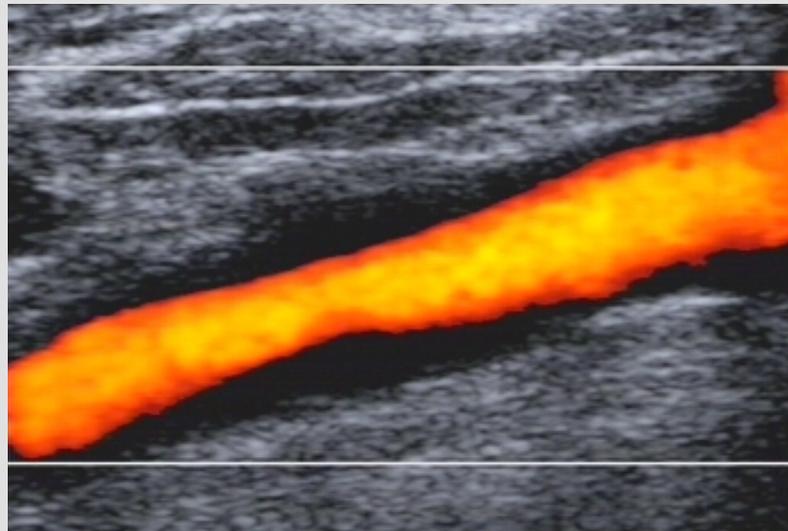
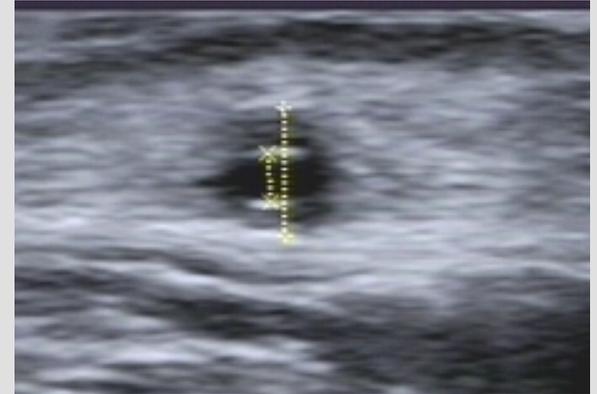
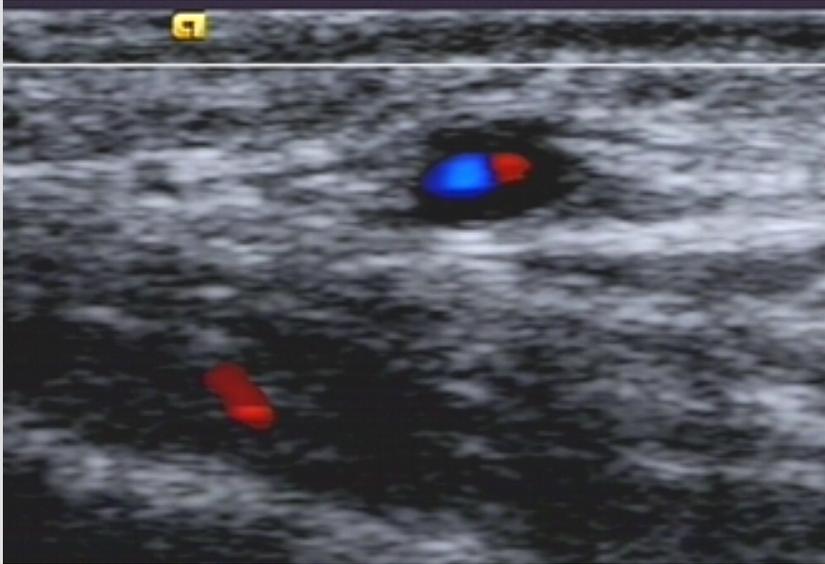


Épaississement
pariétal

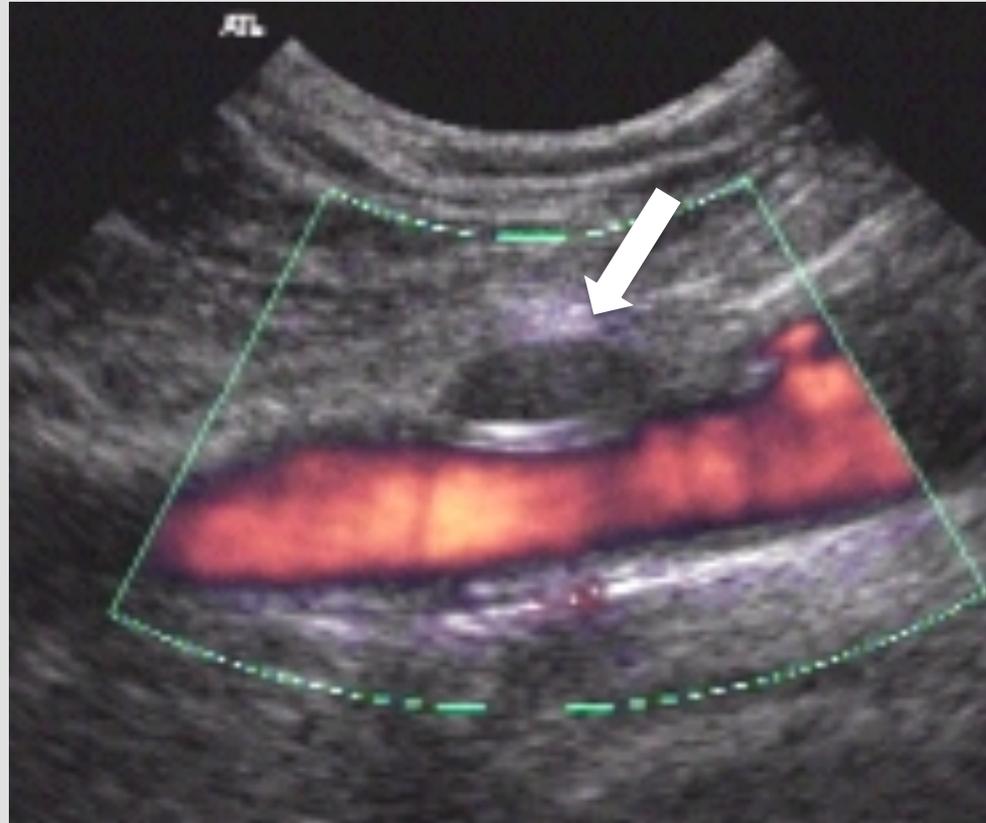
Oblitération artérielle



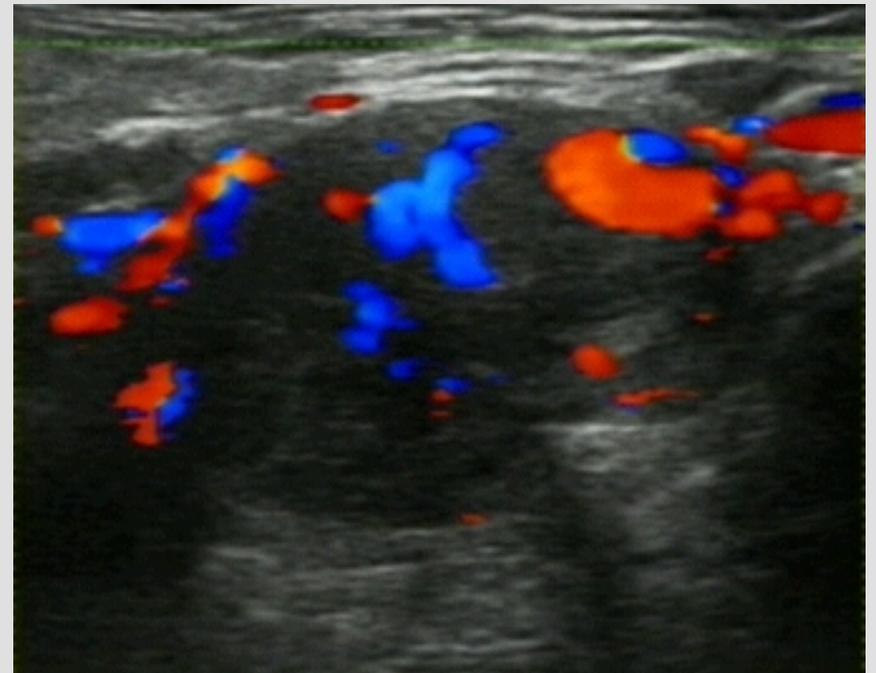
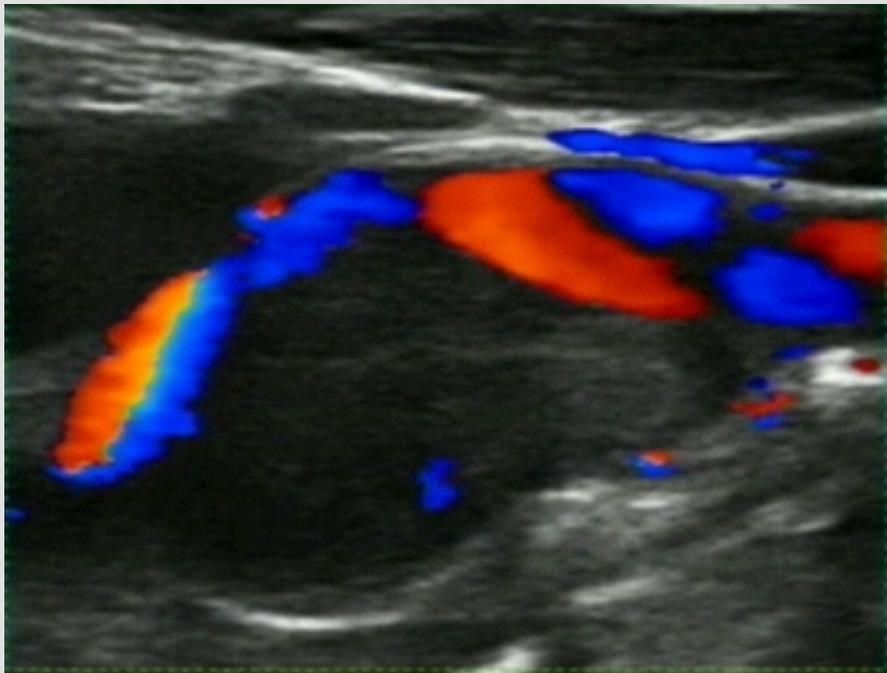
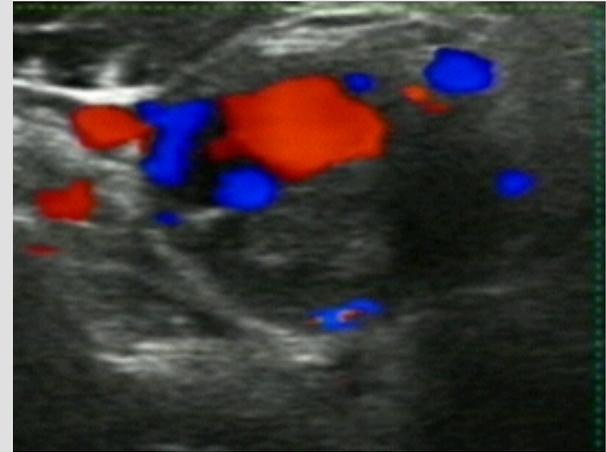
Maladie de Horton



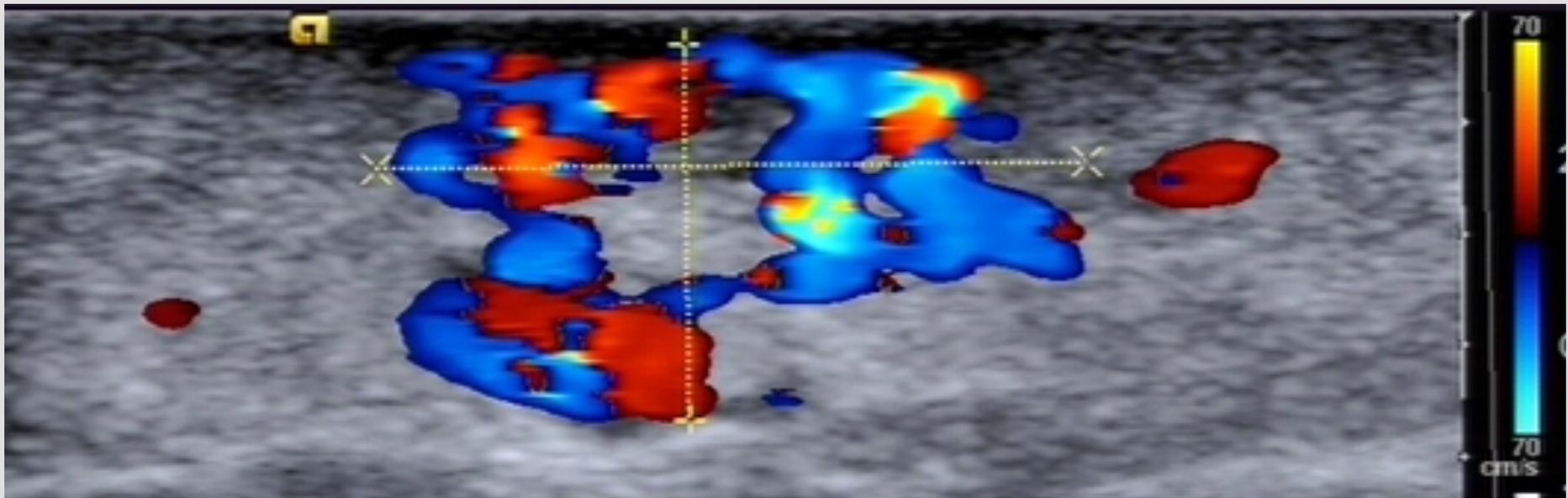
Kyste sous adventiciel



Tumeur glomique (bifurcation carotidienne)



