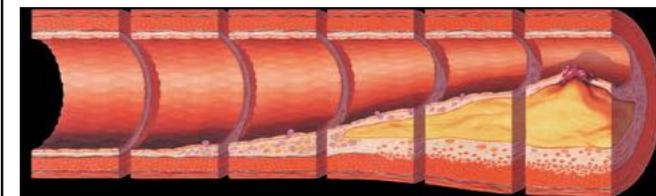


« TSA pathologique »

Antonia Pérez-Martin

Service d'Exploration et Médecine Vasculaire
Hôpital Carémeau - CHU de Nîmes

EA 2992
Université de Montpellier



Diagnostic pré-clinique de l'athérosclérose

Antonia Pérez-Martin

Service d'Exploration et Médecine Vasculaire
Hôpital Carémeau - CHU de Nîmes

EA 2992
Université de Montpellier



Athérothrombose

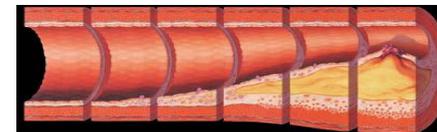
1^{ère} cause de morbi-mortalité
(28,7 % des décès)
OMS, 2002

Enjeu de santé publique

Prévention

Prise en charge

Dépistage

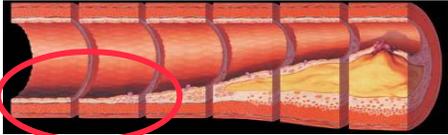
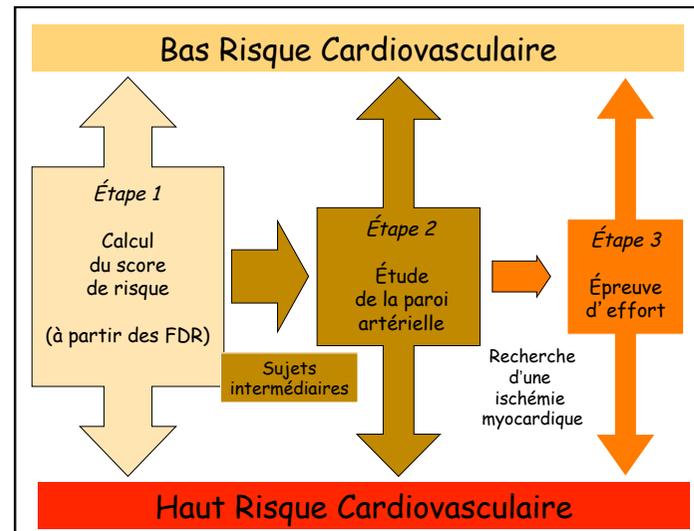


Athérothrombose

Mettre en évidence l'atteinte vasculaire dès le stade infra-clinique

Quantifier les lésions

Identifier et prendre en charge les patients à risque majoré

Calcul du nombre de points de risque en fonction des facteurs de risque selon Framingham

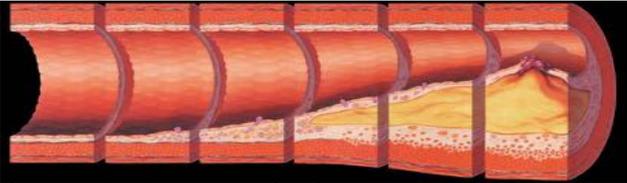
Age	Hommes	Femmes	Cholestérol (g/l)	Hommes	Femmes	Fumeur	Hommes	Femmes
<34	-1	-9	<1.15	-3	-2	non	0	0
35-39	0	-4	1.16-1.99	0	0	oui	2	2
40-44	1	0	2.00-2.39	1	1	RESULTAT (E)		
45-49	2	3	2.40-2.79	2	2	Diabète Hommes Femmes		
50-54	3	6	>2.80	3	3	non	0	0
55-59	4	7	RESULTAT (C)			oui	2	4
60-64	5	8	HDL (g/l)	Hommes	Femmes	RESULTAT (F)		
65-69	6	8	<0.35	2	5			
70-74	7	8	0.35-0.44	1	2			
75-79	8	8	0.45-0.49	0	1			
80-84	9	8	0.50-0.59	0	0			
>85	10	8	>0.60	-2	-3			

Age	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
4	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
6	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
11	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
12	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
13	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
14	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5

Stratification

Développement de l'athérothrombose

Plusieurs années



Morphologie normale

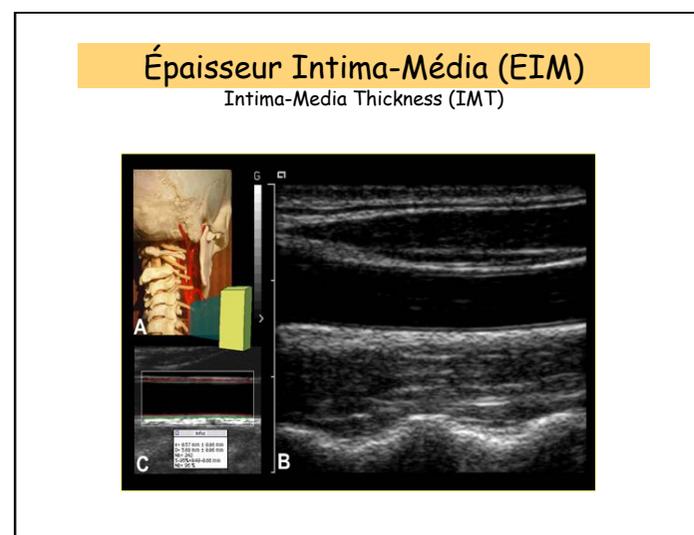
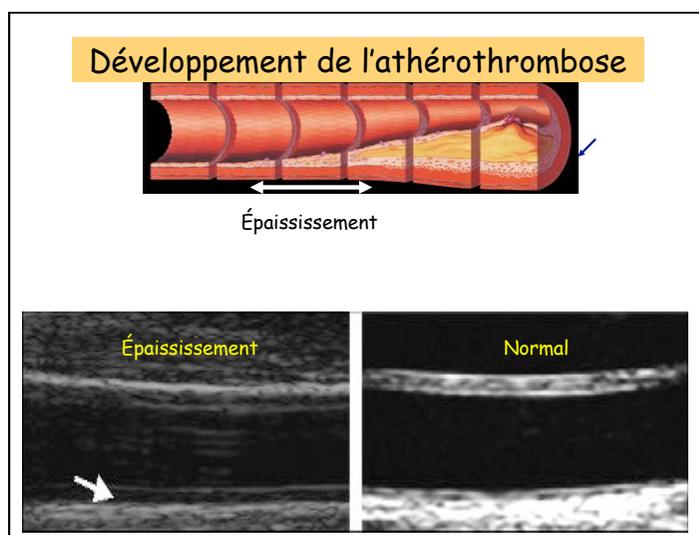
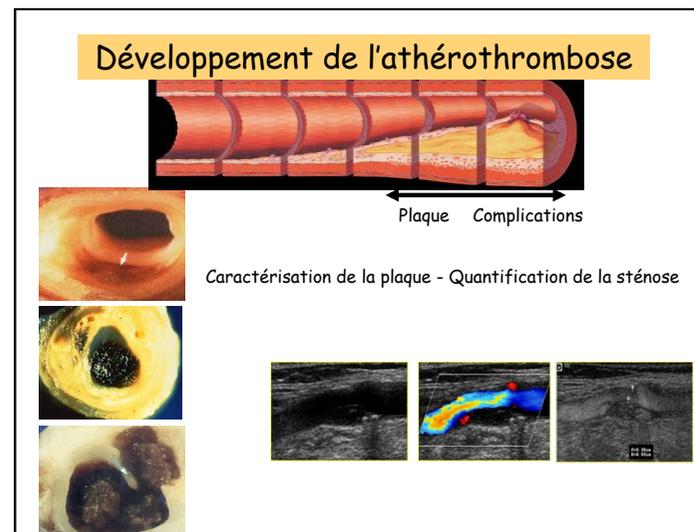
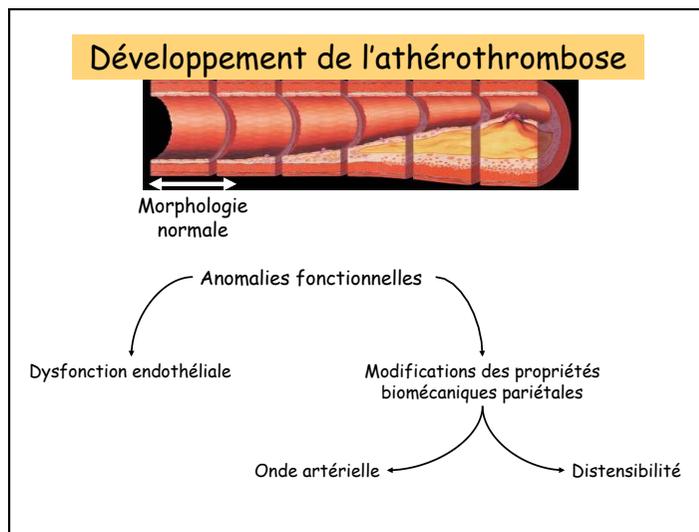
Épaissement

Plaque

Complications

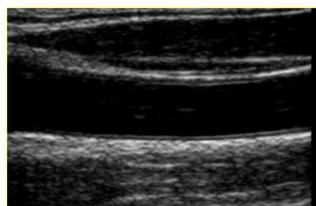
Anomalies fonctionnelles

Anomalies morphologiques

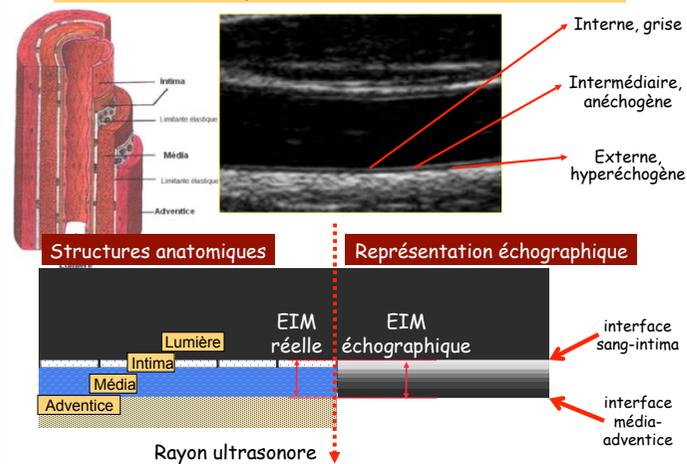


Épaisseur du Complexe Intima-Média Carotidien

- Que peut-on mesurer ?
- Comment mesurer ?
- Où mesurer ?
- Quelles valeurs normales
- Quelle évolution ?
- Quelle signification ?
- Quelle utilité ?



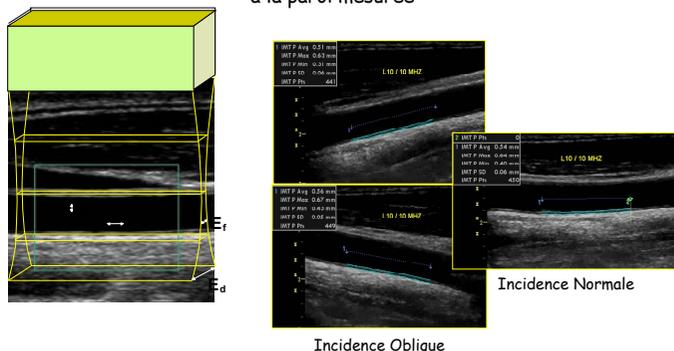
Que peut-on mesurer ?



Comment mesurer ?

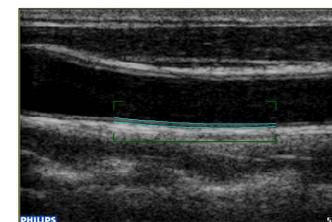
Angle d'incidence

La résolution axiale étant la meilleure, la sonde doit être parfaitement perpendiculaire à la paroi mesurée



Comment mesurer ?

Mesure Manuelle versus Automatique



Résultats : significativement plus élevés en manuel

Corrélation inter-observateurs :
 0,80-0,88 en manuel
 0,93-0,98 en automatique

Secil M et al. *Diagn Interv Radiol* 2005;11:105-108

Comment mesurer ?

Outils de mesure automatique

- Station de travail (QLab, IODP ...)
- Logiciel « embarqué » (GE Vivid, Sonosite Micromax)

Comment mesurer ?

Outils de mesure automatique

Aire de Mesure

nombre de mesures/cm = nombre de pixels/cm

Étude successive au niveau de la paroi distale, de chaque colonne de pixels individuellement

Comment mesurer ?