Malformation artério-veineuse



Imagerie échographique des lésions vasculaires périphériques

Lésions artérielles

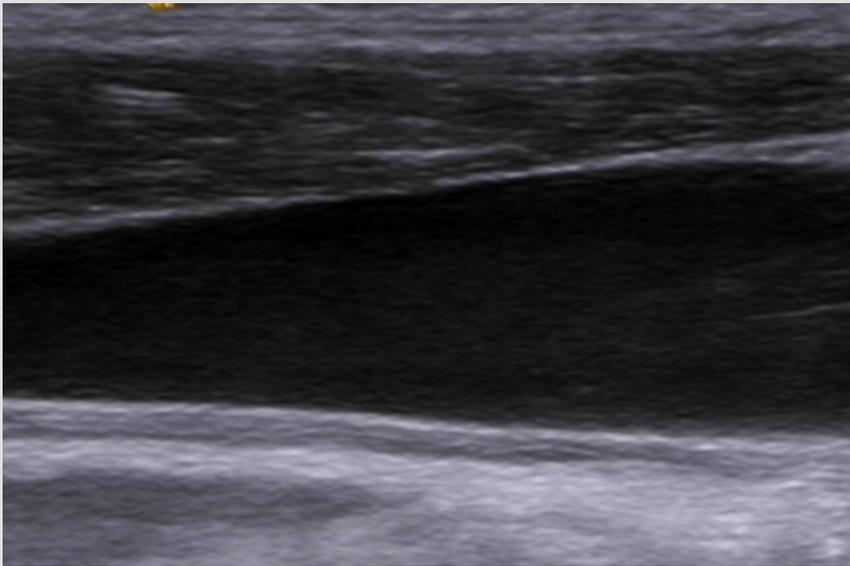
Lésions veineuses

Prothèses

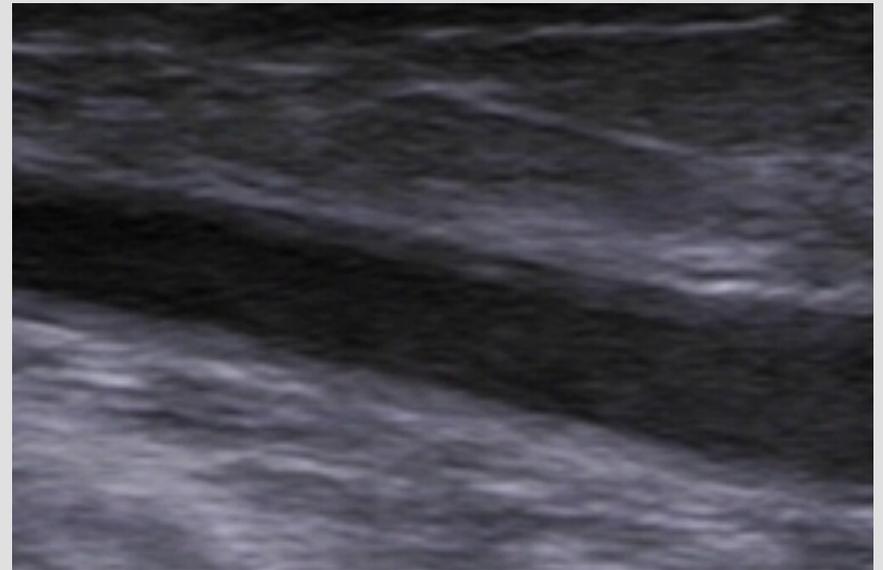
Autres

Parois veineuses

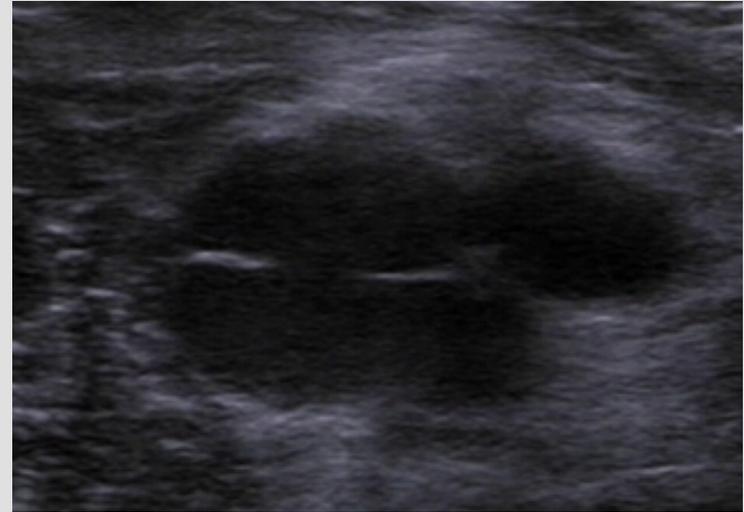
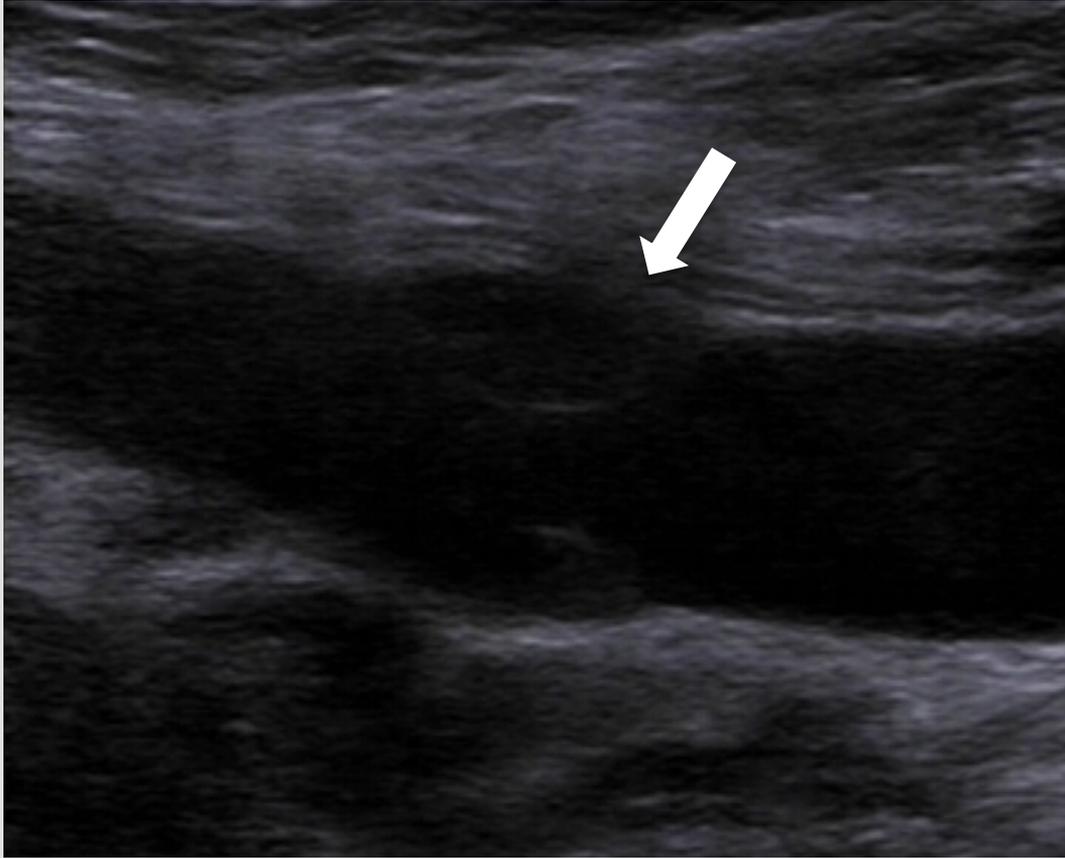
Jeunes

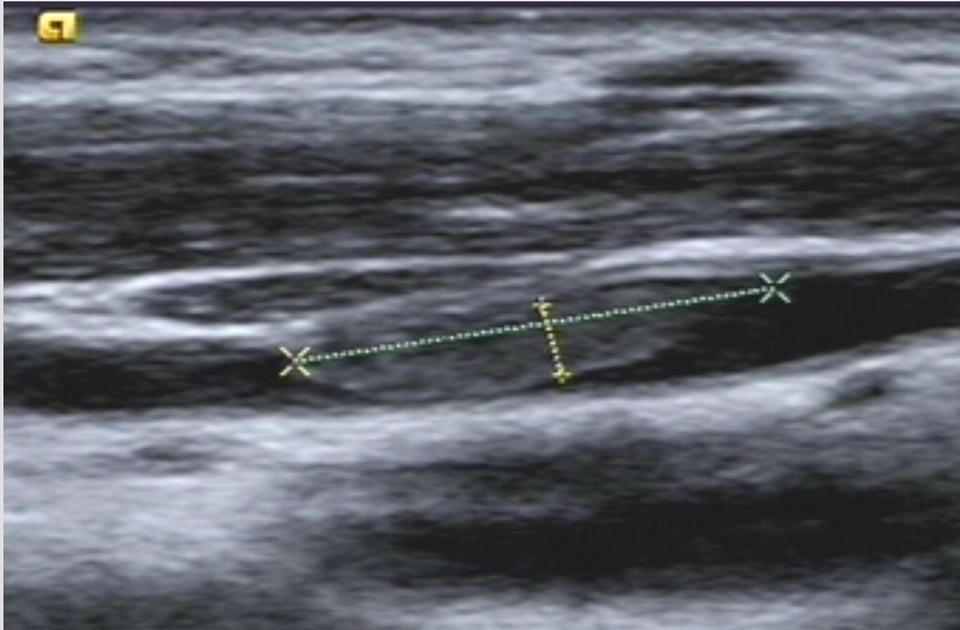


Âgés (> 90 ans)

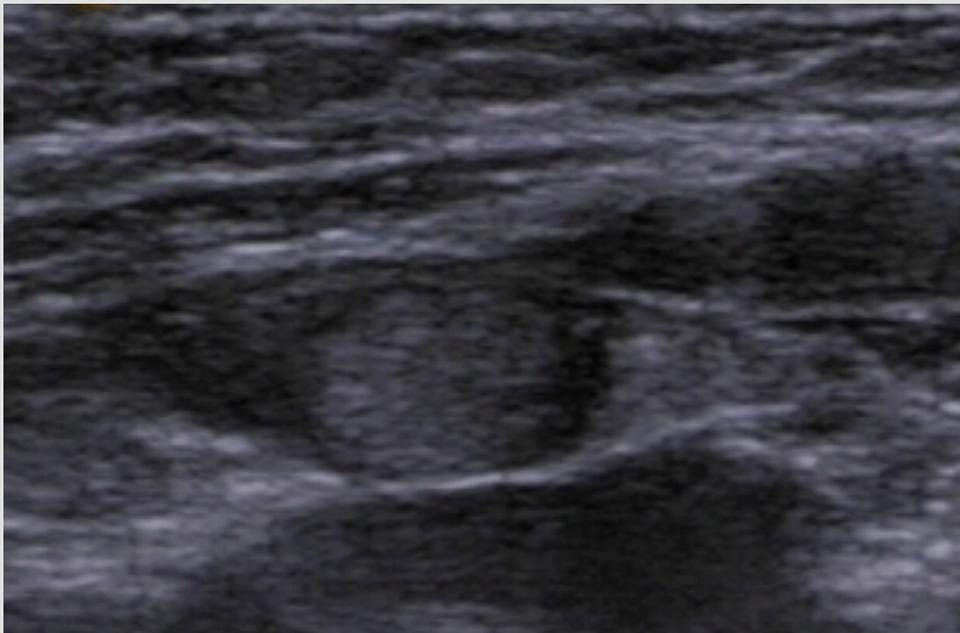


Valvules



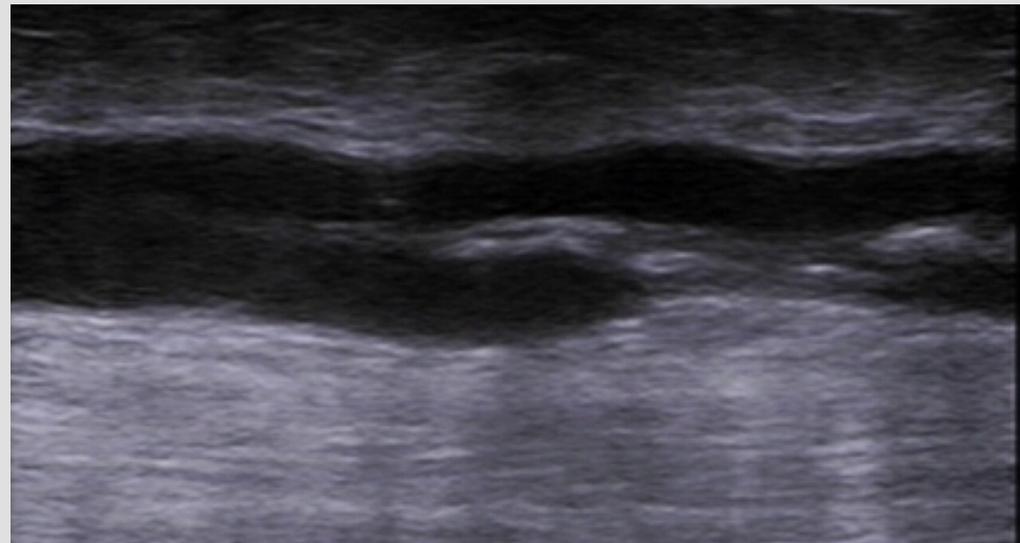
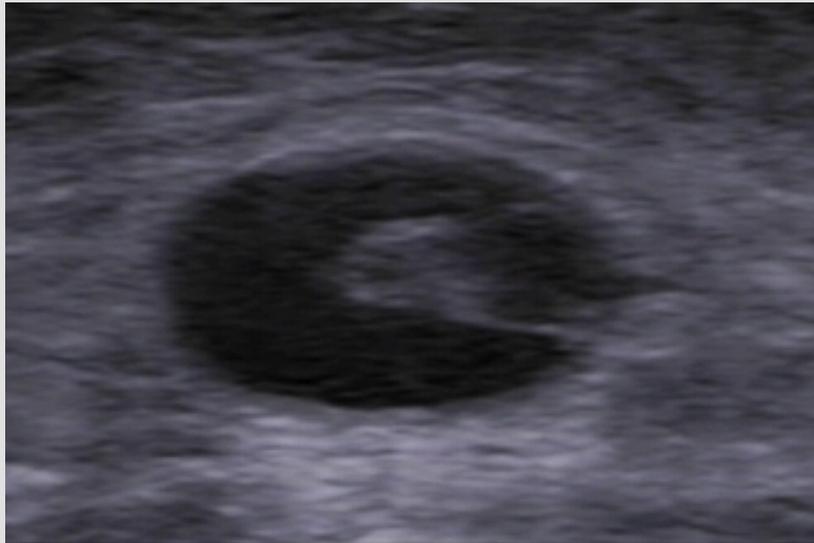
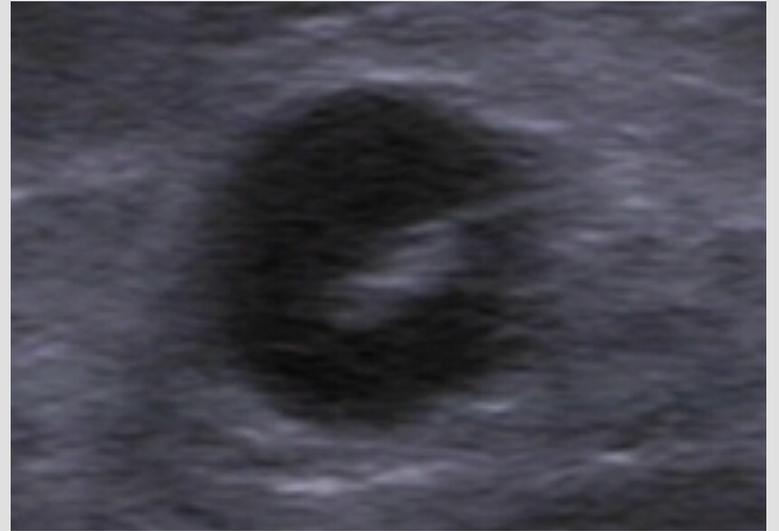
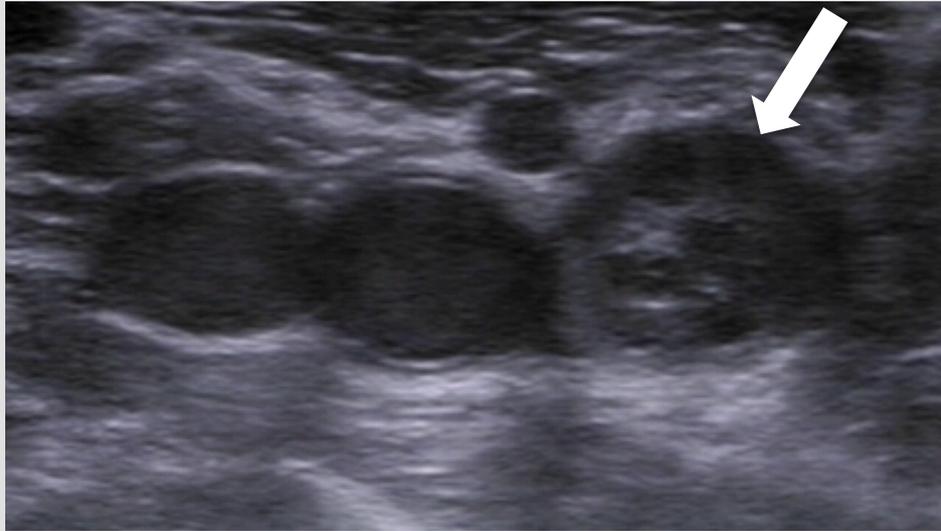