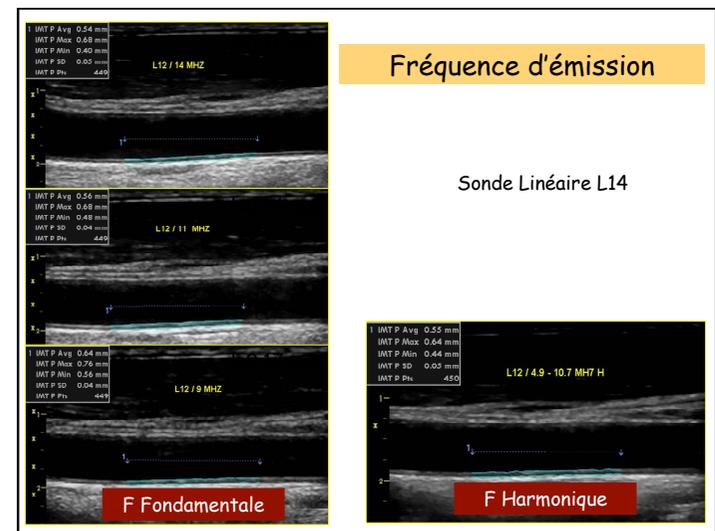
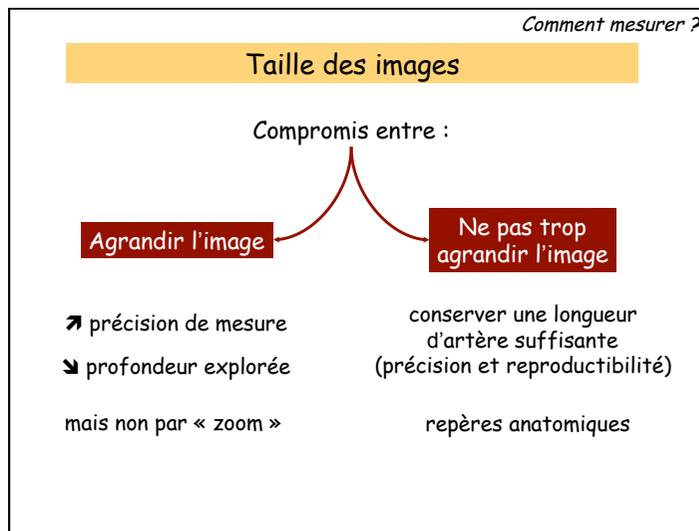
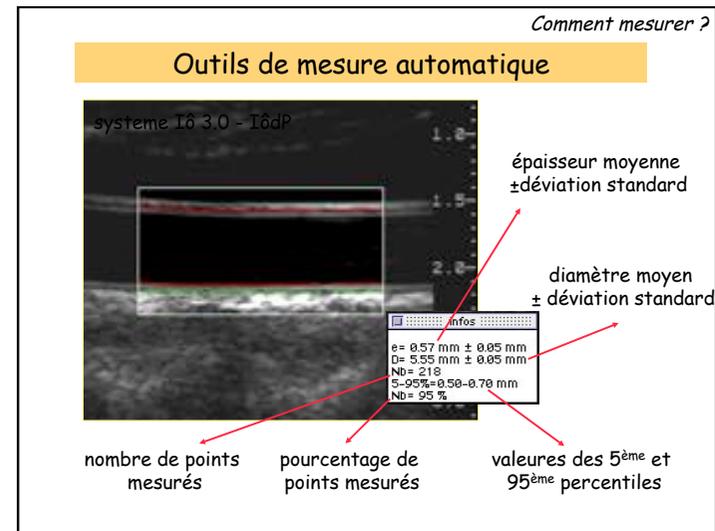
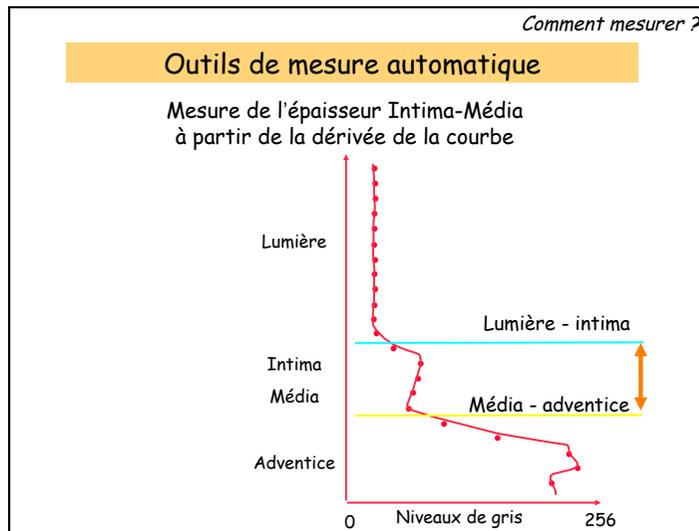
Outils de mesure automatique

Traduction d'une colonne de pixels en un histogramme de niveaux de gris

Comment mesurer ?

Outils de mesure automatique

Transformation de l'histogramme de niveaux de gris en une courbe



Comment mesurer ?

Quand mesurer ?

- ✓ Varie au cours du cycle cardiaque
→ mesure en télédiastole
- ✓ Nécessité d'utiliser
 - la boucle de mémoire d'images (cine-loop)
 - ou un déclencheur ECG (trigger) - entre P et Q
- ✓ Stable au cours de la journée
(sauf si prise d'aliments ou d'alcool, ou tabac)
- ✓ Neutralité thermique, repos

Où mesurer ?

Mesure au niveau de mur proximal

Faisceau Ultrasonore

L'interface adventice-média ne peut être distinguée (résolue) des échos adventiciels et des tissus voisins

Où mesurer ?

Mesure au niveau de mur distal

Faisceau Ultrasonore

Le sang d'une part, et la média, d'autre part, étant hypoéchogènes, les interfaces sang-intima et média-adventice sont aisément résolues.

Où mesurer ?

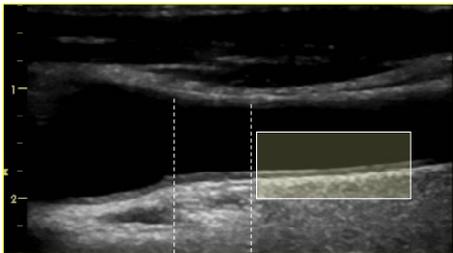
Quelles artères ?

Ex : Étude MIDAS

Artère	Paroi
Carotide Commune	Paroi proximale
Bifurcation Carotidienne	
Carotide Interne	Paroi distale
Fémorale Commune	

Où mesurer ?

Zone de mesure privilégiée



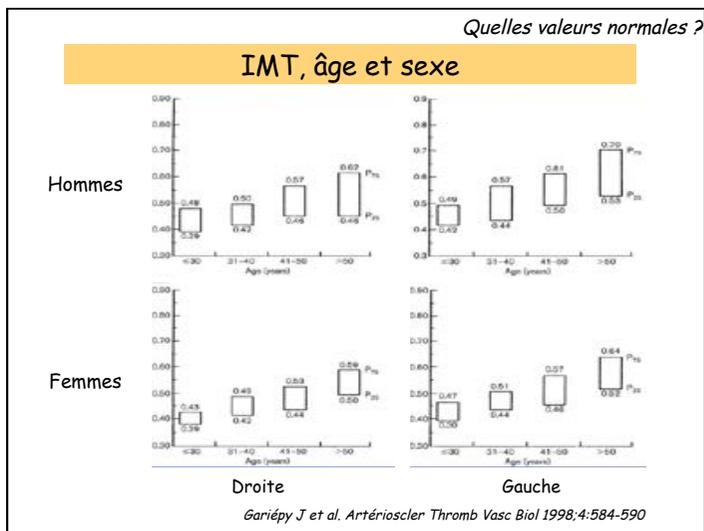
Artère Carotide Commune - Versant profond
Coupe longitudinale
> 20 mm en amont de la bifurcation - Repères anatomiques

Quelles valeurs normales ?

Valeurs normales - Facteurs de variation

Âge	Sexe	Site de mesure
Progression groupe placebo	homme > femme	carotide D < G
ACAPS = 0,006 mm/an CLAS = 0,018 mm/an MARS = 0,015 mm/an		

↪ Nécessité d'utiliser un abaque en fonction du programme utilisé

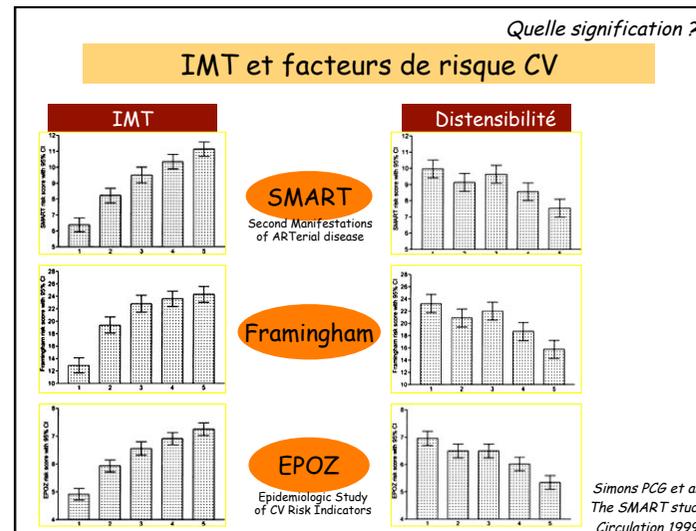
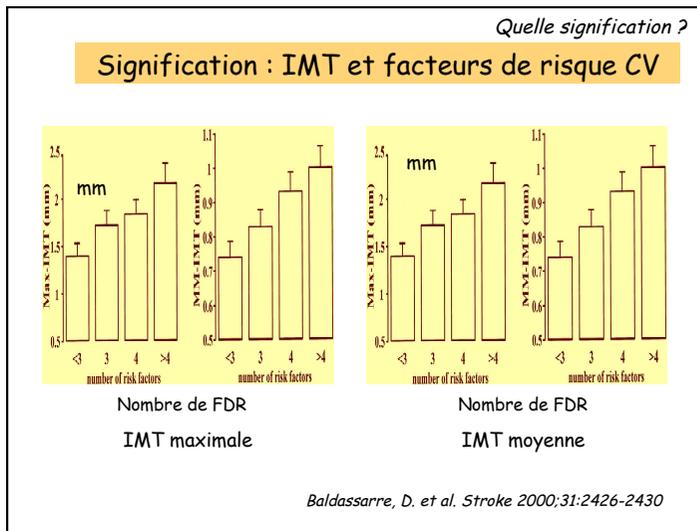


Quelles valeurs normales ?

Normes en fonction de l'âge et du sexe

		AGE	<30	31 à 40	41 à 50	> 50
}	Carotide Droite	FEMMES	P 90 0,46	0,53	0,61	0,69
		MOY	0,40	0,46	0,50	0,55
		P 10	0,37	0,40	0,42	0,45
	HOMMES	P 90	0,50	0,51	0,62	0,78
		MOY	0,43	0,46	0,52	0,56
		P 10	0,38	0,41	0,43	0,42
}	Carotide Gauche	FEMMES	P 90 0,51	0,59	0,64	0,74
		MOY	0,44	0,48	0,52	0,60
		P 10	0,37	0,41	0,43	0,48
	HOMMES	P 90	0,55	0,60	0,73	0,81
		MOY	0,45	0,50	0,57	0,63
		P 10	0,37	0,42	0,44	0,49

Denarié et al. Atherosclerosis, 1999



Signification ?

Marqueur de Risque ?
 Facteur de Risque ?

Quelle utilité ?

Utilité de la mesure de l'épaisseur intima-média ?

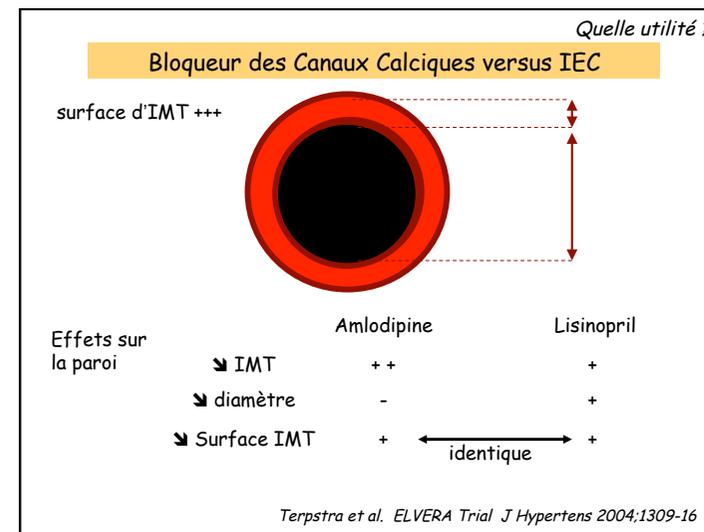
- ✓ Épidémiologie
- ✓ Études d'intervention
 - ↪ Traitement de l'Hypertension Artérielle
 - ↪ Traitement des Dyslipidémies
 - ↪ Traitement Hormonal Substitutif
 - ↪ ...

Quelle utilité ?

IMT et traitements antihypertenseurs

Treatment	Study	IMT	Patients	Follow-up	IMT progression rate (mm/year)		
					Drug	Control	p
Isradipine vs HTZ	MIDAS (8)	Mean max 12 sites	Hypertensive	3	0.04 (0.002)	0.05 (0.002)	NS*
Verapamil vs chlortalidone	VHAS (6)	Mean max 6 sites	Hypertensive	4	0.015 (0.005)	0.016 (0.005)	NS**
Lacidipine vs atenolol	ELSA (14)	Mean max 4 sites	Hypertensive	4	0.0057	0.0146	0.001
Nifedipine vs HTZ/zimilolide	INSIGHT IMT (15)	Mean CCA	Hypertensive	4	-0.007 (0.002)	0.0077 (0.002)	0.002
Amlodipine vs placebo	PREVENT (15)	Mean max 12 sites	Coronary	3	-0.012 (0.012)	0.033 (0.012)	0.007
Metoprolol vs placebo	BCAPS (17)	4 sites (Mean max CCA; IMT max bulb)	Vascular disease	3	0.029	0.041	0.030
Ramipril vs placebo	SECURE (18)	Mean max 12 sites	High risk	4.5	0.014 (0.002)	0.022 (0.003)	0.003

Table 2. Effect of calcium antagonism and angiotensin converting enzyme inhibition on carotid intima media thickness (IMT) in randomized double blind trials



Quelle utilité ?

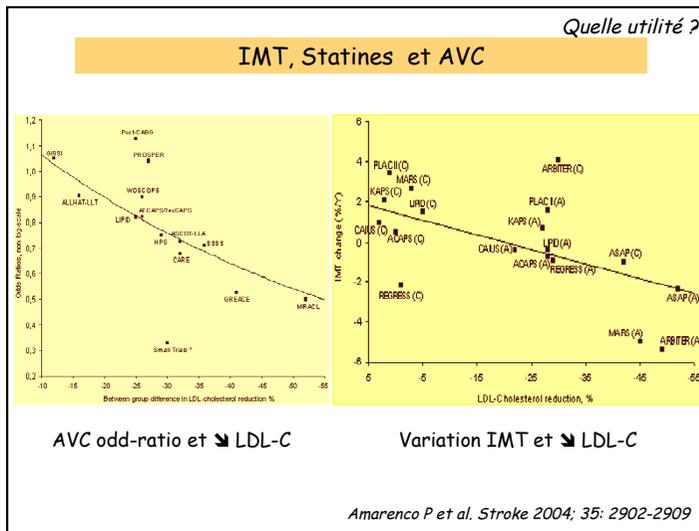
IMT et hypocholestérolémiants (1)

Études	Patients	Traitements	Progression de l'IMT (mm/an)	P
CLAS	Coronariens	Colestipol/Niacin vs Placebo	- 0.012 0.012	< 0.001
ACAPS	Asymptomatiques	Lovastatine vs Placebo	- 0.009 0.006	0.001
MARS	Coronariens	Lovastatine vs Placebo	- 0.028 0.015	< 0.001
ASAP	Formes familiales	Atorvastatine vs Simvastatine	- 0.015 0.018	< 0.001

Quelle utilité ?