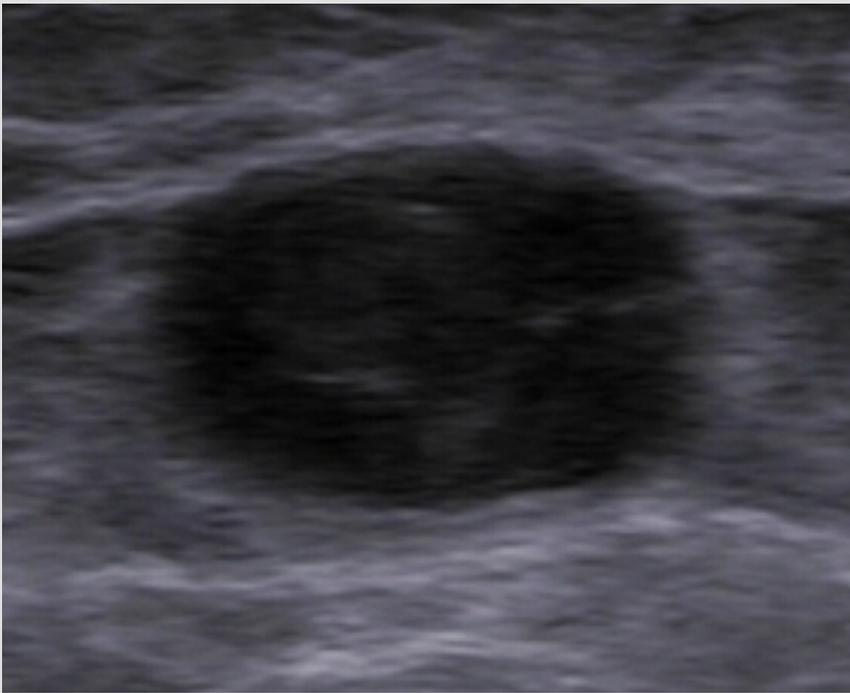
Thrombus semi récent



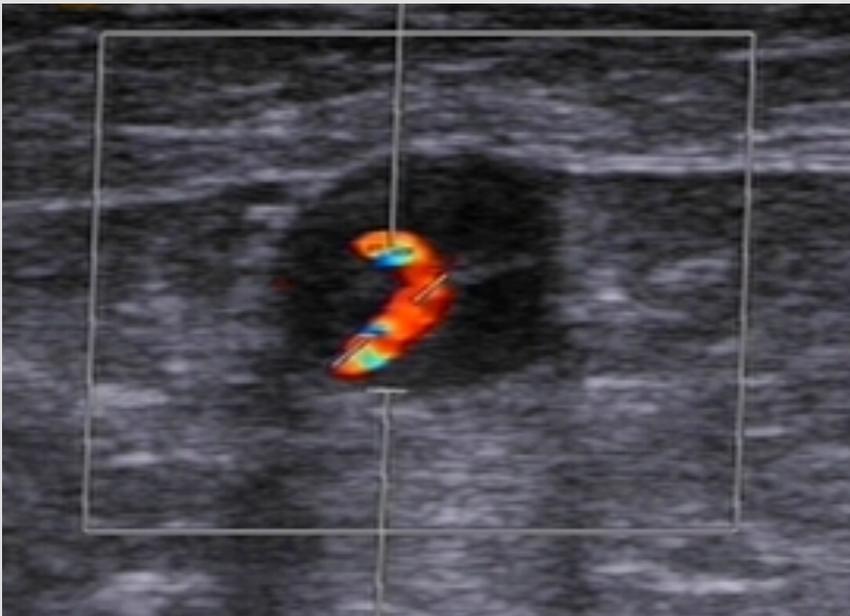
Thrombus récent

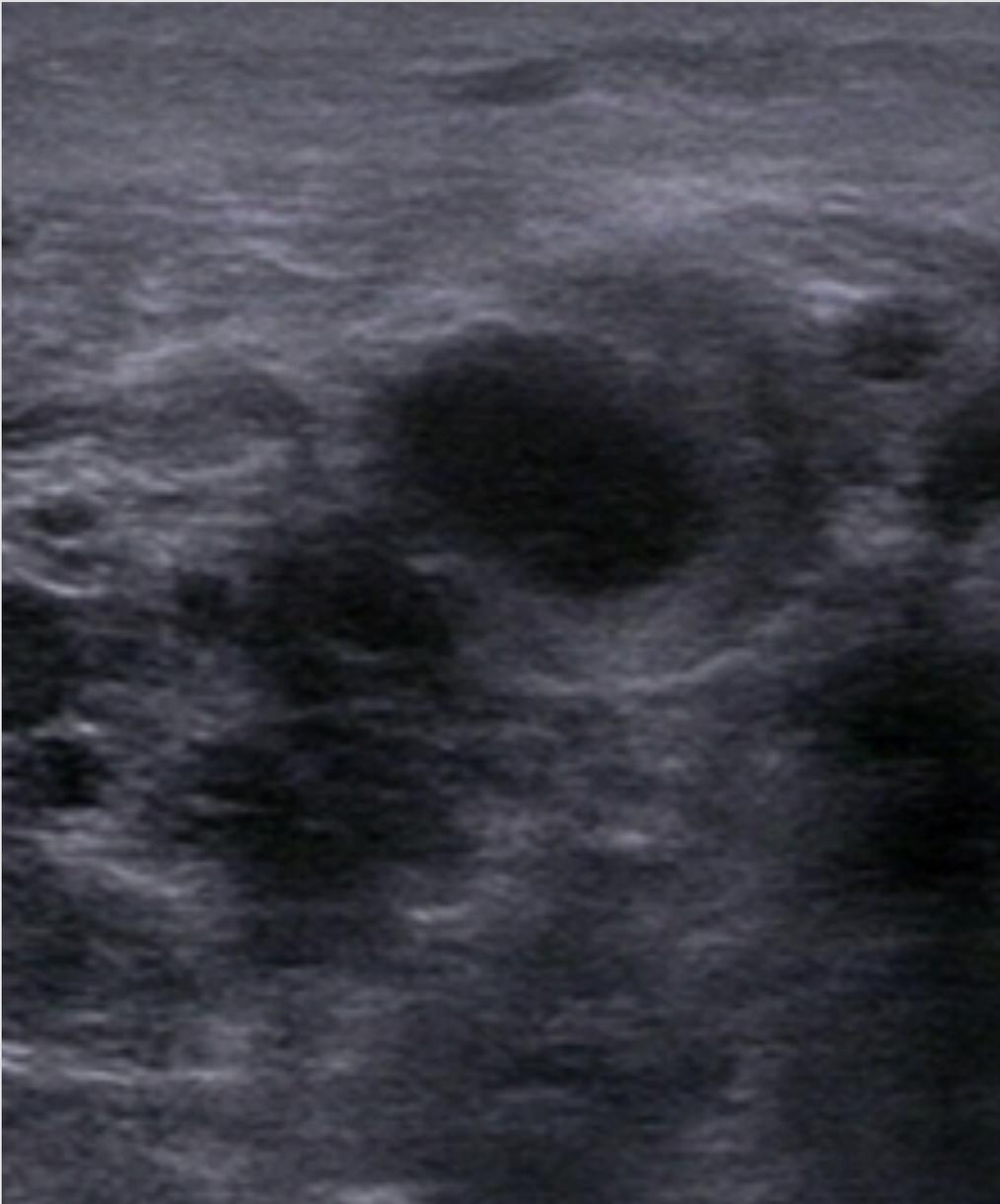
Séquelles post phlébitiques





**Thrombus
colonisé**





Malformation
veineuse

Imagerie échographique des lésions vasculaires périphériques

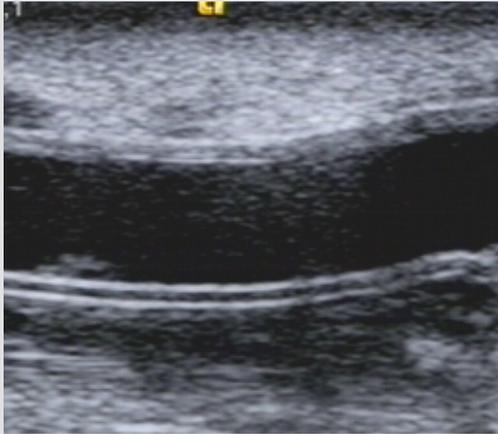
Lésions artérielles

Lésions veineuses

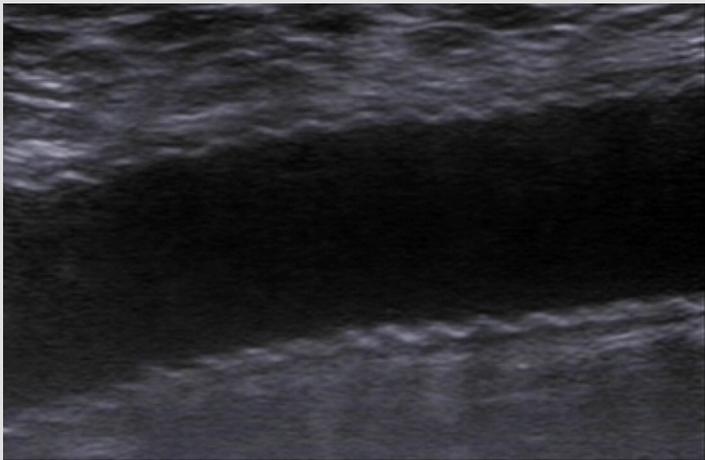
Prothèses

Autres

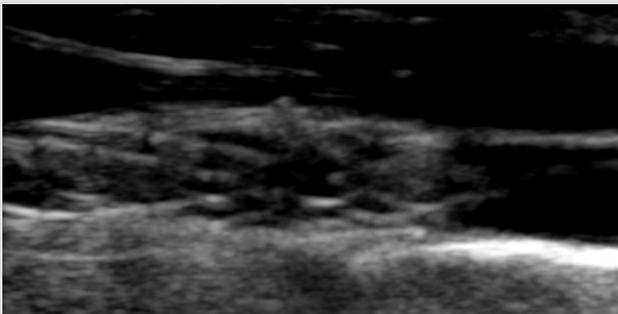
Fausses images



Pontage en PTFE



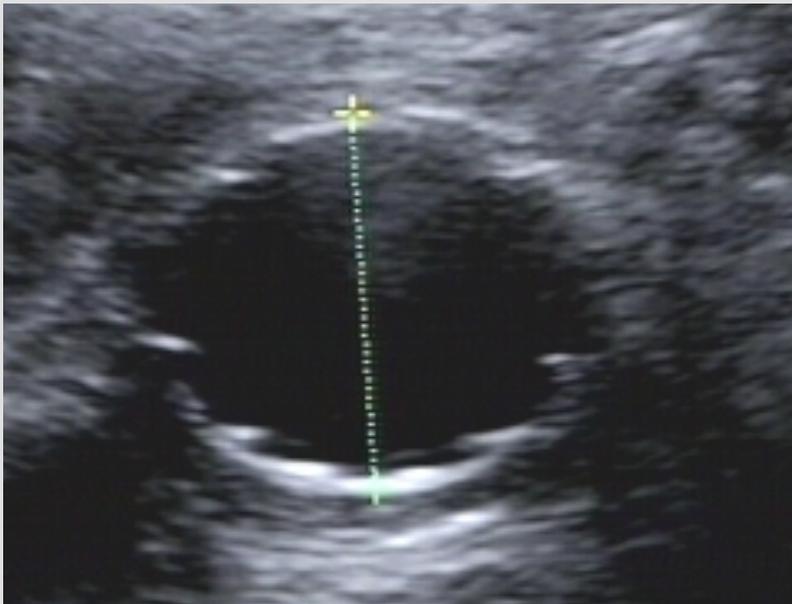
Pontage en Dacron



STENT

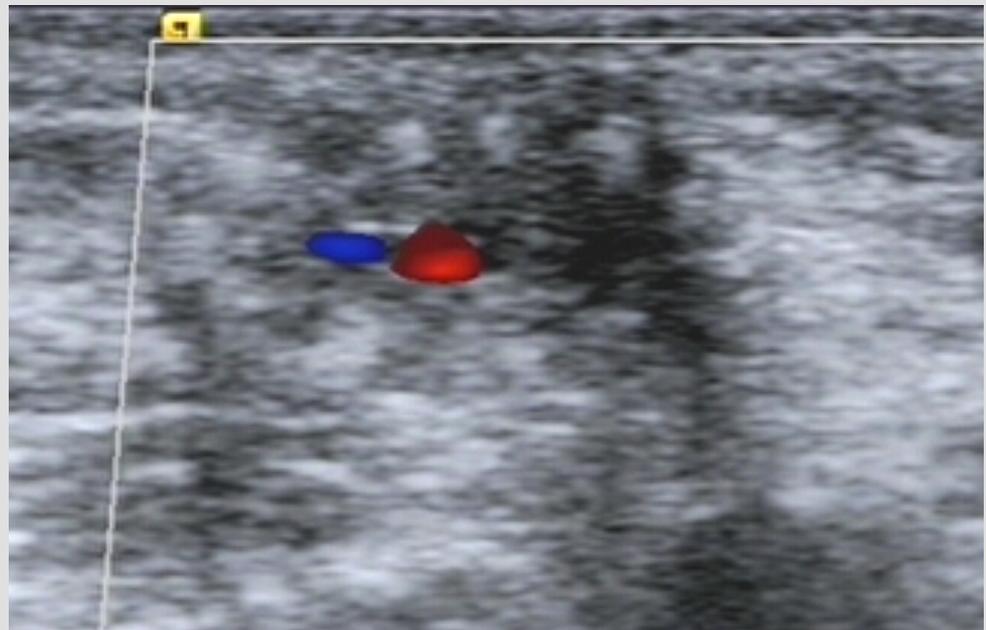
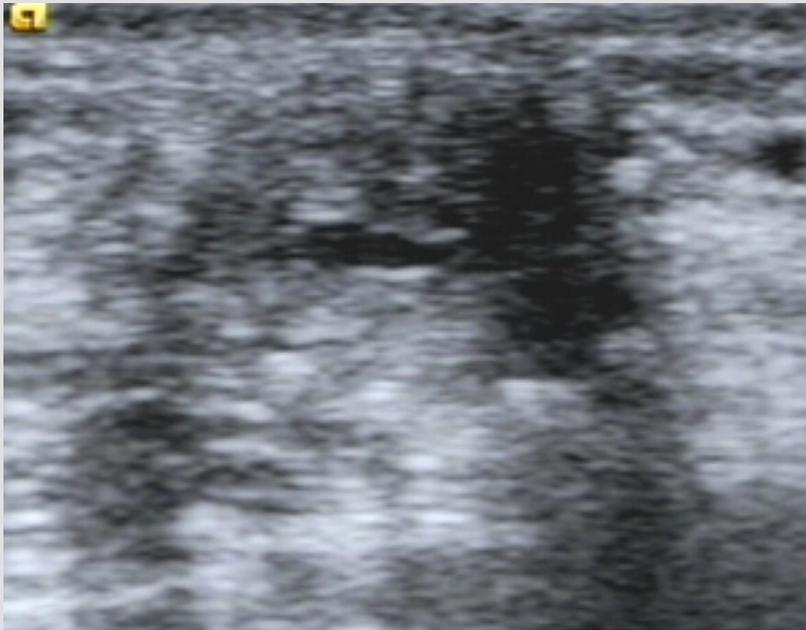


Stent carotidien



Endoprothèse
aortique

Hyperplasie intra stent



Imagerie échographique des lésions vasculaires périphériques

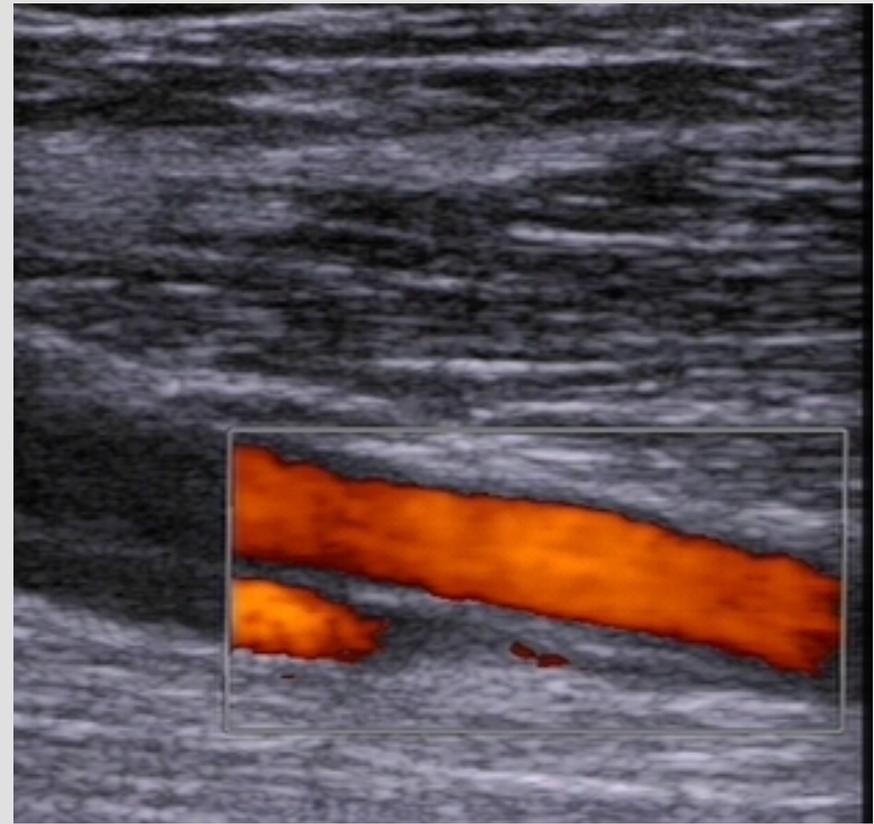
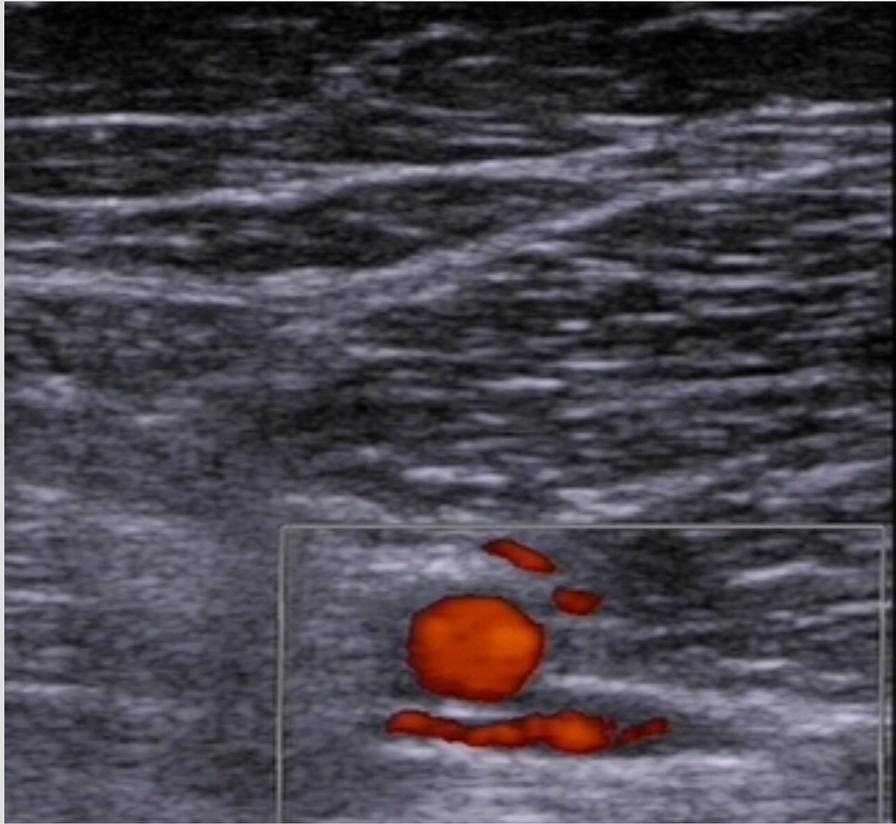
Lésions artérielles

Lésions veineuses

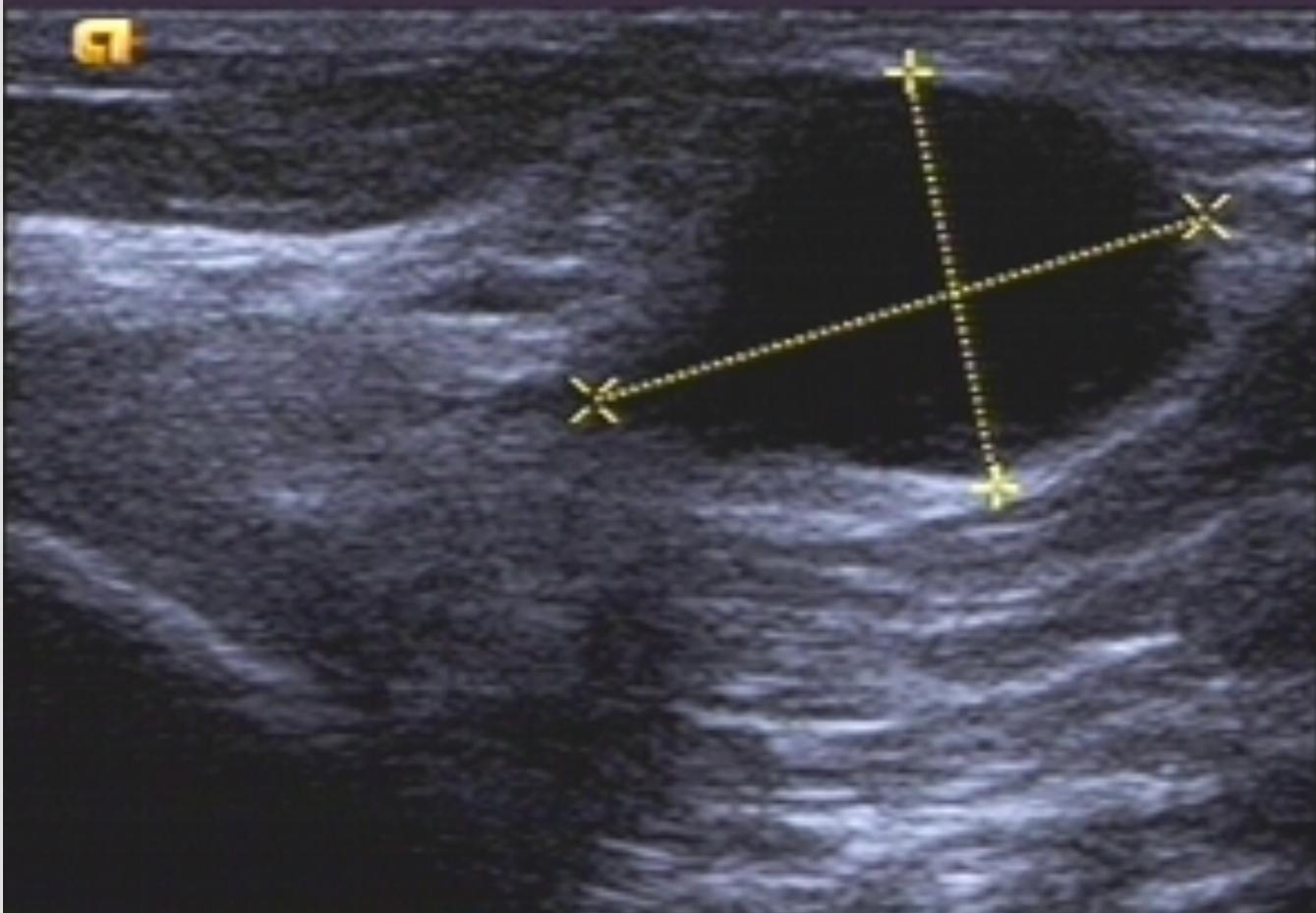
Prothèses

Autres

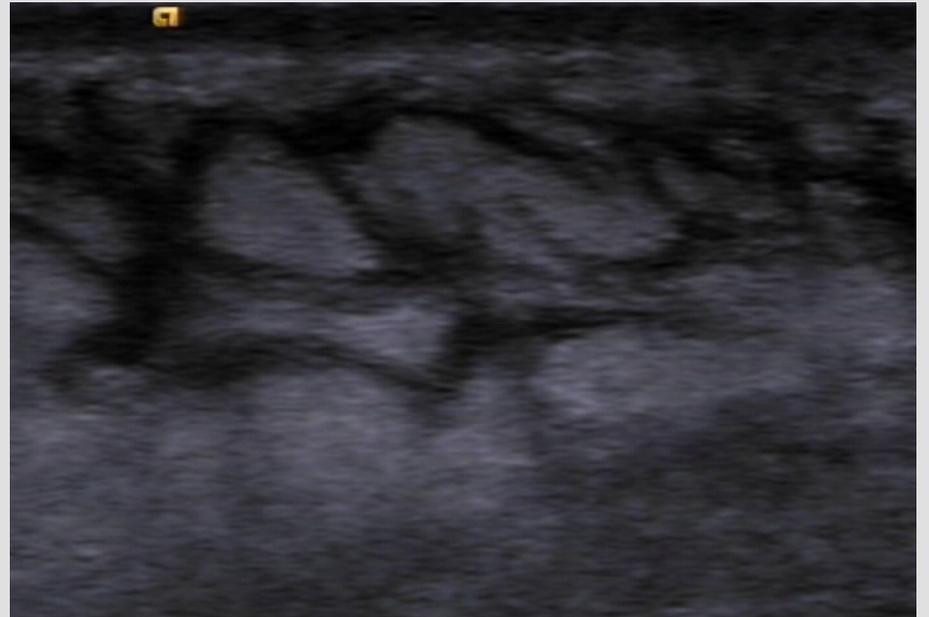
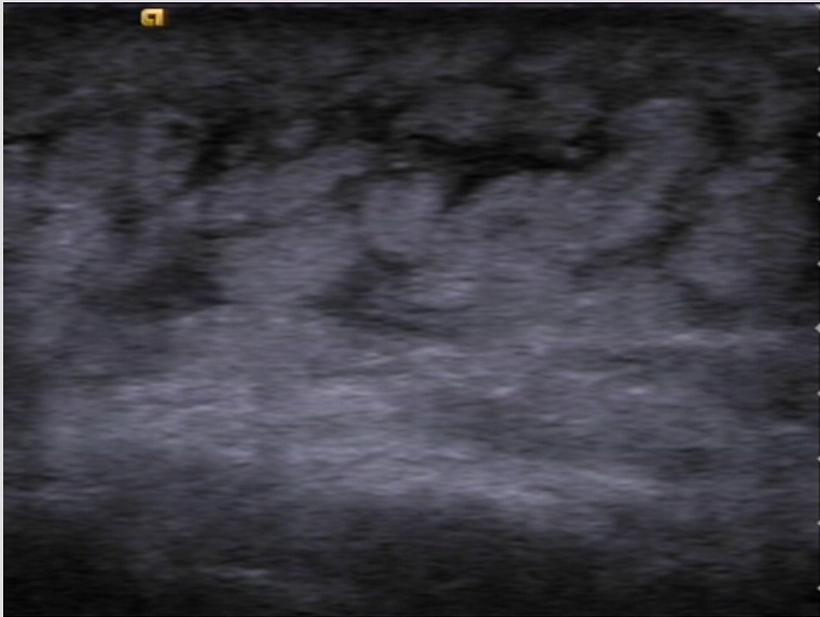
Muscle



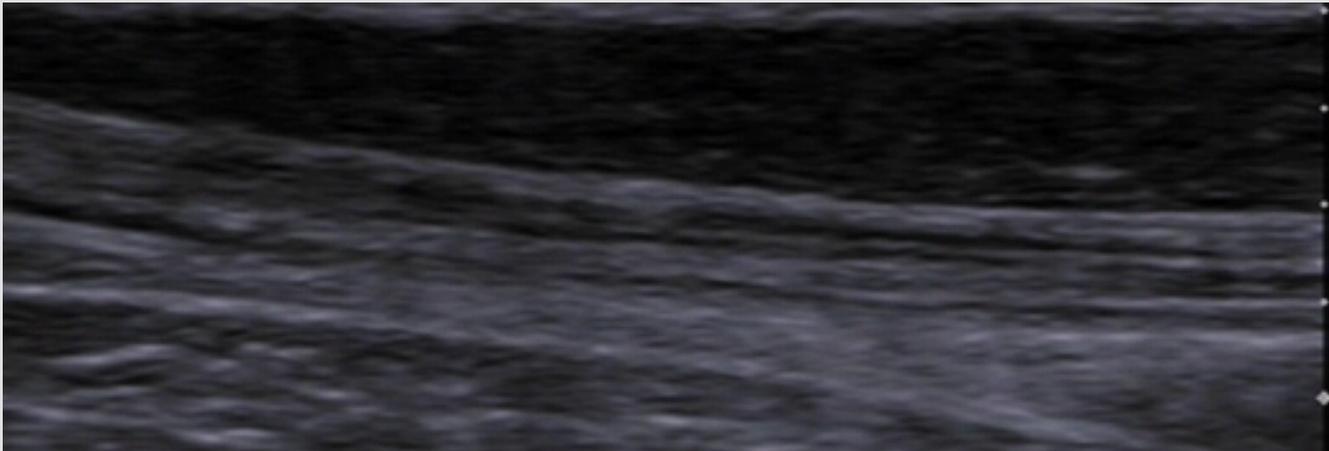
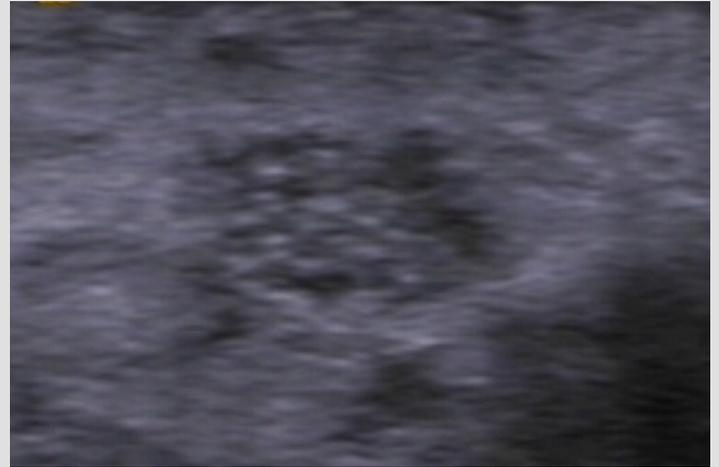
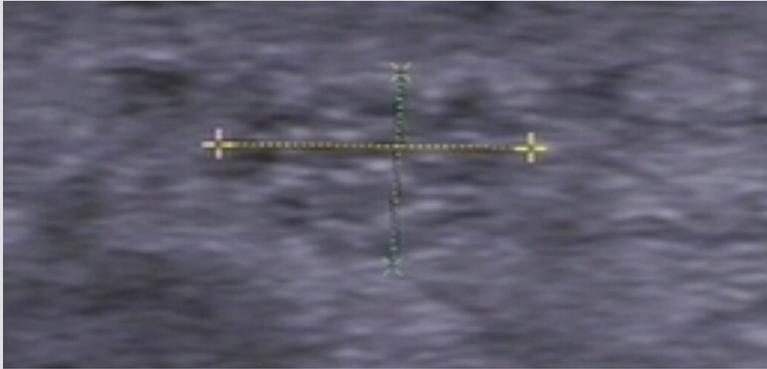
Kyste poplité