IMT et hypocholestérolémiants (2)

Études	Patients	Traitements	Progression de l'EIM (mm/an)	P
PLAC II	Coronariens	Pravastatine vs Placebo	0.059 0.068	NS
REGRESS	Coronariens	Pravastatine vs Placebo	0.00 0.05	0.008
KAPS	Asymptomatiques	Pravastatine vs Placebo	0.017 0.031	0.005
LIPID	Coronariens	Pravastatine vs Placebo	- 0.003 0.012	< 0.001
CAIUS	Asymptomatiques	Pravastatine vs Placebo	- 0.004 0.009	< 0.001



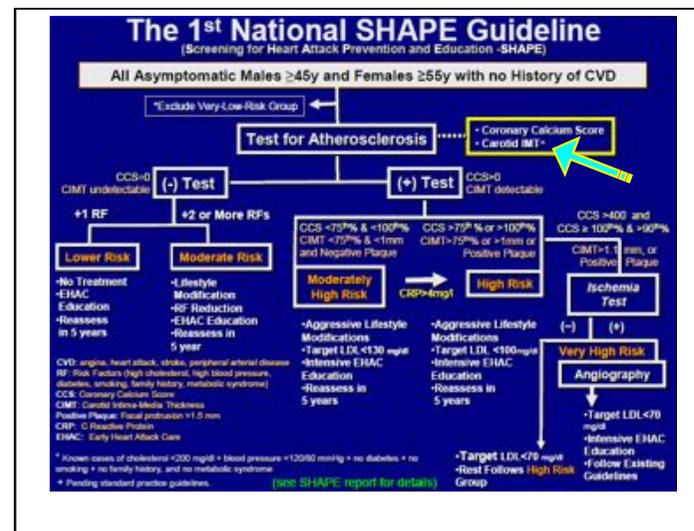
Controverses ?

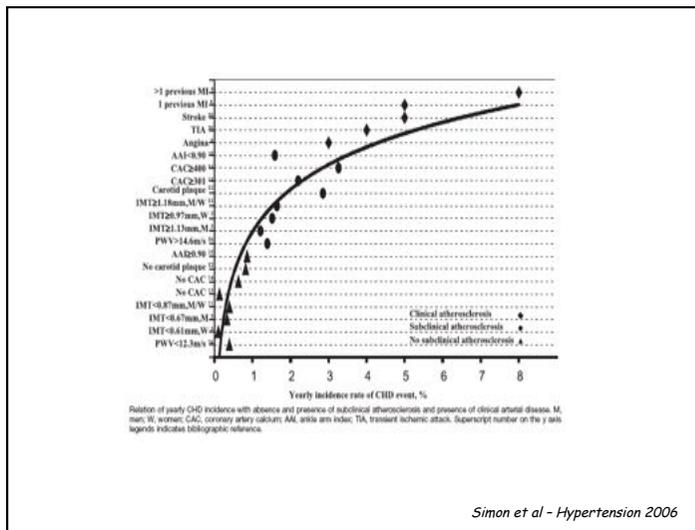
- ↪ Régression de l'athérosclérose ?
- ↪ Utilisation pour le ciblage ?

Diminution de l'IMT sous traitement ? Régression de l'athérosclérose ?

Étude ELSA
Lacidipine versus Aténolol

Zanchetti A et al. J Hypertension 2004; 22: 1201-1212





Ultrasonographic measurements of IMT are considered investigational / not medically necessary...(1)

« ... measurement of carotid IMT theoretically could be used as an adjunct in coronary heart disease risk assessment... However, its expense, lack of availability, and difficulties with standardization preclude a current recommendation for its use in routine risk assessment... »⁽¹⁾

« ... at the present time, there appears to be no scientific literature that directly and experimentally tests the hypothesis that measurement of carotid IMT result in improved patient outcomes and no specific guidance on how measurement of carotid IMT should be incorporated into risk assessment and risk management. »⁽²⁾

(1) NHLBI (National Health Lung and Blood Institute) NIH Publication No. 01-3670
(2) Empire (Blue Cross Blue Shield) - Medical Policy 2006 #2.02.16

Conclusions consensuelles Mannheim 2004

- ✓ Une standardisation des définitions et des protocoles est un préalable à toute utilisation systématique de l'IMT
- ✓ L'IMT est un outil important pour les études épidémiologiques et d'intervention
- ✓ Mais il n'y a pas lieu :
 - de décider d'un traitement sur la base d'une valeur de l'IMT
 - ni de mesurer l'IMT chez les patients en pratique clinique quotidienne, en dehors de quelques cas particuliers
- ✓ Car si l'IMT présente certaines caractéristiques d'un marqueur, elle ne constitue pas en soi un facteur de risque vasculaire

(1) Touboul PJ et al. Cerebrovasc Dis 2004;18:346-349

Soigner un paramètre ou un malade

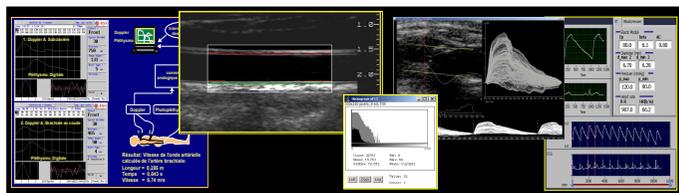


« Les recommandations n'ont pas proposé la détermination de l'IMT carotidienne ou la mesure de la vitesse de l'onde de pouls, index de rigidité artérielle, méthodes qui restent l'apanage d'équipes spécialisées.

Il est apparu insuffisamment établi qu'il faille agir sur ces paramètres pour obtenir un bénéfice de prévention cardiovasculaire, et des études médico-économiques sont nécessaires pour situer leur place dans l'avenir. »

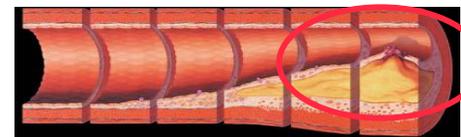
Recommandations HAS 2005 / HTA
Recommandations AFSSAPS 2005 / Dyslipidémie

Conclusion EIM



L'EIM est donc un outil de recherche remarquable, permettant d'observer le volet morphologique de la physiopathologie de la paroi artérielle, dont l'étude doit aussi considérer les aspects biomécaniques et fonctionnels.

Évaluation des Sténoses Carotidiennes Enjeux et Méthode



Enjeux - Épidémiologie

Enjeux

Maladie athéromateuse

AVC

AVC, AIT

3^{ème} cause de **décès** en Occident
mortalité : 11,48 ‰ H; 11,65 ‰ F
10 à 20 % des décès durant le premier mois
90/100 000 hab. en France

Coronaropathie

HTA
Aorte rénno-vasculaire

1^{ère} cause de **handicap** non traumatique

AOMI

2^{ème} cause de **démence** et
cause majeure de **dépression**
Malgré prévention, morbi-mortalité des AVC
pourrait doubler d'ici 2020.

Progrès de la prise en charge +++

AVC et AIT

Enjeux

AVC

Progrès de la prise en charge et du pronostic
lié notamment aux progrès de l'imagerie
et du diagnostic étiologique
conditionnant le traitement

Enjeux

Épidémiologie

Étiologie

Ischémique : 80 à 85 % → mécanismes :

- athérosclérose +++ (sténose, thrombose, embolie)
- cardiopathie emboligène
- maladies des petites artères (lacunes)
- thrombose veineuse centrale (0,5 à 1 %)

Hémorragiques

- intracérébrales (≈ 15 % des AVC)
- cérébro-méningées (≈ 5 %)

Sténoses carotidiennes (SC)
→ 2/3 des AVC

→ 30 à 50 % de la mortalité par AVC

Enjeux

Accident Ischémique Transitoire - Étiologies

1 Athérosclérose intracrânienne

2 Athérome carotidien avec embolie

3 Plaque de la crosse

4 Embolie d'origine cardiaque

5 Maladie des petites artères

6 Sténose carotidienne serrée avec hypodébit

7 Fibrillation Auriculaire

8 Maladie valvulaire

9 Thrombus du ventricule

Enjeux

Épidémiologie

Prévalence des SC > 50 %

> 65 ans : 5 % F; 7 % H
après 80 ans : > 10 %

Chez sujets à haut risque CV

8 % SC si atteinte coronaire
40 % si AOMI (données de SMART)

Enjeux

Recommandations 2004 et Bonnes pratiques HAS 2007

AIT = Urgence diagnostique et thérapeutique

Risque d'AVC ischémique après AIT	48 h	2,5 à 5 %
	1 mois	5 à 10 %
	1 an	10 à 20 %

30 % des AVC à évolution sévère ont présenté un ou des accidents régressifs dans la semaine précédente

Or, traitements efficaces en prévention II^a (grade A)

Recommandations 2004 et Bonnes pratiques HAS 2007

→ Bilan rapide

OBJECTIF : RÉALISER UN PREMIER BILAN ÉTIOLOGIQUE DE L'AIT.

- Recherche d'une arythmie cardiaque à l'interrogatoire et à l'auscultation
- Réalisation d'un ECG en urgence¹
- Recherche d'une sténose des vaisseaux du cou en urgence¹ soit par un écho-Doppler (avec si possible *Doppler* transcrânien), soit par angio-RM ou par angioscanner spiralé couplé au scanner cérébral (en fonction des disponibilités)
- Obtention des examens biologiques en urgence¹ (ils comprennent au minimum : hémogramme, VS, CRP, ionogramme, glycémie, créatinémie, temps de *Quick*, TCA)

Enjeux

Pourquoi évaluer le degré de sténose ??

Seul paramètre anatomique
corrélé au risque neurologique




↓

déterminant pour l'indication opératoire

Enjeux

Grandes Études Cliniques

Sténoses Asymptomatiques

- **VACS** (Veterans Affairs Cooperative Study)
- **ACST** (Asymptomatic Carotid Surgery Trial)
- **ACAS** (Endarterectomy for Asymptomatic Carotid Artery Stenosis)

Sténoses Symptomatiques

- **NASCET**
(North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial)
- **ECST**
(Européan Carotid Surgery Trial)

Enjeux

Analyse conjointe des données des études randomisées sur l'endarterectomie des sténoses carotidiennes symptomatiques

Données regroupées selon les critères angiographiques NASCET

ECST

NASCET

VETERANS Affair Trial

Critère principal
bénéfice de l'endarterectomie

6 092 patients à l'inclusion et suivi de 35 000 patients.

Rothwell et al; Carotid Endarterectomy Trialists' Collaboration Lancet 2003

Enjeux

Risque d'accident ischémique homolatéral à 5 ans

	< 30 % n = 1 746	30 à 49 % n = 1 429	40 à 69 % n = 1 549	70 à 99 % n = 1 095	pré-occlusives n = 262
↳ risque	↗	Pas d'effet	Limité	très marqué	Faible
↳ risque absolu	- 2,2 % (p = 0,05)	3,2 % (p = 0,6)	4,6 % (p = 0,04)	16 % (p = 0,001)	5,6 %, (p = 0,19) Mais aucun bénéfice à 5 ans ↳ RA : - 1,7 % (p = 0,9)

↳ risque absolu en faveur de l'endartériectomie chirurgicale conventionnelle pour les sténoses > 70 % en diamètre

Enjeux

Analyse des résultats de l'endartériectomie des sténoses carotidiennes symptomatiques en fonction de sous-groupes cliniques et du délai de la chirurgie

ECST

NASCET

Critère principal Quels facteurs, autres que le degré de sténose, influencent les résultats de la chirurgie ?

Re-définition en sous groupes :

- du risque d'accident ischémique
- du risque péri-opératoire
- du bénéfice global de la chirurgie.

5893 patients, et suivi de 33 000 patients

Rothwell et al
Carotid Endarterectomy Trialists Collaboration
Lancet 2004

Enjeux

Pour les sténoses > 50 %

il faut opérer

9 hommes 36 femmes

5 patients > 75 ans

18 patients < 65 ans

pour prévenir 1 AVC à 5 ans

pour prévenir 1 AVC il faut opérer

5 patients

dans un délai < 15 jours
(à compter du dernier événement neurologique)

125 patients

dans un délai > 4 mois
(à compter du dernier événement neurologique)

Enjeux

Sténoses carotidiennes asymptomatiques

Carotid endarterectomy for asymptomatic carotid stenosis
Cochrane Review, 2001

SC > 60 % Asymptomatique

Conclusion : peu de bénéfice et très faible diminution du risque absolu

Risque AVC homolatéral ≈ 2 %
Après chirurgie risque ≈ 1 %

Morbi-mortalité opératoire de 1 à 5 %
Taux de récurrence de sténose : 3 à 6 %

→ 50 patients à traiter pour prévenir un AVC à 3 - 5 ans

Enjeux

Indications opératoires

<p style="text-align: center;">Formelles</p> <p>sténoses > 70 % NASCET (AIT ou AVC léger) sous réserve du risque opératoire grade 1A</p>	<p style="text-align: center;">Admises</p> <p>50 à 70 %</p> <p style="text-align: center;">TCMM</p> <p>< 3 % sténose asymptomatique < 7,5 % sténose symptomatique (Grade 1A)</p>	<p>bénéfice si :</p> <p>H > 75 ans AVC < 3 mois FDR +++</p>
<p style="text-align: center;">Non admises</p> <p>SC < 50 % Effet délétère si < 30 % Sub-occlusion</p>		

Enjeux

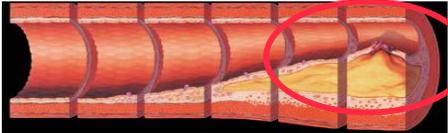
HAS
HAUTE AUTORITÉ DE SANTÉ

Mars 2008

Prévention vasculaire après un infarctus cérébral (IC) ou un accident ischémique transitoire (AIT)

- Sténose comprise entre 70 et 99 % (critères NASCET) : endartériectomie carotidienne chez les patients avec un IC non invalidant ou AIT de moins de 6 mois
- Sténose comprise entre 50 et 69 % : endartériectomie carotidienne envisageable avec prise en considération de certaines caractéristiques du patient et de l'accident ischémique cérébral. Le bénéfice est plus important chez les hommes, chez les patients ≥ 75 ans et, en cas d'AIT, chez les patients avec symptômes hémisphériques
- Sténose pseudo-occlusive avec collapsus de la carotide interne : bénéfice de l'endartériectomie incertain
- Sténose < 50 % : pas d'indication chirurgicale
- La chirurgie carotidienne doit être réalisée par un chirurgien expérimenté. Le bénéfice de l'endartériectomie est d'autant plus important que le geste est réalisé précocement
- L'angioplastie carotidienne avec stent ne peut être proposée qu'en consultation pluridisciplinaire aux patients à haut risque de récurrence sous traitement médical et en cas de comorbidité majeure contre-indiquant la chirurgie carotidienne ou de sténose cervicale haute non accessible à la chirurgie

Évaluation des Sténoses Carotidiennes Enjeux et Méthodes



Artériographie sélective des troncs supra-aortiques

Gold standard

≥ 2 incidences
% \emptyset

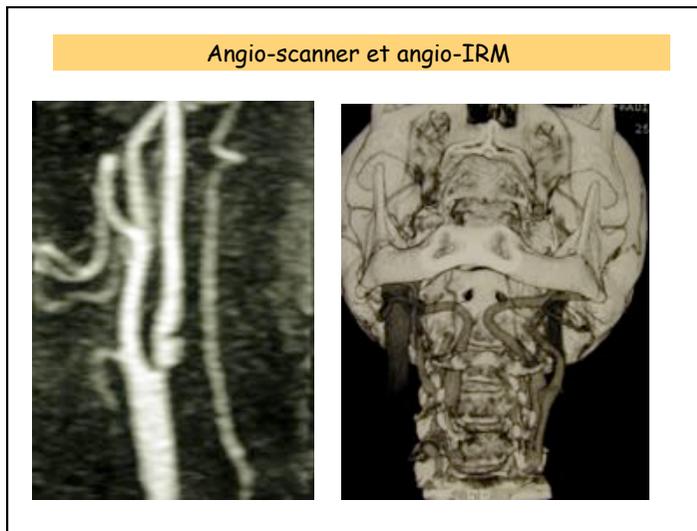
mais ...