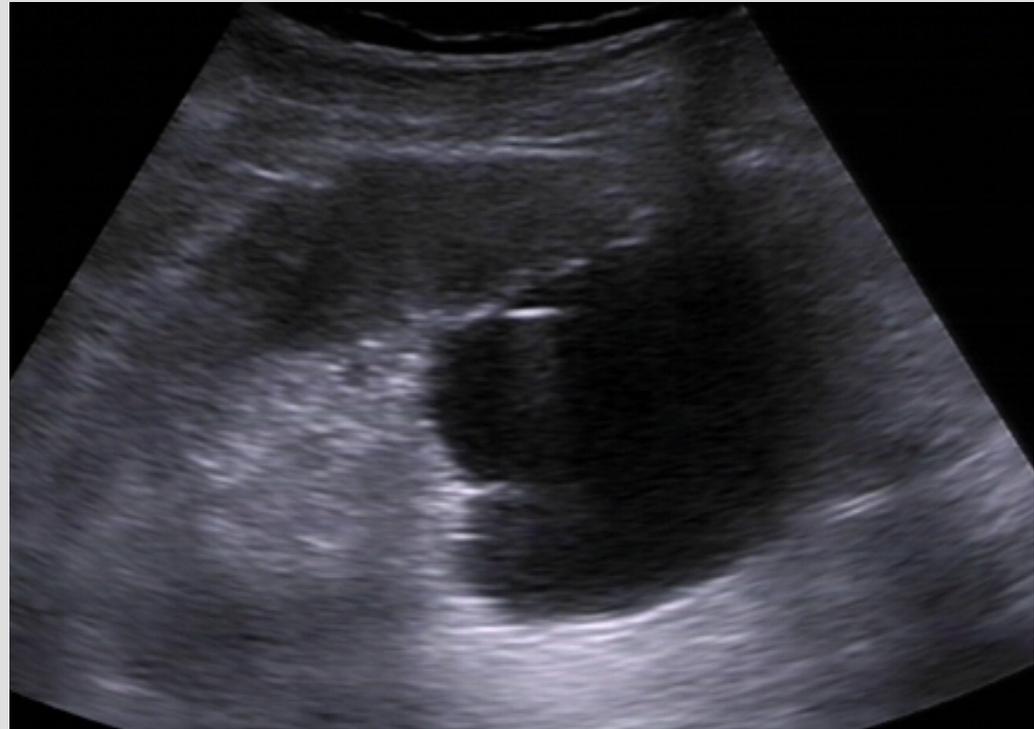
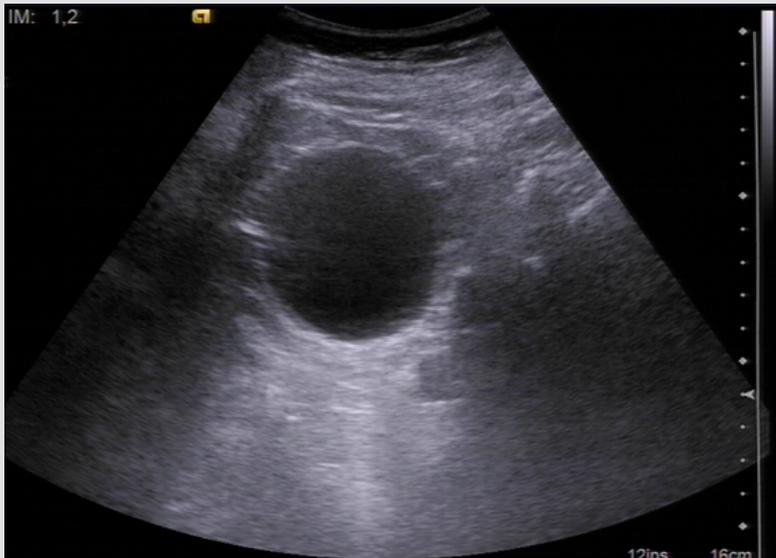
Œdème sous cutané



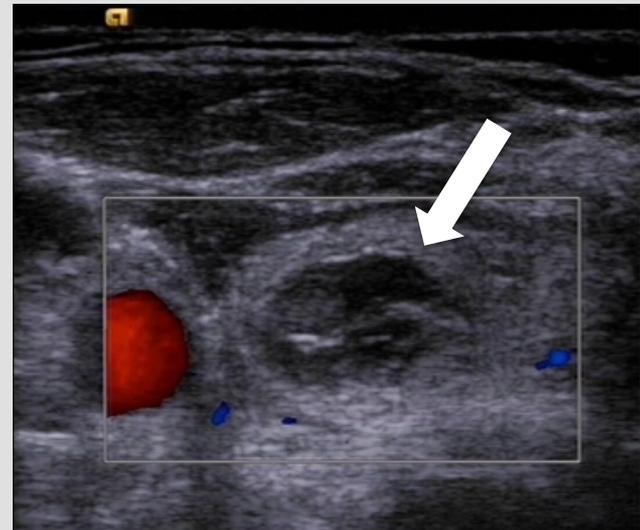
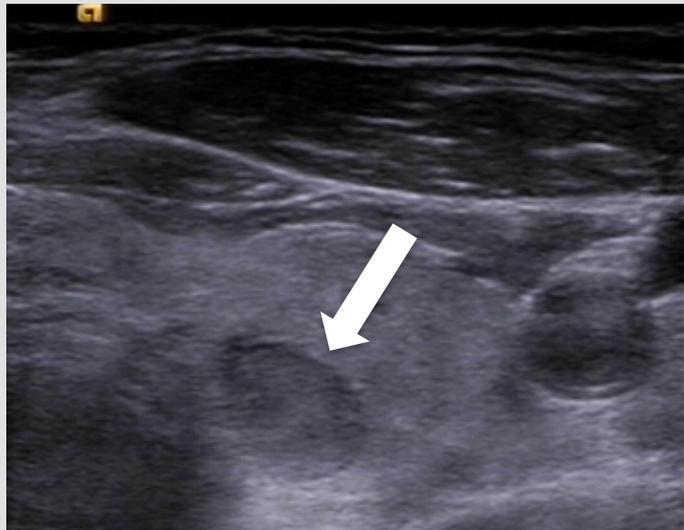
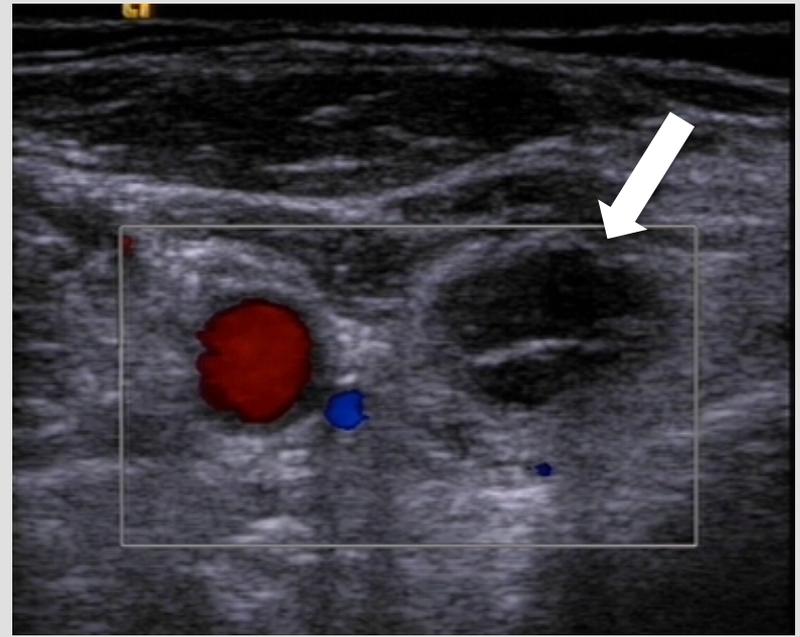
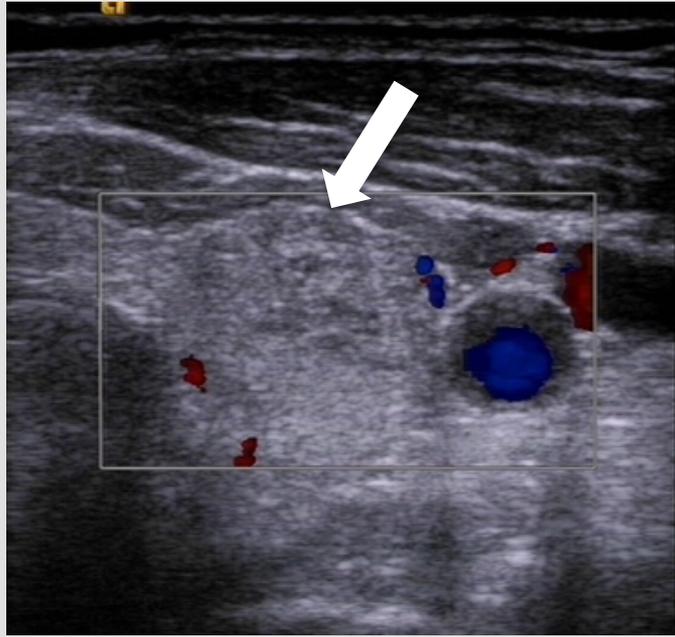
NERF