... invasif
risque d'embolisation

Étude ACAS

Taux de complications neurologiques
liées à l'artériographie : 1,2 %
soit près de la moitié du TCMM





Critères NASCET / ECST

		% sténose	
		NASCET	ECST
CC		30	65
NASCET	ECST	40	70
$\frac{A - B}{A}$	$\frac{C - B}{C}$	50	75
A	C	60	80
		70	85
		80	91
		90	97

NASCET : North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial
 ECST : European Carotid Surgery Trial

Place de l'ultrasonographie dans l'évaluation des sténoses carotidiennes

1^{ère} intention après l'imagerie cérébrale
SANS RETARDER LE TRAITEMENT

Intérêt du Doppler couleur
 codage : échelle couleur → vitesse et direction du flux
 → repérage zones d'accélération
 → « moule » de la lumière résiduelle

Doppler pulsé

Intérêt

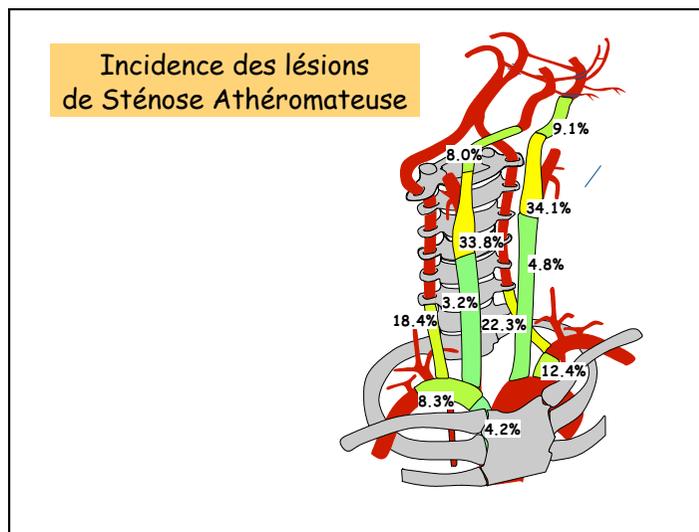
analyse morphologique (planimétrie) ← → analyse hémodynamique

Méthode

Impératifs techniques

- Haute résolution dans toutes les modalités échographiques et Doppler
- Fréquences à adapter en fonction du sujet
- Voies d'abord et incidences multiples
- Examen complet bilatéral
- Etude des lésions, de leur retentissement d'amont, d'aval et des voies de suppléance

→ technique d'examen irréprochable



Echo-Doppler

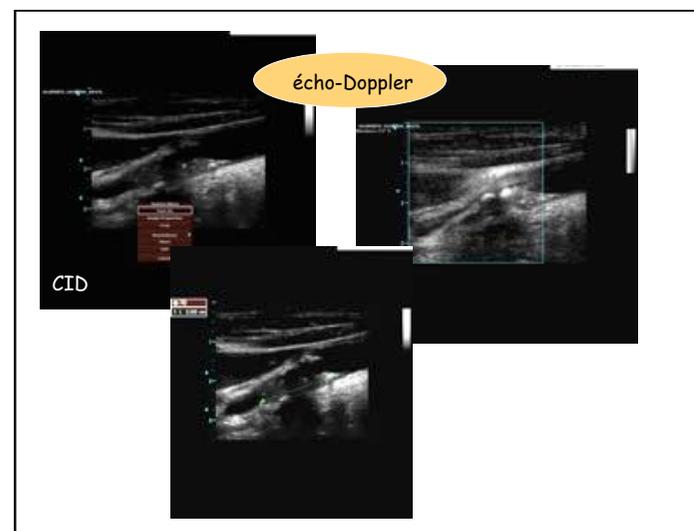
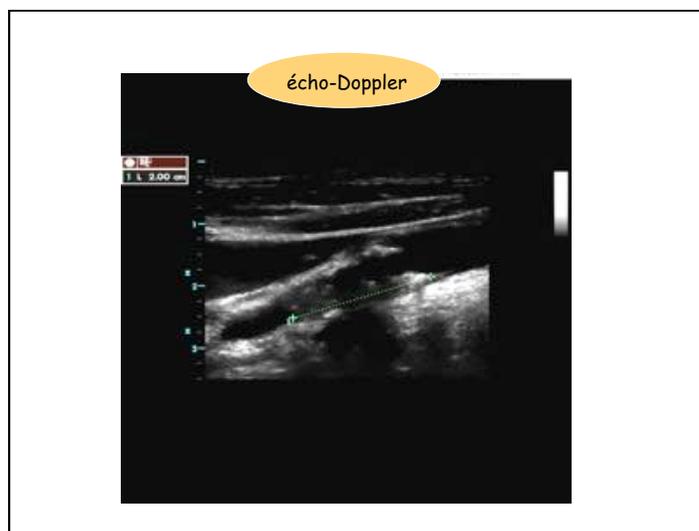
Données morphologiques

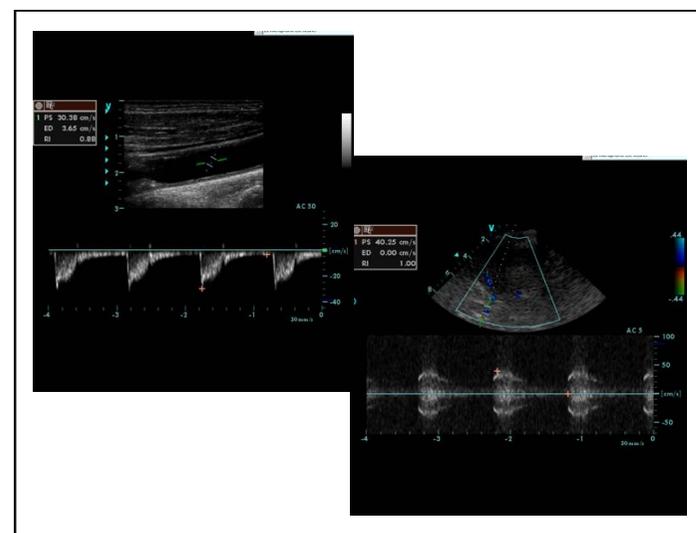
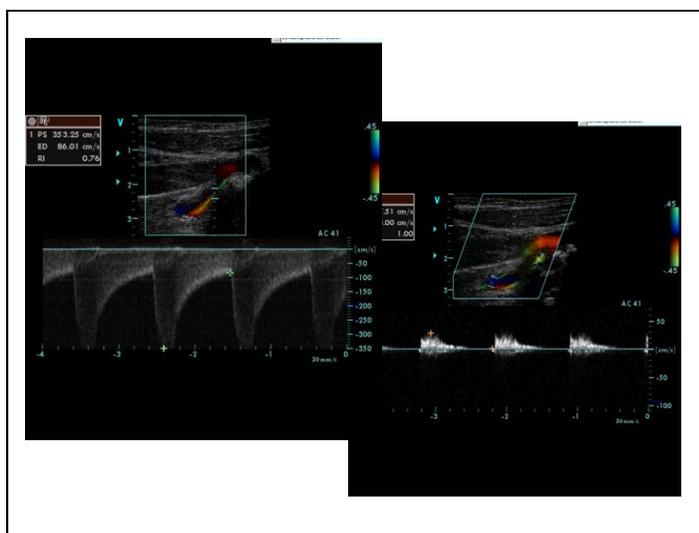
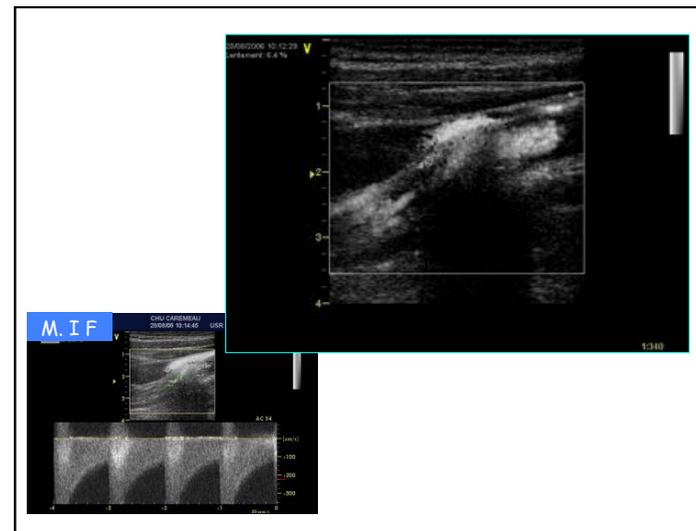
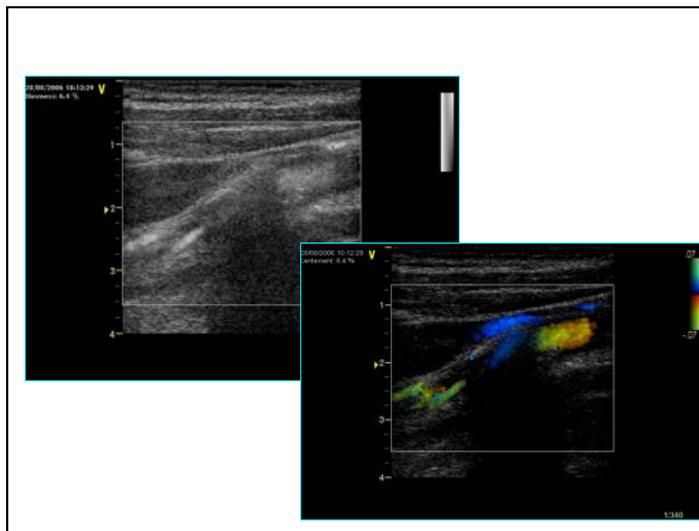
Données hémodynamiques

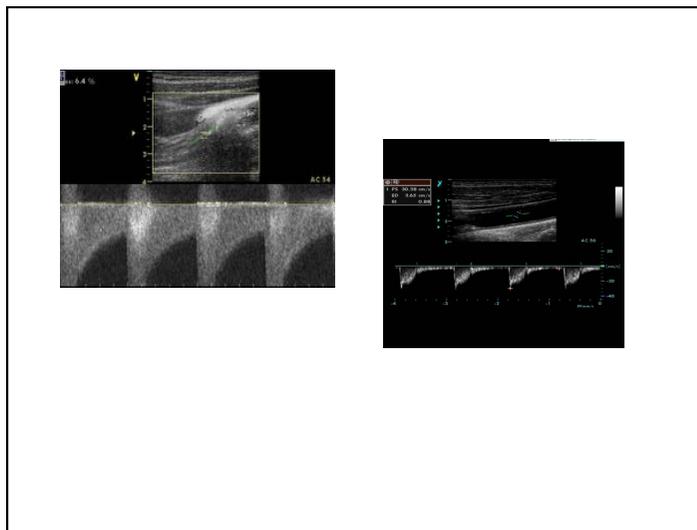
Caractérisation de la plaque

- Homogène / hétérogène
- Hypo- iso- hyper-échogène
- Surface lisse ou non
- Ulcération

Lumière résiduelle







Caractérisation de la plaque

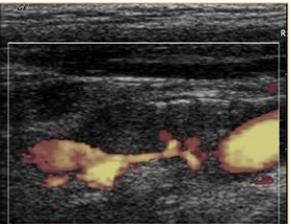
Plaque ulcérée
> 2 mm profondeur et longueur
Lowett 2004

Plaque à surface lisse
mais contenu hétérogène
Langsfeld 1989, Aburhama 2002

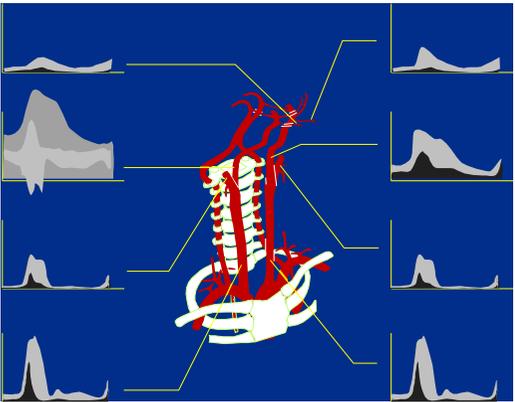
Plaque anéchogène
RR d'AVC x 2,8 vs iso- ou hyper-échogène
indépendamment du % de sténose
Polak 1995