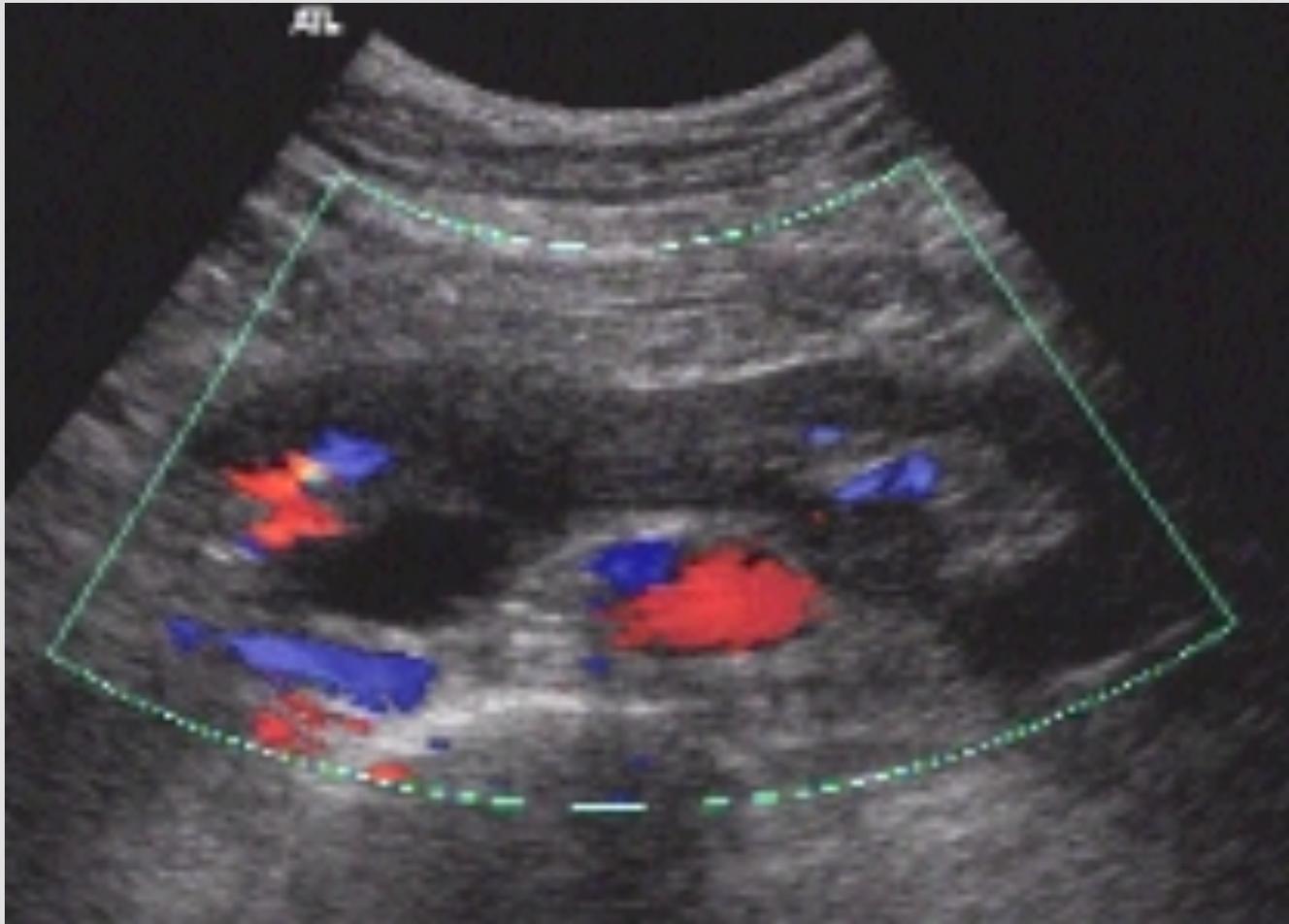
Kyste du rein



Nodules thyroïdiens

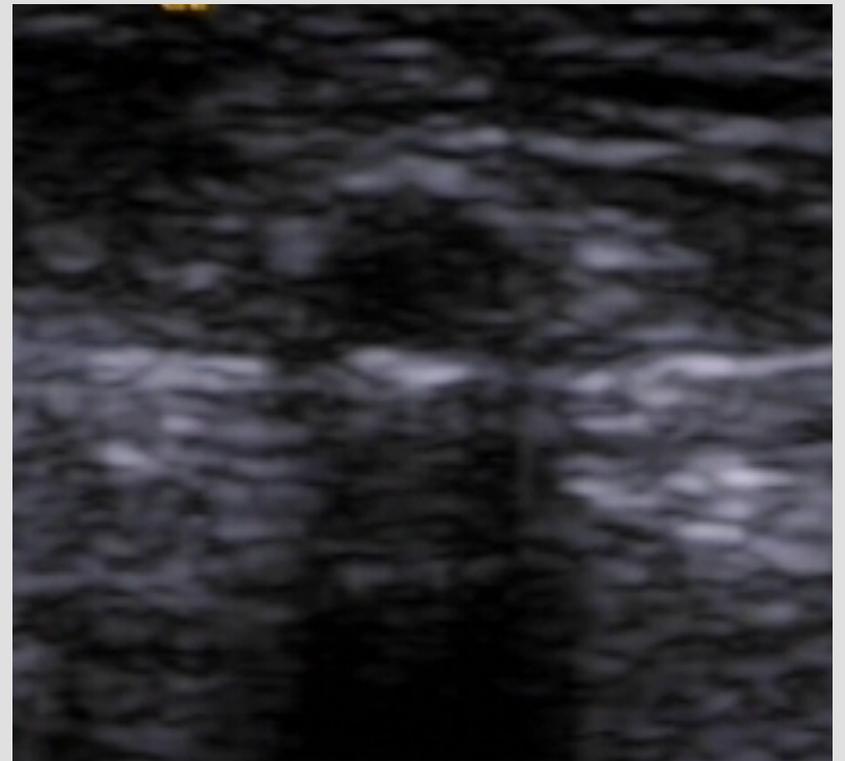
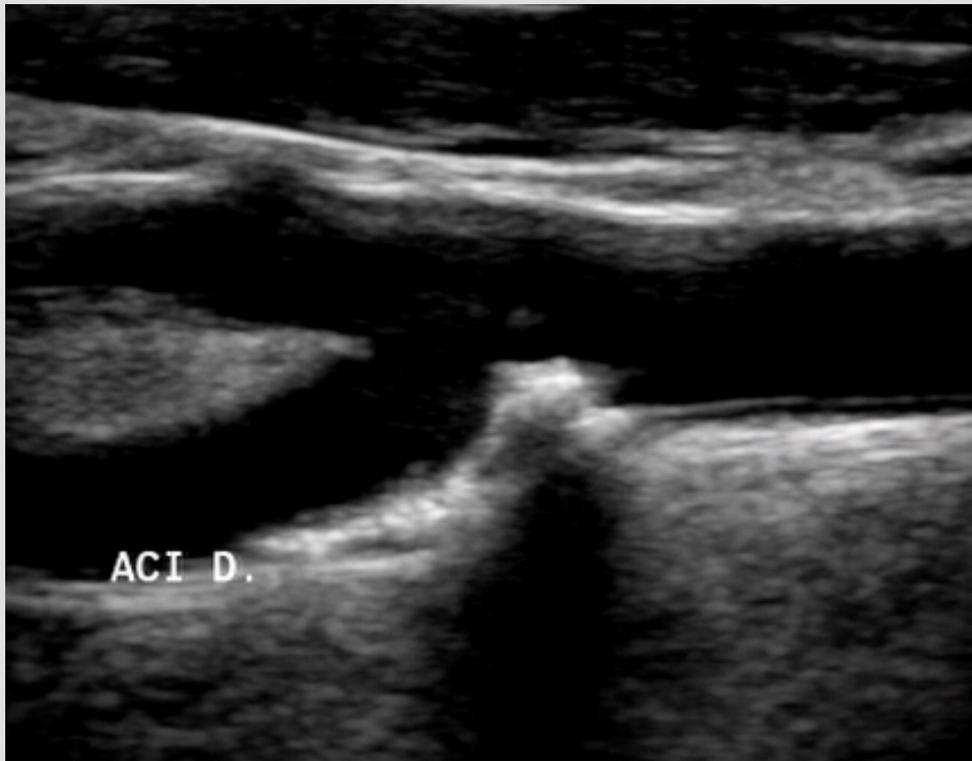


Rein en « fer à cheval »