Évaluation fonctionnelle de la sténose Méthode

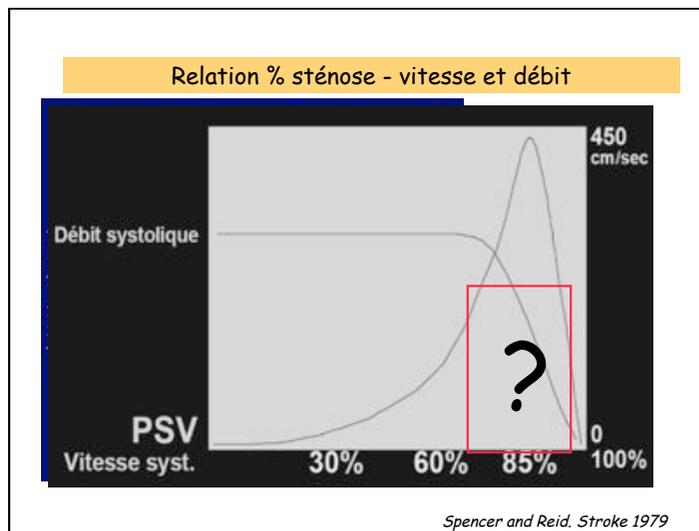
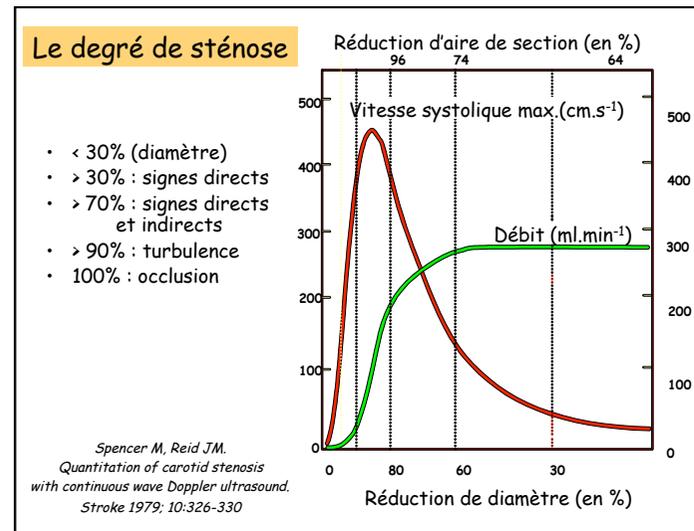
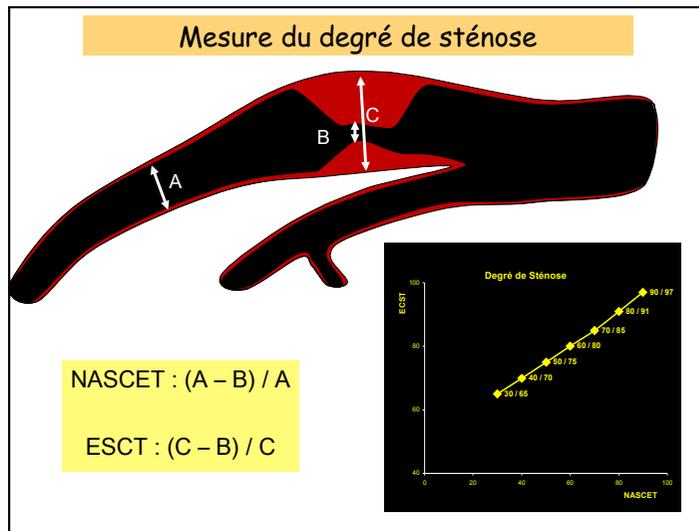
- **Signes directs :**
 - Accélération circulatoire
 - Altération de l'enveloppe supérieure
 - Regroupement de l'énergie vers les basses fréquences (dispersion spectrale)
 - Turbulence (basses fréquences positives et négative)
- **Signes d'amont et d'aval :**
 - Selon importance de la sténose
 - Selon réseau collatéral
- **Retentissement en aval :**
 - Carotide interne haute
 - Siphon Carotidien
 - Artère Ophtalmique
 - Artère Cérébrale Moyenne
 - Collatéralité (artères communicantes)



Sténoses Carotidiennes : évaluation fonctionnelle



Sténose de la Carotide Interne Droite



- ### Evaluation du degré de sténose
- **Critères majeurs :**
 - Vitesse Systolique Maximale / Sténose
 - Plaque (mode B ± Doppler couleur ou énergie)
 - **Critères subsidiaires :**
 - Rapport de vitesses systoliques
 - Vitesse télé-diastolique
 - **Stratification :**
 - < 50%
 - 50 - 69%
 - ≥ 70%
 - Occlusion
- Grant EG et al. Radiology 2003;229:340-346

Sténose Ø	PSV cm/sec	SVR	EDV cm/sec	DVR
< 40 %	< 110	< 1,5	< 40	< 2,5
50 %	> 120	> 1,5	< 40	> 2,5
70 %	> 200	> 3,5	> 100	> 3,3
≈ 80 %	> 250	> 4	> 130	> 5,5
> 90 %	variable	variable	variable	

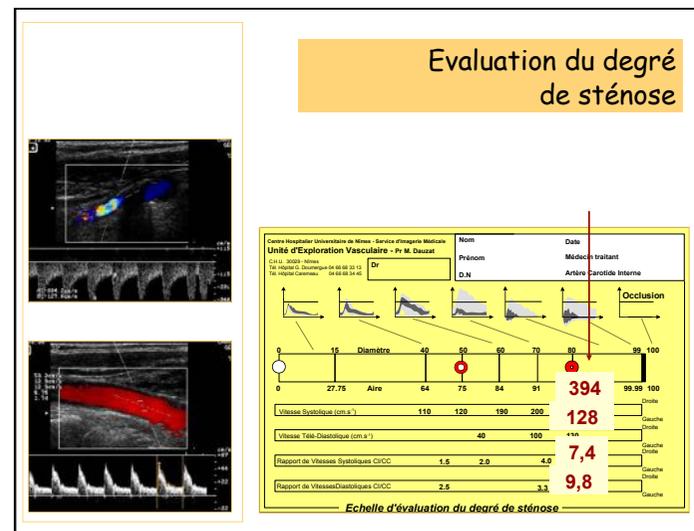
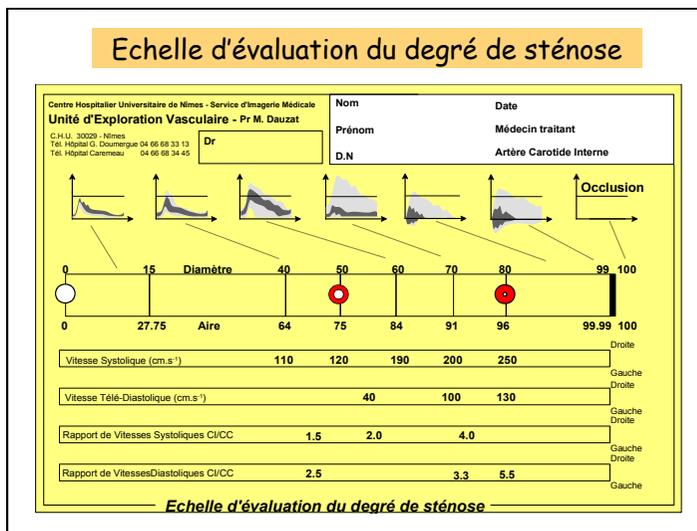
Sténose diamètre	PSV cm/sec	SVR	EDV cm/sec	DVR
< 40%	< 110	< 1.8	< 40	< 2.4
40-59%	< 130	< 1.8	40	< 2.4
60-79%	> 130	> 1.8	> 40	> 2.4
80-99%	> 250	> 3.7	> 100	> 5.5

Bluth E. et al. (Radiographics may 1988; 8(3)). Carotid duplex sonography: a multicenter recommendation for standardized imaging and doppler criteria

Evaluation du degré de sténose

	Plaque	Vitesse Systolique	V _{CI} /V _{CC}	Vitesse Diastolique
Normal	-	< 125 cm/s <i>Ss 98% Sp 88%</i>	< 2.0 <i>Ss 80% Sp 88%</i>	< 40 cm/s
< 50%	+	125 - 230 cm/s	2.0 - 4.0	40 - 100 cm/s
50 - 69%		230 cm/s <i>Ss 90% Sp 85%</i>	> 4	100 cm/s <i>Ss 82% Sp 90%</i>
≥ 70%			?	
Pré-Occl.				
Occlusion	++	0		0

Grant EG et al. Consensus Conference - Radiology 2003;229:340-346



Interprétation échoDoppler

Concordance

Critères
vélocimétriques

Critères
planimétriques

Hémodynamiquement parlant,
sténose **significative** au-delà de **50-70%** de réduction de calibre

On parle habituellement de :

- **plaque non sténosante** pour les lésions réduisant de moins de 50% le diamètre luminal
- **sténose** pour les lésions réduisant de plus de 50% le diamètre luminal

Le retentissement en aval

- Carotide interne haute
- Siphon Carotidien
- Artère Ophthalmique
- Artère Cérébrale Moyenne
- Collatéralité (artères communicantes)

Le retentissement en aval

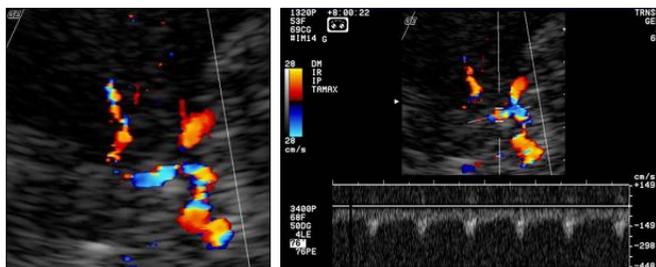
(A) Sténose serrée de la carotide interne

Le retentissement en aval

(B) Tracé amorti sur l'artère carotide interne haute

(C) Tracé amorti sur l'artère Cérébrale Moyenne

Le retentissement en aval

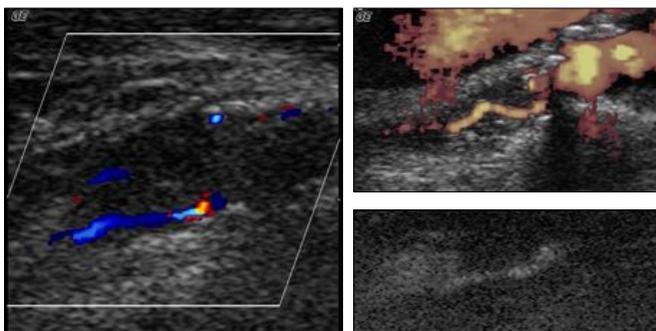


(D) Circulation collatérale par l'artère communicante postérieure

Pièges et Limites

- **Angle d'incidence**
 - Angle inapproprié
 - Mesure erronée
 - Ombre acoustique
 - Ambiguïté spectrale
- **Mesure en mode Doppler couleur ou énergie**
 - Résolution spatiale médiocre
 - Dépendance du gain (seuil d'affichage)
 - Images construites
- **Répartition spatiale de la sténose**
 - Sténoses étagées
 - Sténose très longue
- **Mesures en mode B (coupe transversale)**
 - Artéfacts de tangence
 - Coupe oblique
 - Sténoses complexes
 - Ombre acoustique

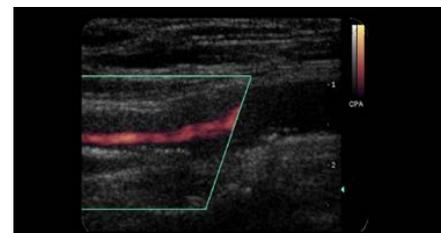
Longueur de la sténose



Sténose longue hyper-serrée

Pièges et Limites

Critères validés pour les sténoses courtes ...



Longueur de la sténose

Sténose courte - Jet long

Pièges et Limites

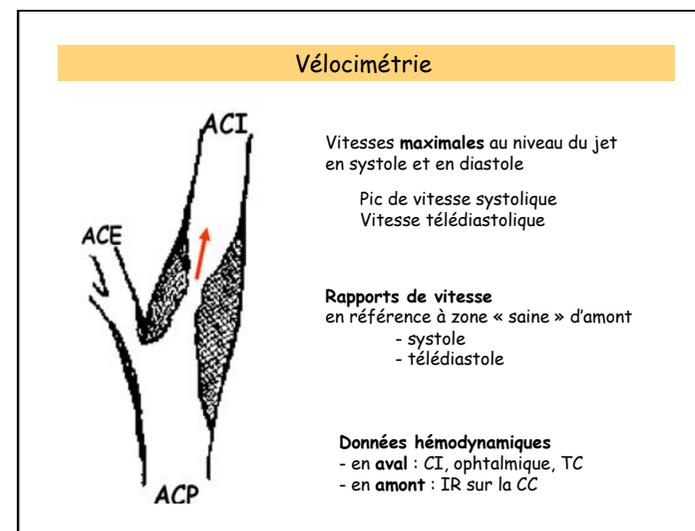
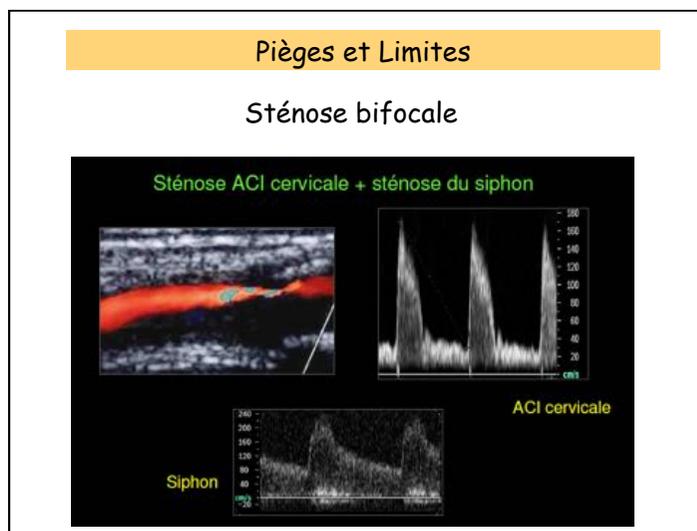
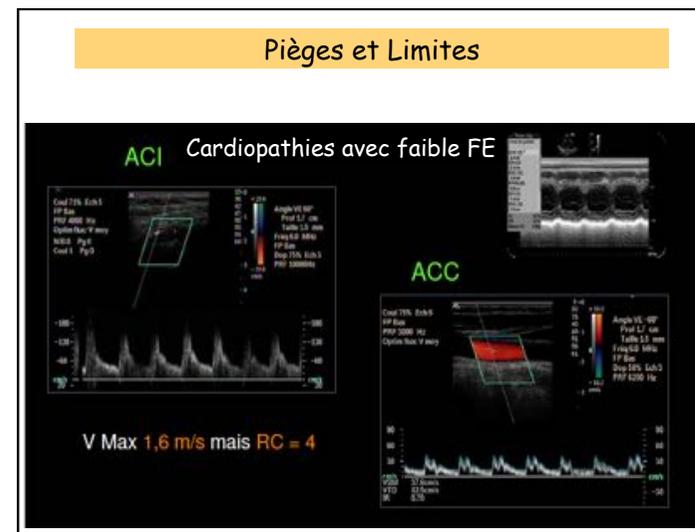
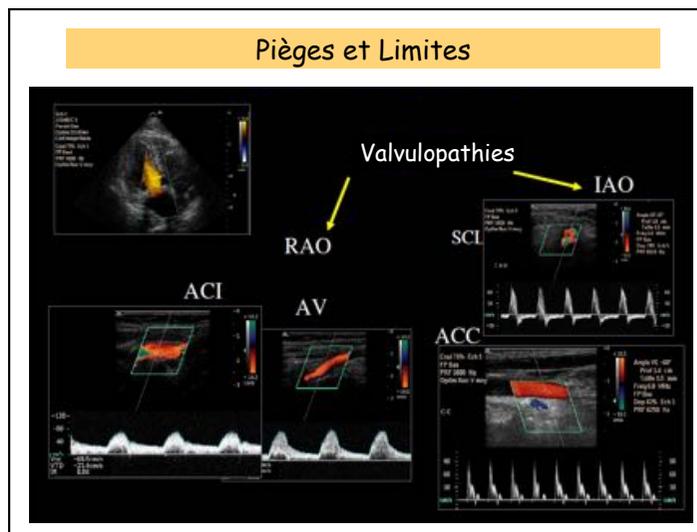
Lésion hétérogène complexe

Pièges et Limites

Sténose à l'origine de la Carotide Externe

Pièges et Limites

Sténose de la carotide externe chez un patient porteur d'une occlusion de la carotide interne



Pièges et Limites : Importance de la correction d'angle

But : comparer les VSM obtenues
 - avec une correction d'angle variable entre 40 et 60°
 - et un angle fixe à 60°

angle	VSM (n= 51)
ajusté : 46° ± 9°	181 cm/sec ± 55
fixe à 60°	261 cm/sec ± 96

Pour 15 patients le degré de sténose passe de 50-69% à 70-99%

→ correction d'angle idéale réalisée entre :
 - la direction du flux (couleur) et le module de correction d'angle
 - et non avec l'axe de l'artère et ce module.

Pas de correction fixe à 60°

*Logason et al.
 The importance of Doppler Angle of Insonation on Differentiation
 Between 50/69% and 70/99% Carotid Artery Stenosis.
 Eur J Vasc Endovasc Surg 2001;28:311-3*

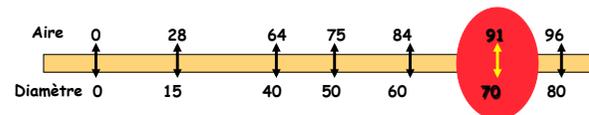
Planimétrie



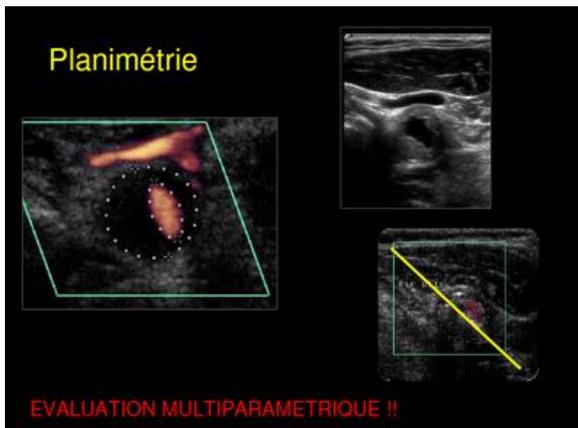
Diamètre antéro-postérieur intima-intima
 • du bulbe,
 • de l'ACI post-sténotique

Petit diamètre de la sténose ou Section de la lumière St.

Degré de sténose exprimé en rapports de
 • diamètres (NASCET, ECST)
 • sections (façon NASCET / ECST)



Planimétrie



EVALUATION MULTIPARAMETRIQUE !!

Validité de l'écho-Doppler ?

Évaluation préopératoire : comparaison ARM et écho-Doppler avec l'angiographie numérisée par voie artérielle

étude prospective double aveugle

Critère principal → concordance ARM Gadolinium et écho-Doppler Pulsé couleur vs Angiographie numérisée

71 SC
39 patients symptomatiques

NASCET

0 à 29 %
30 à 69 %
70 à 99 %
occlusion

Sténoses ≥ 70 %	Sensibilité	Spécificité
ARM	94,9 %	79,1%
Echo-Doppler	92,9 %	81,9%
Echo-Doppler + ARM	100 %	81,4%

Fiabilité Echo-Doppler et ARM comparables
Couple ED + ARM → sensibilité 100 %
à préférer en bilan pré-op
Angiographie si discordance

Borisch et al. Am J Neuroradiol 2003

Taux de concordance de 3 techniques d'imagerie non invasives pour quantifier le degré de sténose carotidienne en pratique courante - étude multicentrique CARMEDAS

EDPC

ARM

ASH

critères NASCET

Résultats des 3 examens non invasifs comparés
- individuellement
- et couplés entre eux
par rapport aux constatations opératoires

96 carotides opérées :
- 29 carotides symptomatiques
- 67 carotides asymptomatiques

Nonent M, Serfaty JM, Nighoghossian N et al. Stroke 2004 ; 35 : 682-686

Sténoses
asymptomatiques
≥ 60 %

Sténoses
symptomatiques
≥ 70 %

Concordance

couple EDC-ARM	92,53 %
couple EDC-ASH	79,10 %
	<i>p < 0,05</i>

Discordances

Angio-Scanner : 11 fois
ARM : 3 fois
EDPC : 1 fois

Pas de différence entre les couples

EDPC-ARM
EDC-ASH
ARM-ASH

Évaluation la plus pertinente du degré de sténose par rapport aux constatations opératoires est faite par l'écho-Doppler

écho-Doppler doit être **expert**
méthodologie stricte appliquant des critères validés

Detection of Internal Carotid Artery Stenosis with Duplex Velocity Criteria Using Receiver Operating Characteristic Analysis

Hoe-Chin Chua,¹MBBS, MRCP (UK), FAMS, Yih-Yian Sitoh,²MBBS, FRCP (UK), FAMS, Arul Earnest,³MSc, N Venkatasubramanian,³MBBS, MD, PhD (Int Med), FAMS

Ann Acad Med Singapore 2007;36:247-52

Comparaison de 7 critères vélocimétriques vs angiographie numérisée

114 sujets symptomatiques

Grant et al. Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US diagnosis - Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference. Radiology 2003;229:340-6.

Jahromi et al. Sensitivity and specificity of color duplex ultrasound measurement in the estimation of internal carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis. J Vasc Surg 2005;41:962-72.

Hunnik et al. Detection and quantitation of carotid artery stenosis: efficacy of various doppler velocity parameters. Am J Roentgenol 1993;160:619-25.

Table 2. Sensitivity, Specificity, Area Under Curve and Accuracy of PSV ICA/PSV CCA and PSV ICA/EDV CCA. Together with Their Cutoff Values to 50%, 60% and 70% Carotid Stenosis

Carotid stenosis (%)	50	60	70
PSV ICA/PSV CCA Cutoff	≥1.5	≥2.6	≥3.1
Sensitivity	100	100	100
Specificity	85	94	91
Area under curve	99	99	99
Accuracy	93	97	95
PSV ICA/EDV CCA Cutoff	≥3.5	≥10.3	≥10.3
Sensitivity	100	100	100
Specificity	58	96	91
Area under curve	99	99	99
Accuracy	79	98	95

CCA: common carotid artery; EDV: end diastolic velocity; ICA: internal carotid artery; PSV: peak systolic velocity

PSV CI/PSV CC
PSV CI/EDV CC
→ aux autres critères

50%
1.3 and 2.5

60%
2 and 3.2-3.5

70%
2.5 and 4.5

« Velocity ratios are superior to other criteria for detecting carotid stenosis »

Variabilité selon le sexe

Comerota AJ et al
Gender differences in blood velocities across carotid stenosis
J Vasc Surg
2004; 40: 939-44

Courbe ROC sensibilité à 90 %

Sténose de 60% pic systolique
160 cm/s H
180 cm/s F

Sténose de 70% pic systolique
185 cm/s H
202 cm/s F

Autres anomalies

Sténose TABC

Voie sus-sternale : signes directs

Occlusion Carotidienne

Signes directs

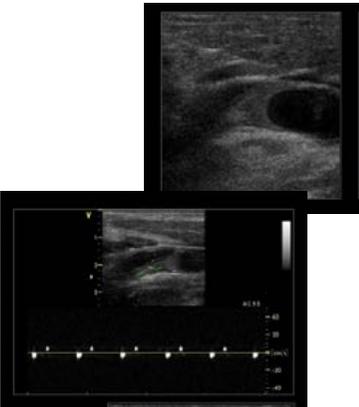
- Lésions ± échogènes
- Flux absent
- pulsatilité radiale = 0
- ↗ pulsatilité axiale

Signes indirects en amont

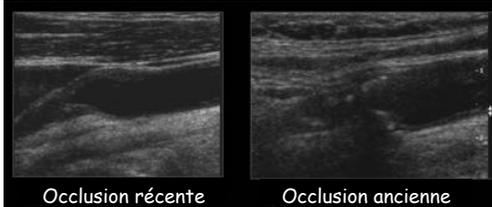
- ↗ IR
- VD ↘↘

Signes indirects en aval

- Ophtalmique
- Cérébrale moyenne
- selon suppléances

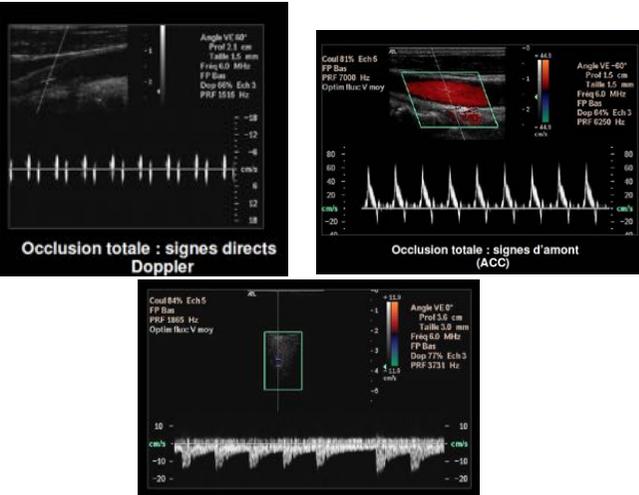


Occlusion Carotidienne



Occlusion récente Occlusion ancienne

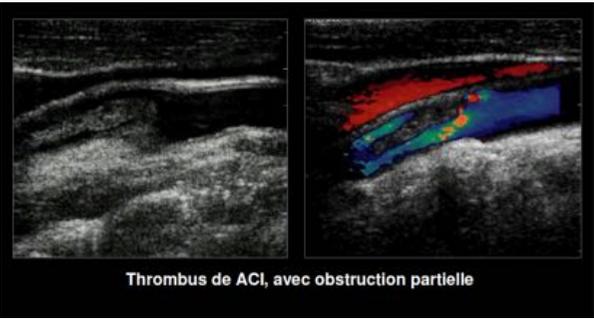
Lésions ± échogènes :
athérome,
thrombus,
dissection



Occlusion totale : signes directs
Doppler

Occlusion totale : signes d'amont
(ACC)

Occlusion totale : signes d'aval

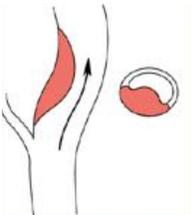


Thrombus de ACI, avec obstruction partielle

Dissection carotidienne

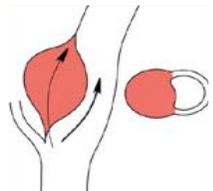
→ Clivage de la paroi

Sous-intimal



→ Sténose et AVC

Sous-advectifiel



↗ Diamètre (anévrisme)
+/- compressif

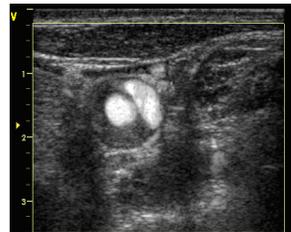
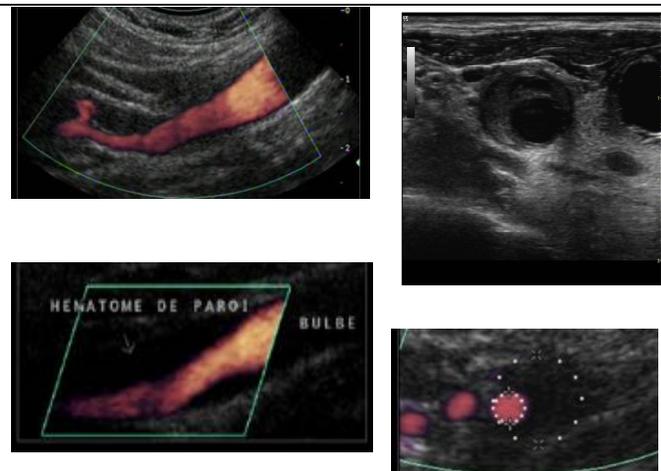
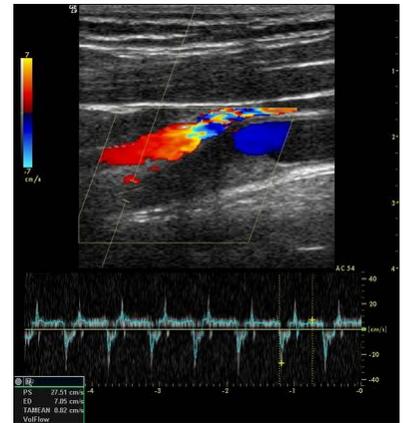
CI >>> vertébrales
20 % localisations multiples
90 % extra-cérébrales