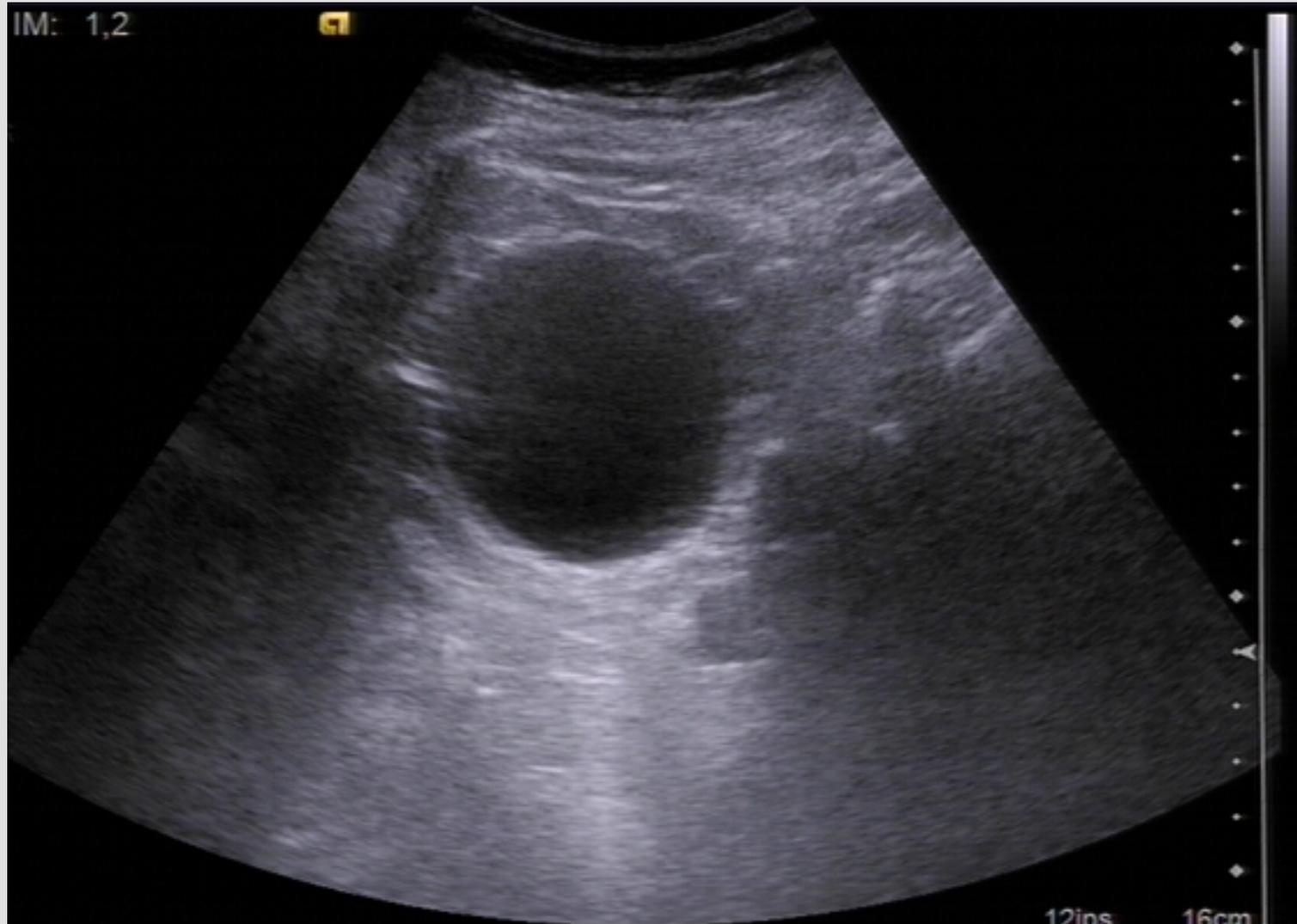


Artefacts en écho-doppler

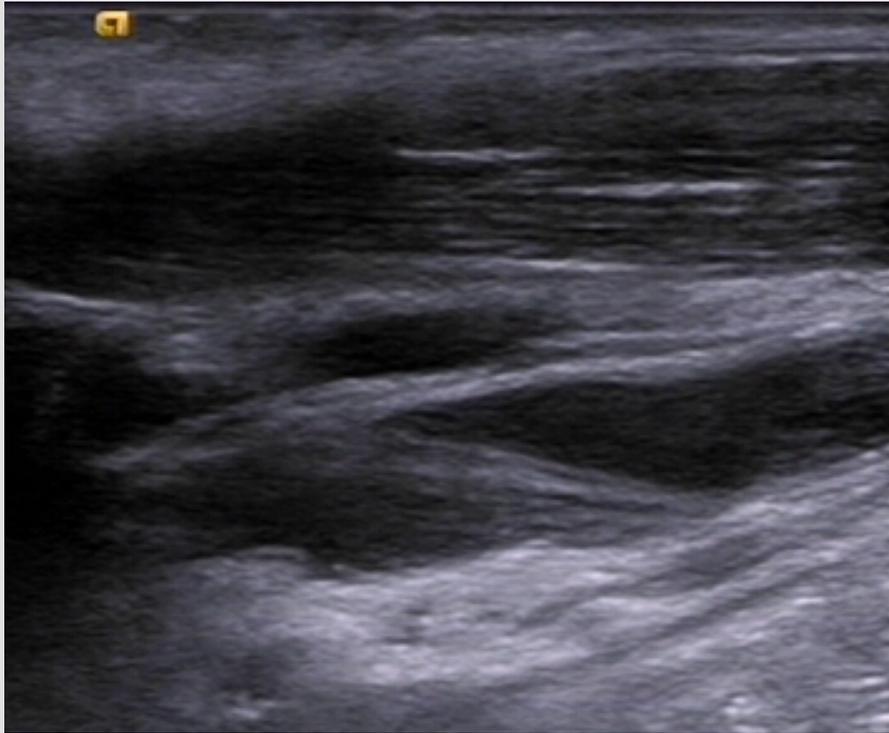
Cône d'ombre



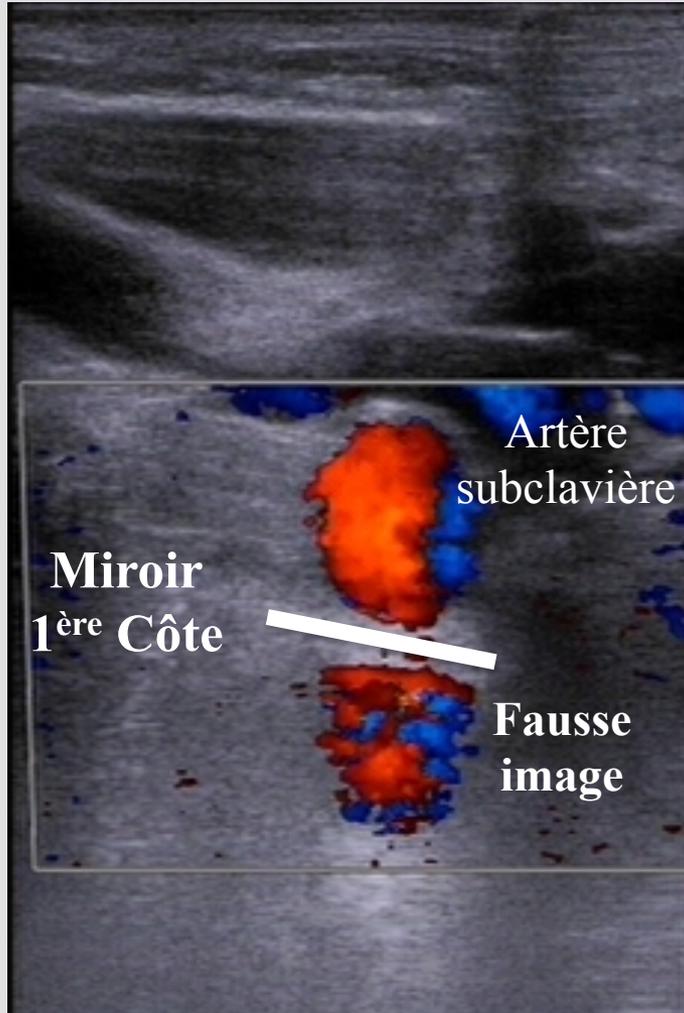
Renforcement postérieur

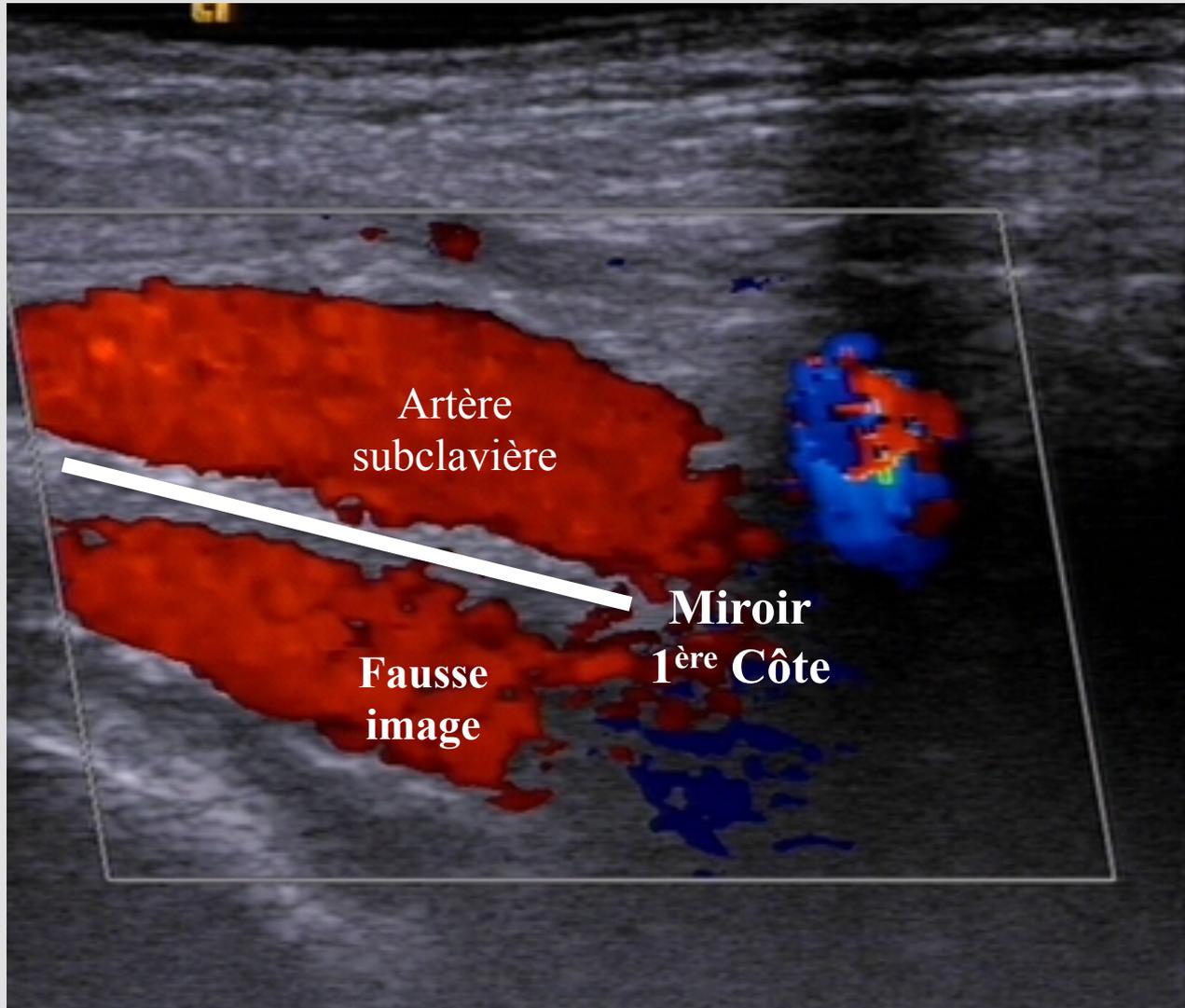


Echos de répétition

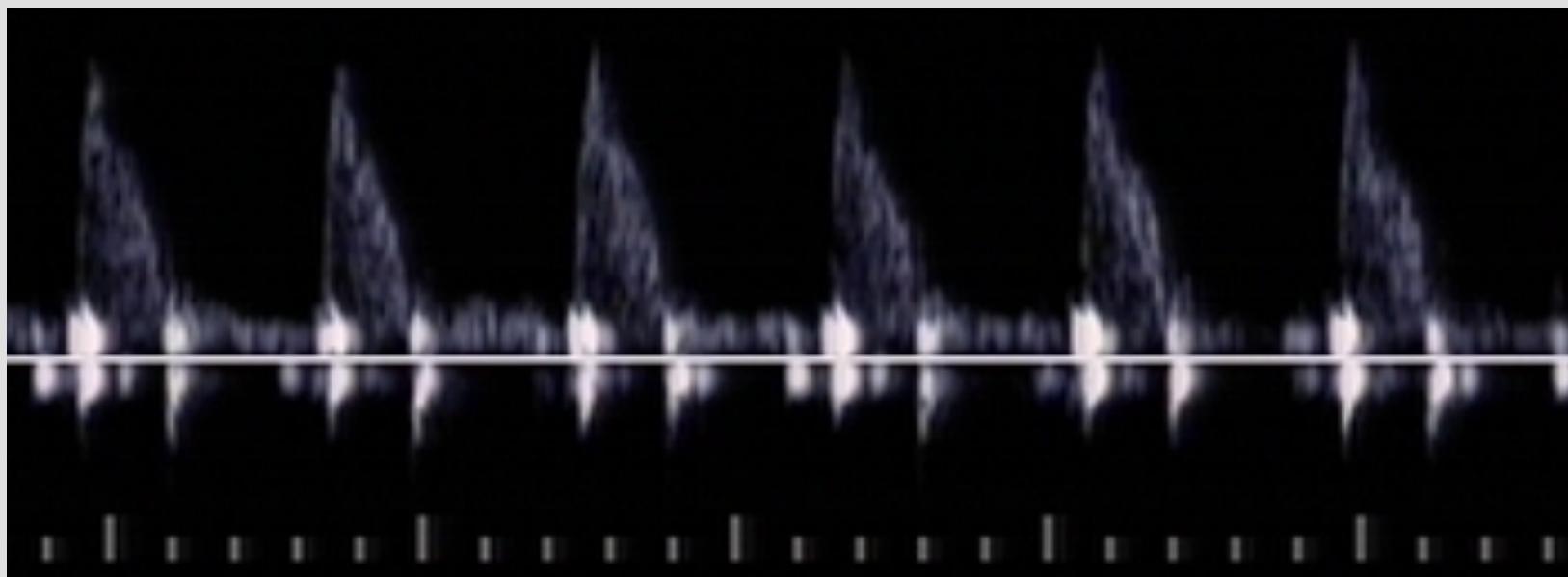


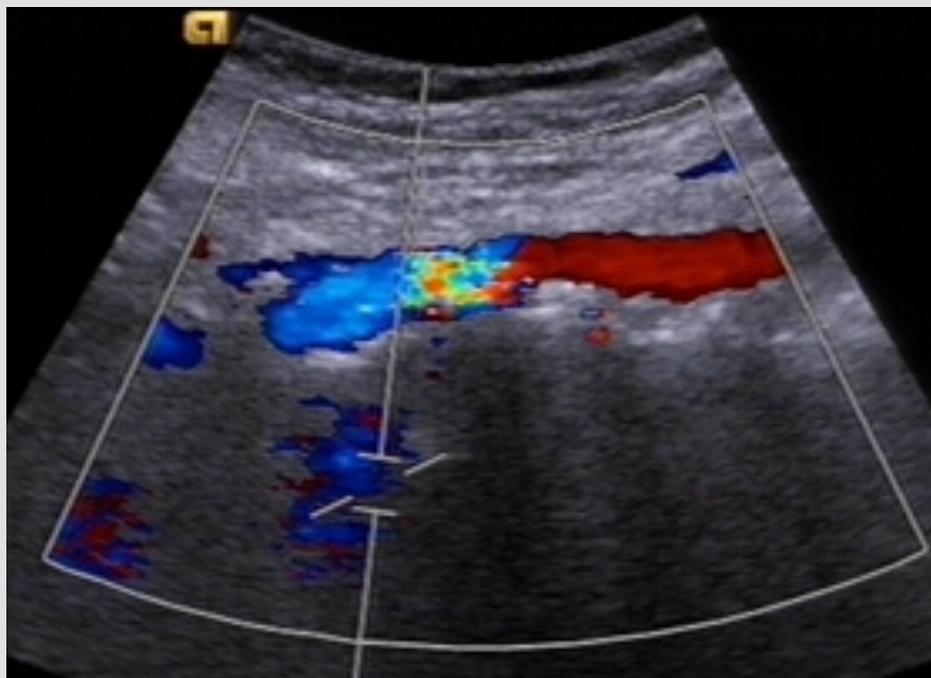
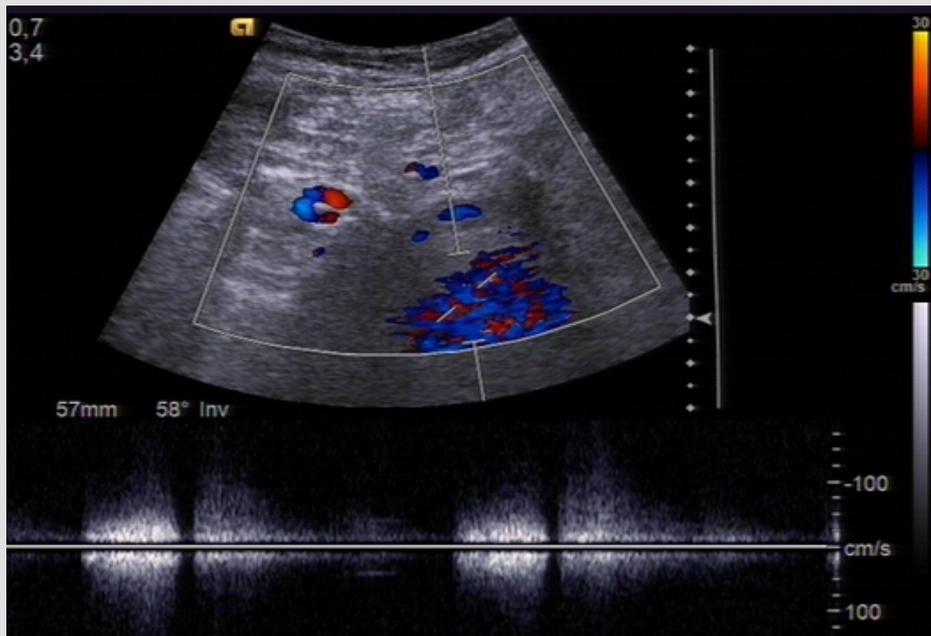
Images en miroir





Vibrations de parois



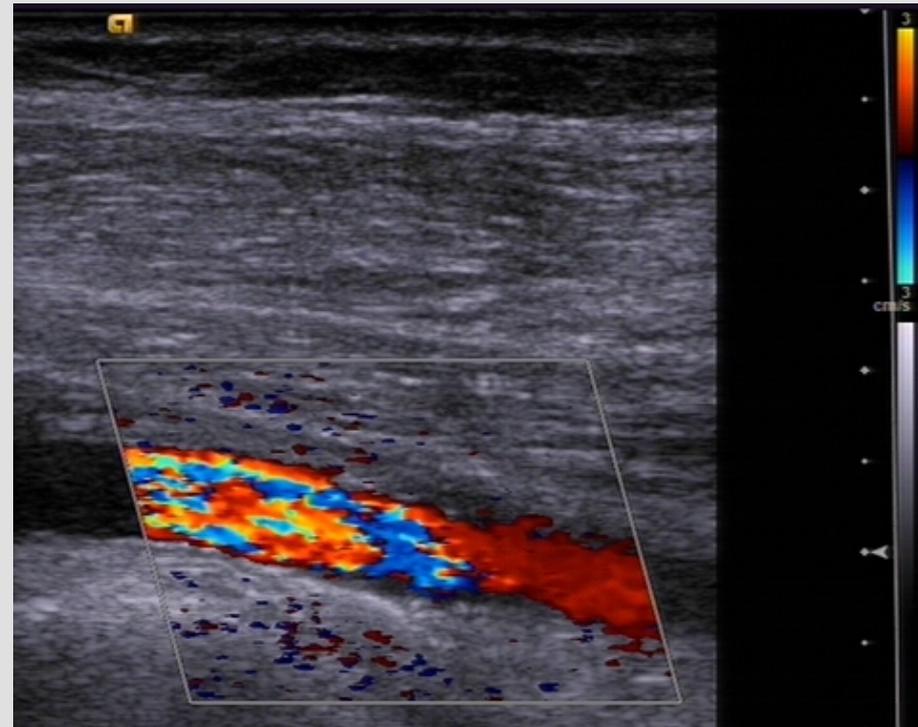
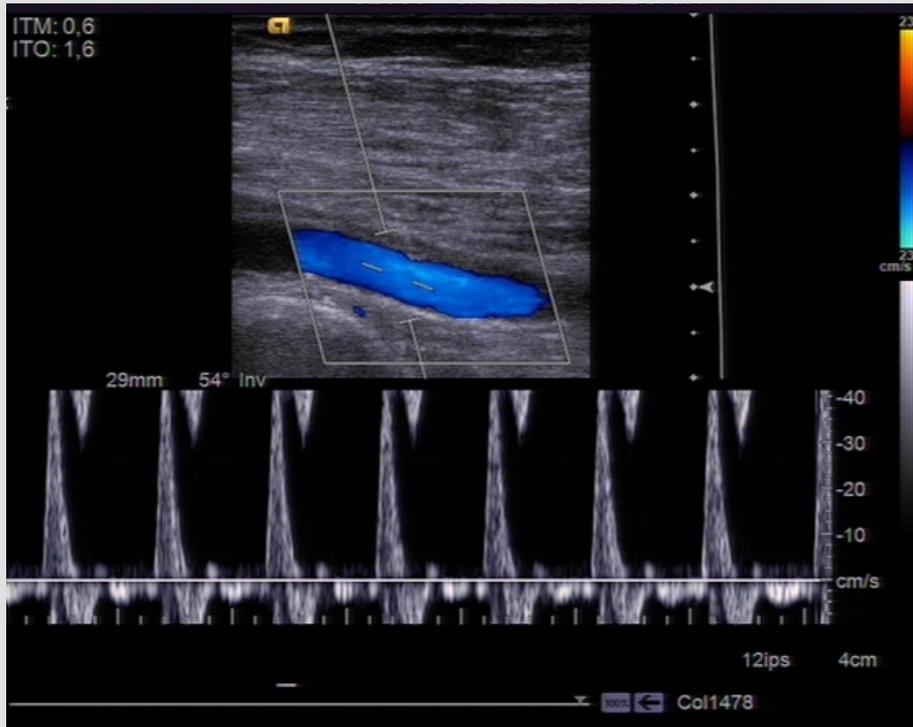


Vibrations respiratoires
au niveau cervical

Aliasing ou ambiguïté en fréquence

Au doppler pulsé

Au doppler couleur



Au doppler couleur et pulsé