Dissection carotidienne

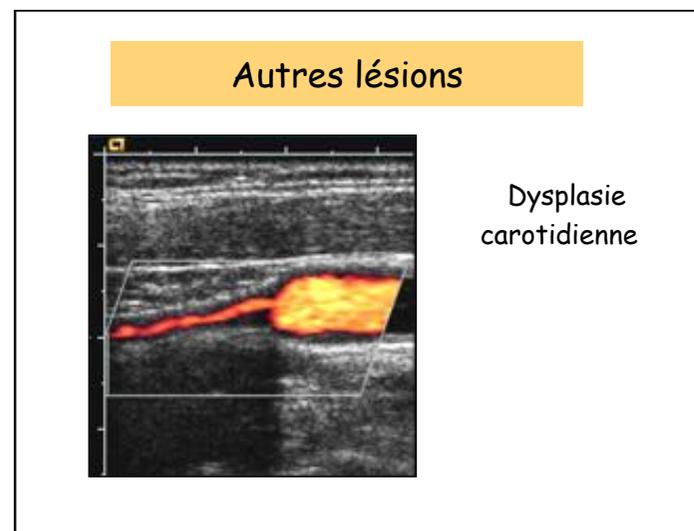
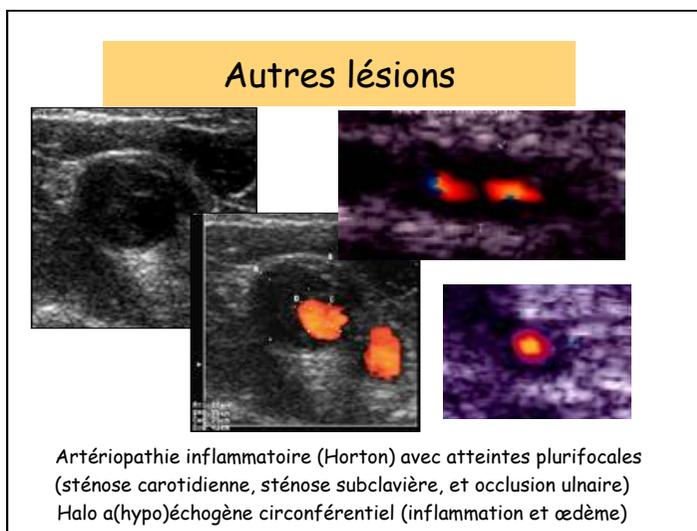
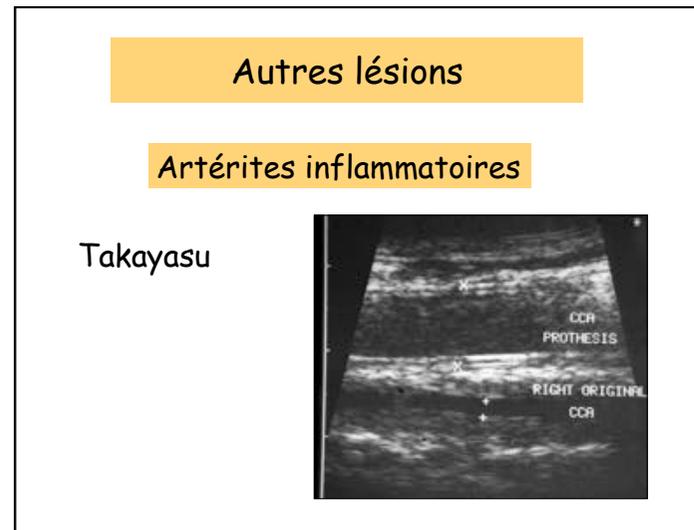
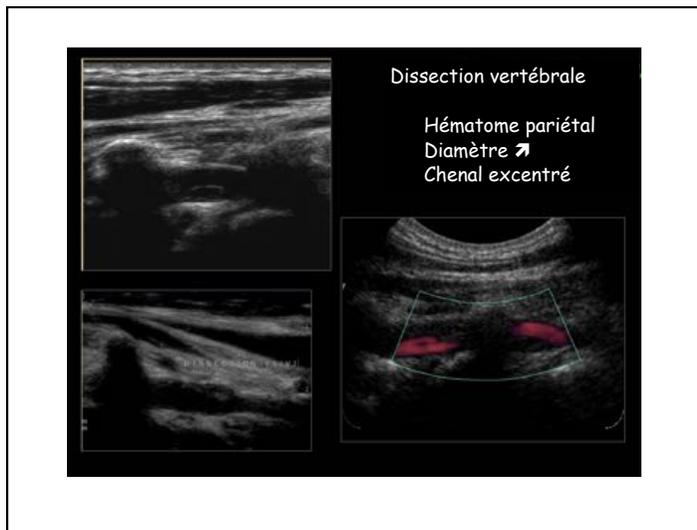
Données morphologiques variables

Évoquée si

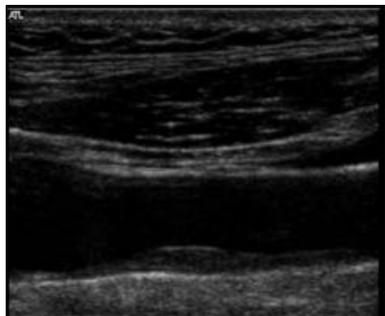
- variation de diamètre
- hématome de paroi
- paroi saine
- topographie sus-bulbaire
- décollement intimal
- double chenal

Dissection de la carotide interne :
flux de type alternant dans le chenal résiduel



Autres lésions

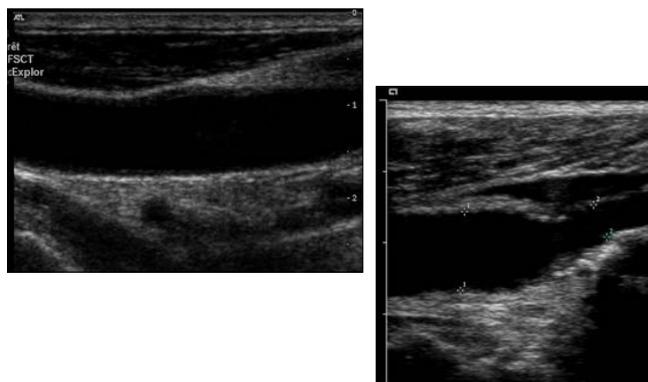


Artérite radique de la carotide commune
(ATCD de radiothérapie pour cancer de l'œsophage)

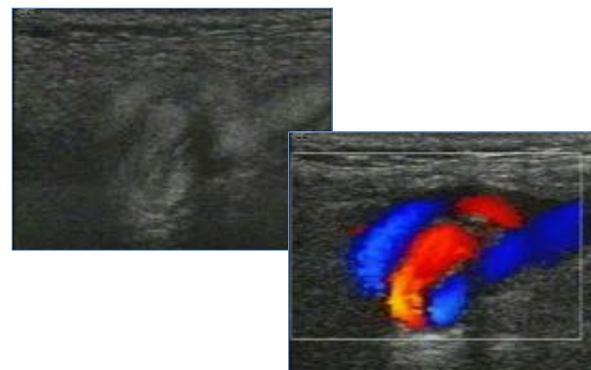
Autres anomalies morphologiques

- Ectasie
- Anévrisme
- Boucle, plicature
- Méga-dolicho artère
- Compression extrinsèque
- Tumeur glomique
- Lésions traumatiques
- Fistules artério-veineuses

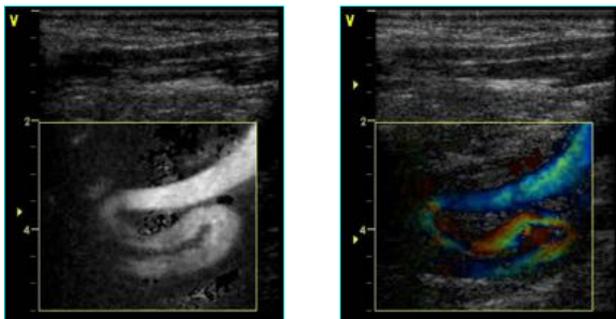
Ectasie de la Carotide Commune



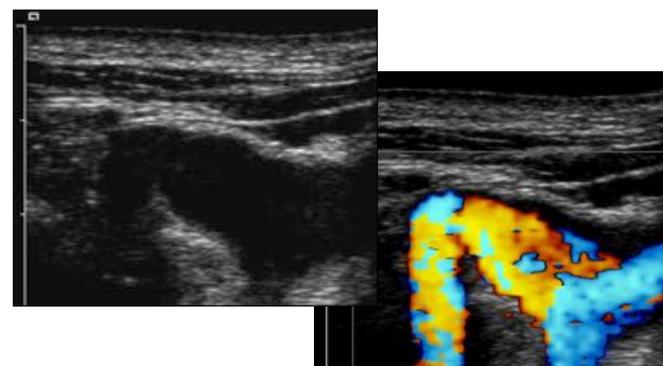
Boucle Complète de la Carotide Interne



Boucle Complète de la Carotide Interne

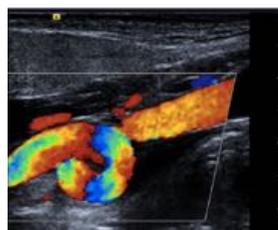


Boucle incomplète de la Carotide Interne

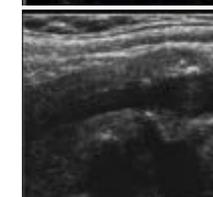
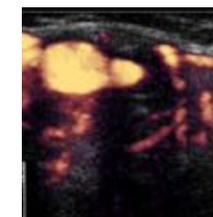
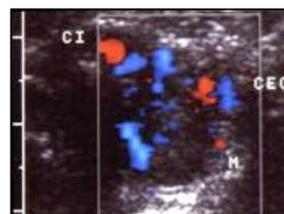


Méga-Dolicho Carotide

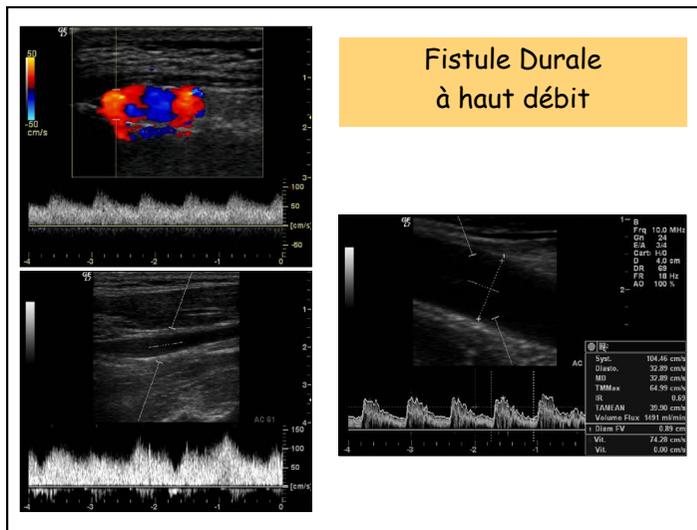
Formes congénitales ou acquises
(HTA, sujet âgé)



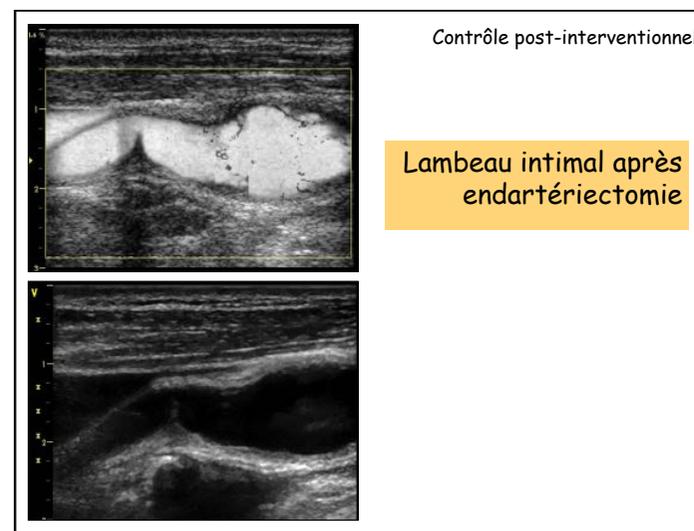
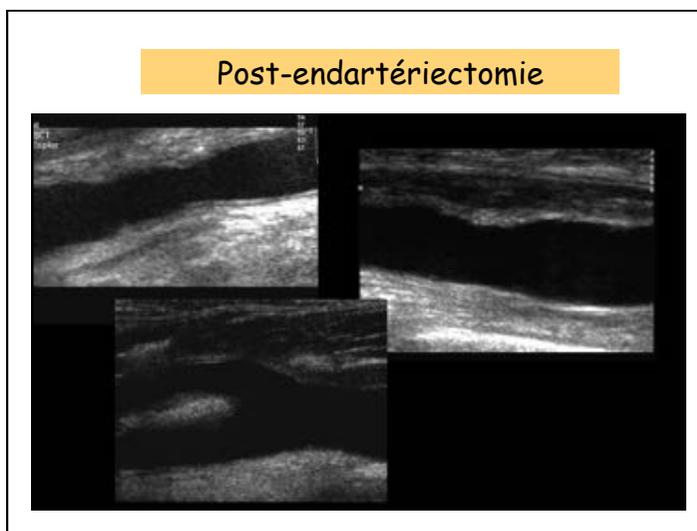
Tumeurs glomiques

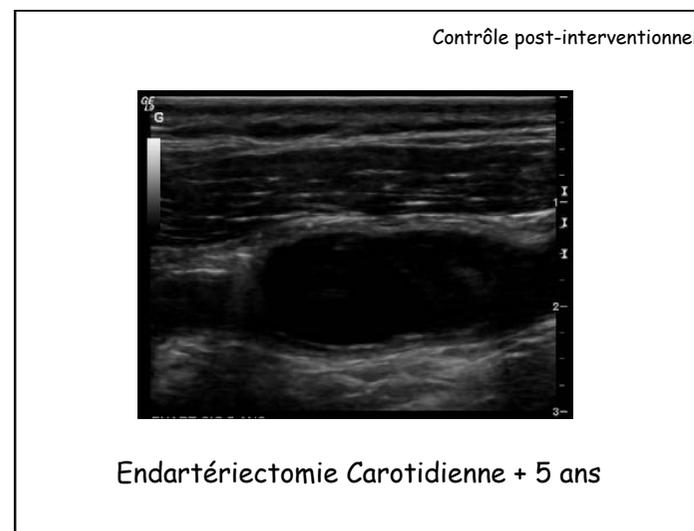
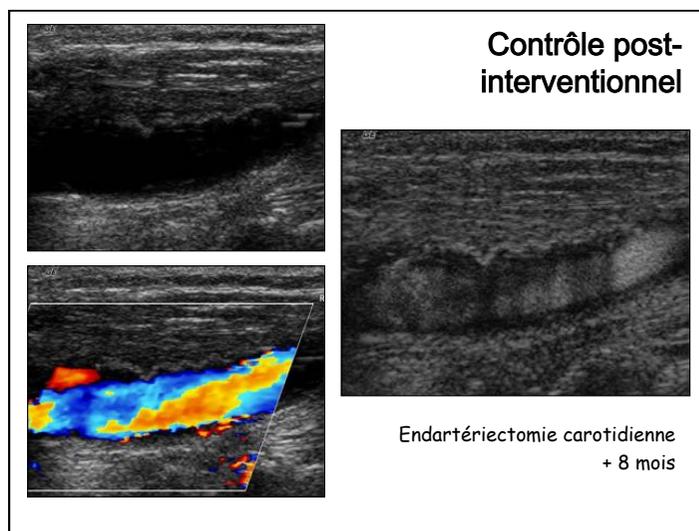
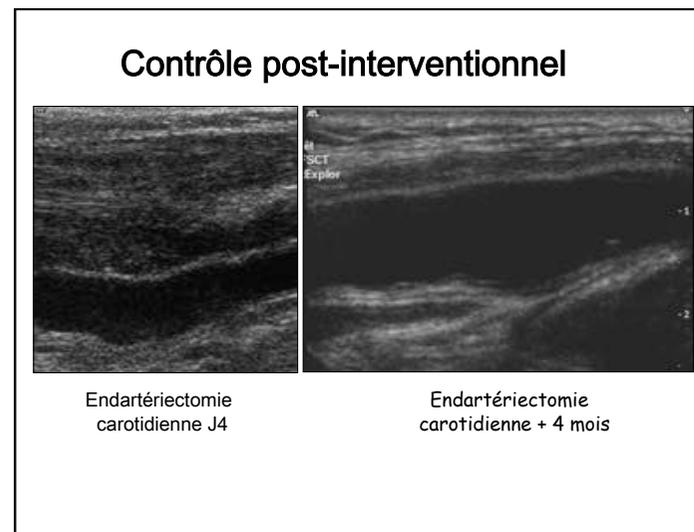
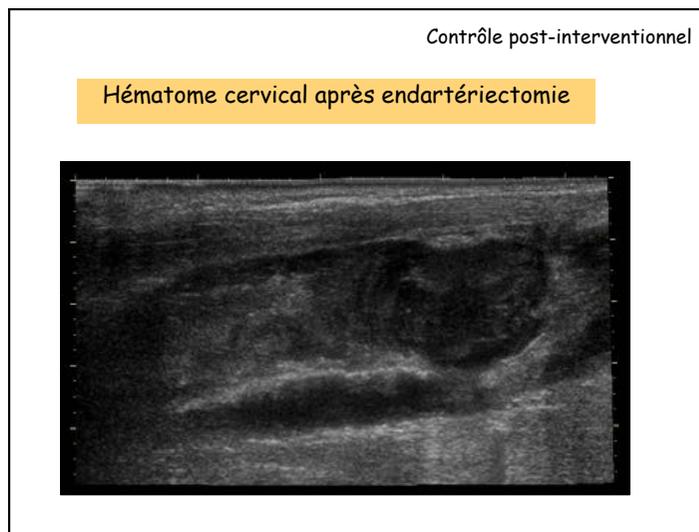


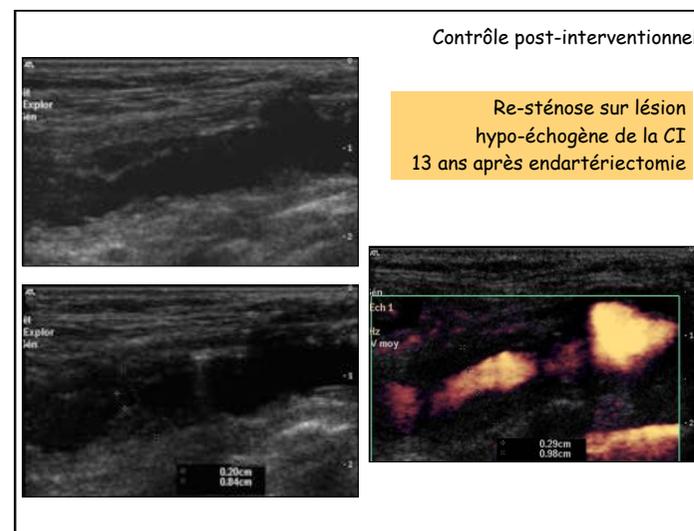
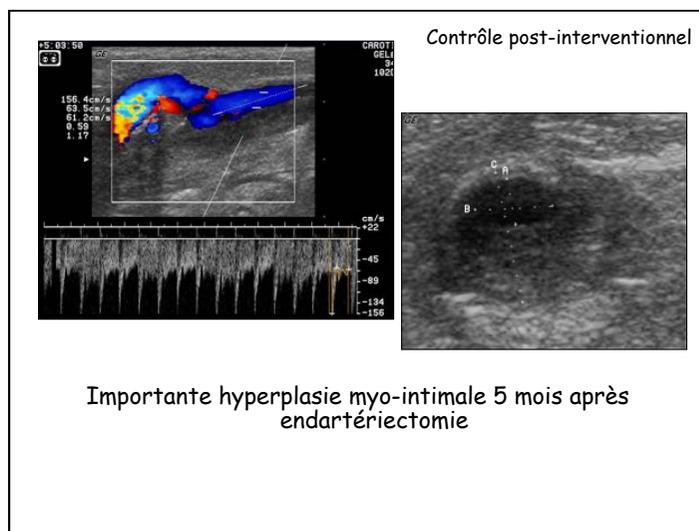
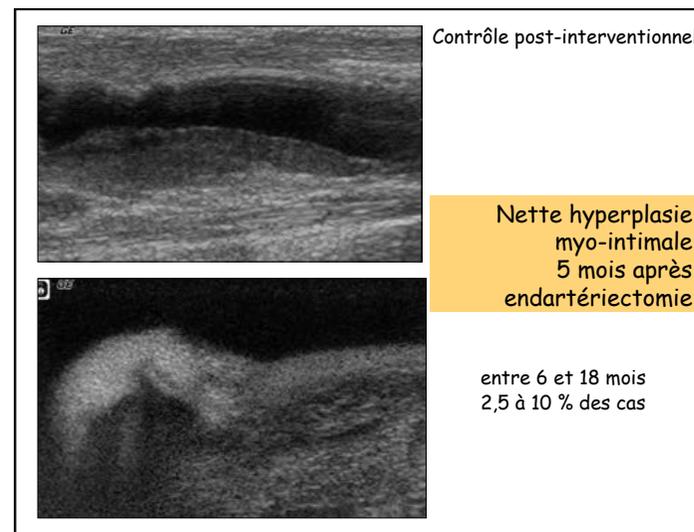
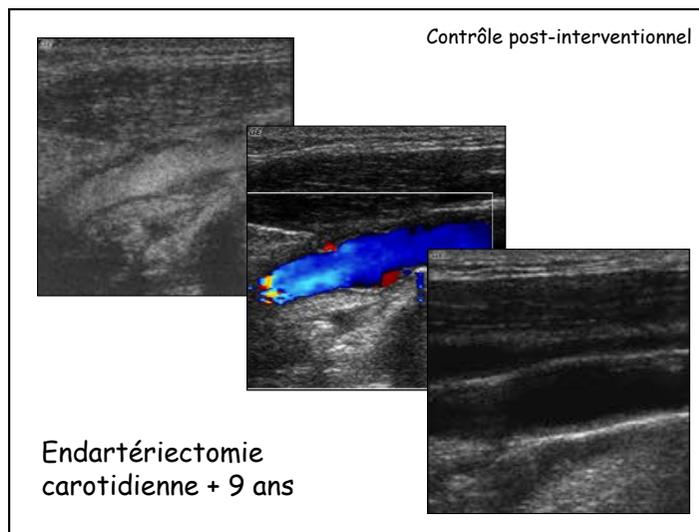
Lésions rares
Souvent bilatérales
Entre CE et CI
Peu échogènes
Vascularisation +++

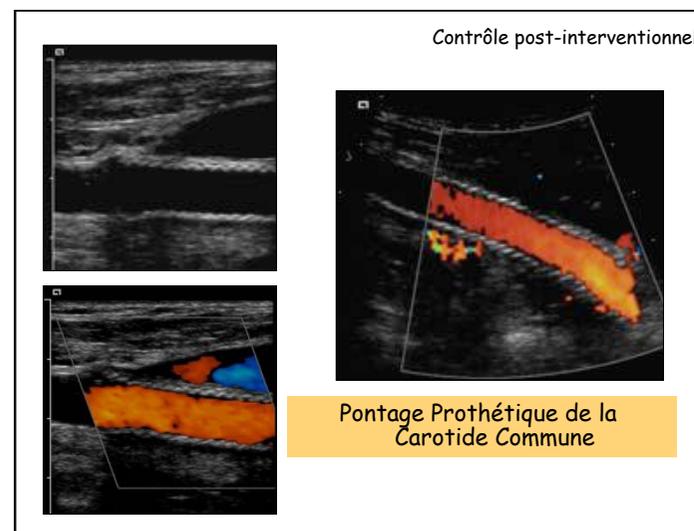
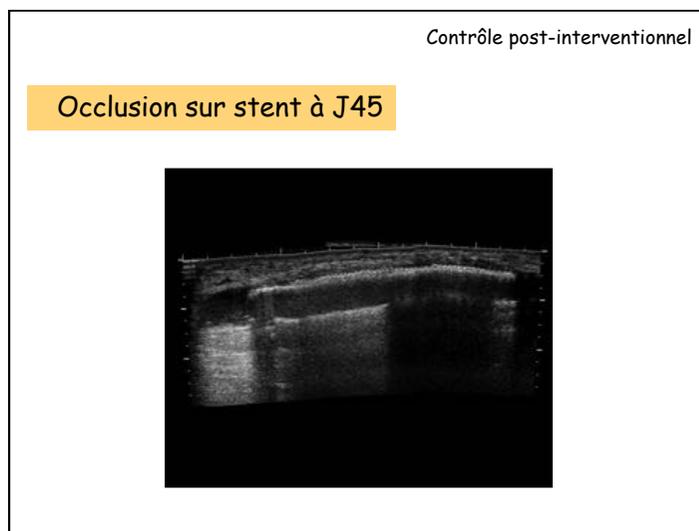
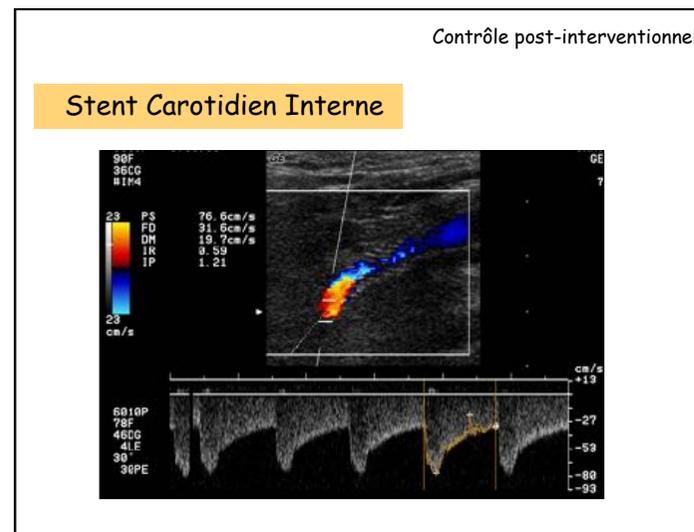
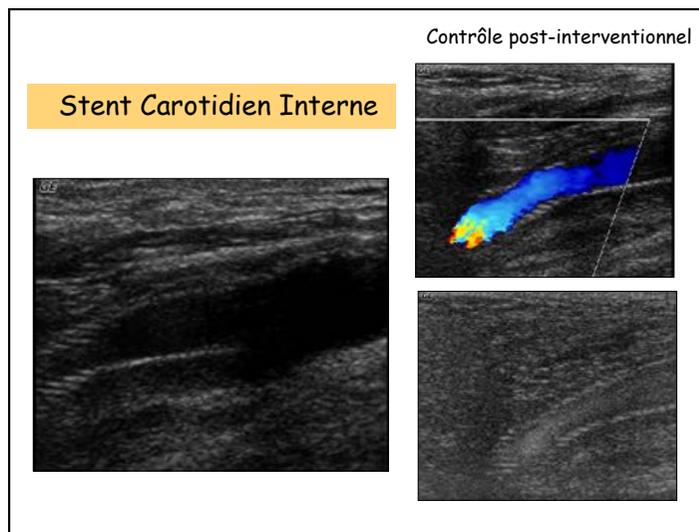


- ### Contrôle post-interventionnel
- Endartériectomie
 - Angioplastie ± stent
 - Ré-implantations, pontages



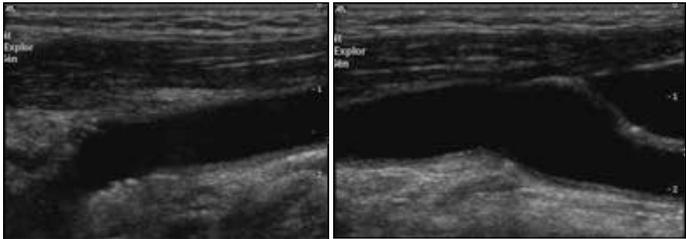






Contrôle post-interventionnel

Pontage Veineux substitué à la carotide interne droite dysplasique



Anastomose distale Anastomose proximale

The image contains two side-by-side B-mode ultrasound scans. The left scan shows the distal anastomosis, and the right scan shows the proximal anastomosis. Both scans show a clear lumen and vessel wall structure. The text 'Explor' is visible in the top left corner of each scan.

« TSA pathologique »

Antonia Pérez-Martin

Service d'Exploration et Médecine Vasculaire
Hôpital Carémeau - CHU de Nîmes

EA 2992
Université de Montpellier



The slide features a yellow header box with the text « TSA pathologique ». Below it, the name Antonia Pérez-Martin is displayed in bold. Her affiliation with the Service d'Exploration et Médecine Vasculaire at Hôpital Carémeau - CHU de Nîmes is listed. The EA 2992 and Université de Montpellier are also mentioned. At the bottom, there are logos for the University of Montpellier 1 Faculty of Medicine, CHU Nîmes, and the University of Montpellier, along with a stylized human figure icon.