

# Plaque carotidienne Critères d'opérabilité et plaques à risques à l'écho-Doppler

Jean Pierre Laroche(1), Pascal Giordana (2)

(1) : Unité de Médecine Vasculaire ,Département de Médecine Interne , CHU Montpellier

(2) : Médecin Vasculaire, CHU Nice



# No conflict of interest with my link\$.

- **Investigateur** : Bayer Healthcare, Daiichi Sankyo, Portola, Astra-Zeneca
- **Membre Board** : Leo Pharma
- **Invitation Congrès**: Bayer Healthcare, Léo Pharma



Browser window showing the website: <https://ultrasonographie-vasculaire.edu.umontpellier.fr/ultrasonographie-vasculaire/angiosonologie-principes-technique-et-methode-dinterpretation/le-prof>

Navigation menu: ACCUEIL, LES BASES, CAS CLINIQUES, DIUS, MASTERS, MERM..., **ULTRASONOGRAPHIE VASCULAIRE**, PATHOLOGIE CARDIOVASCULAIRE



### LE PROFIL D'ÉCOULEMENT SANGUIN



Exploration  
 Antonia Pérez-Martin, Iris Schuster-Beck,  
 Jean-Pierre Laroche, Gudrun Böge,  
 Isabelle Quéré, Michel Dauzat

Université Montpellier 1  
 UFR de Médecine de Montpellier - Nîmes

CHU de Nîmes  
 CHU de Montpellier  
 (France)

**Standards de qualité  
 pour la pratique  
 de l'écho-Doppler cervical  
 en médecine vasculaire**  
 F. Becker, O. Pichot, pour la SFMV  
**2014**

<https://ultrasonographie-vasculaire.edu.umontpellier.fr>

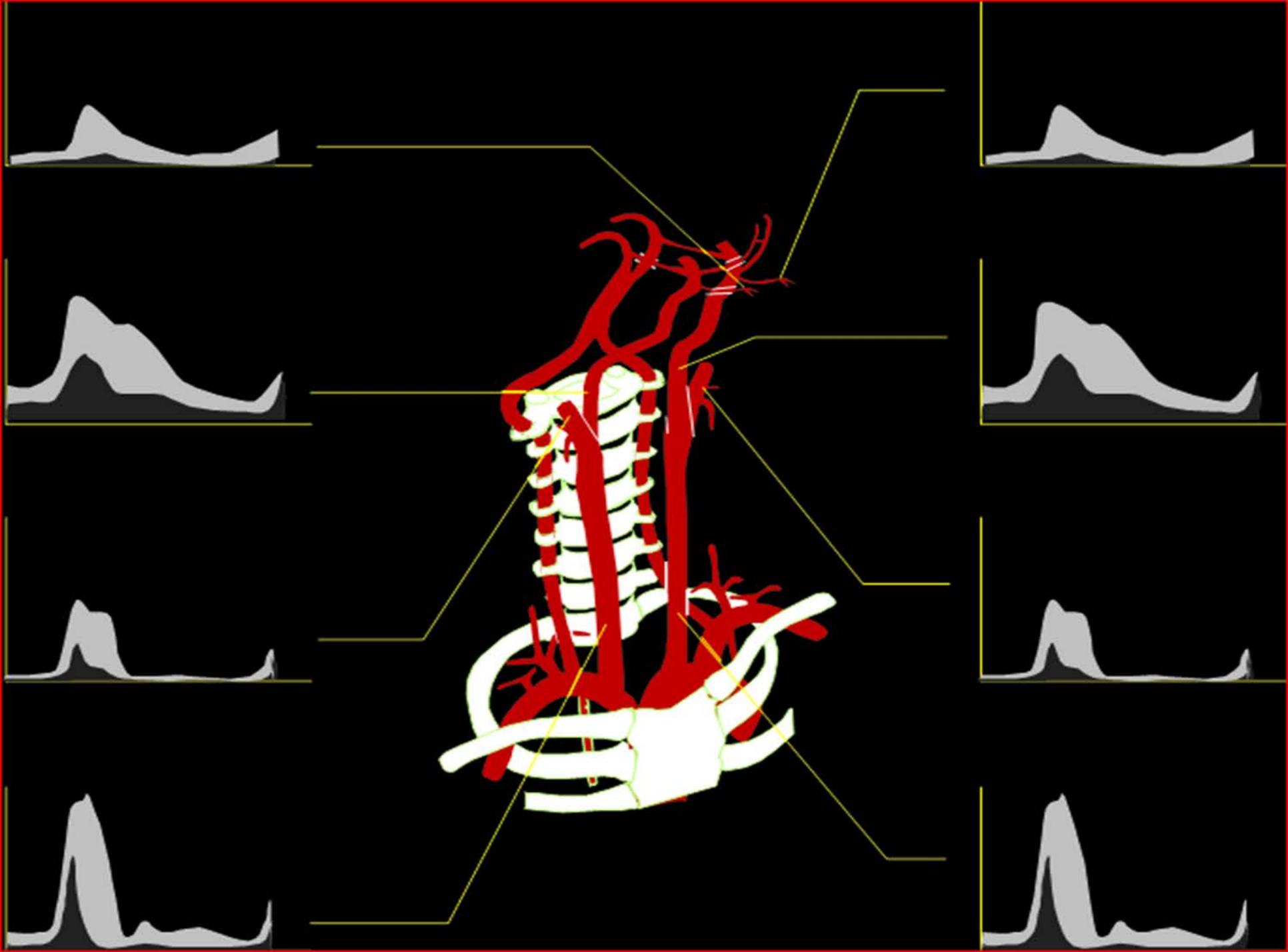
**Recommendation for evaluation of carotid artery stenosis**

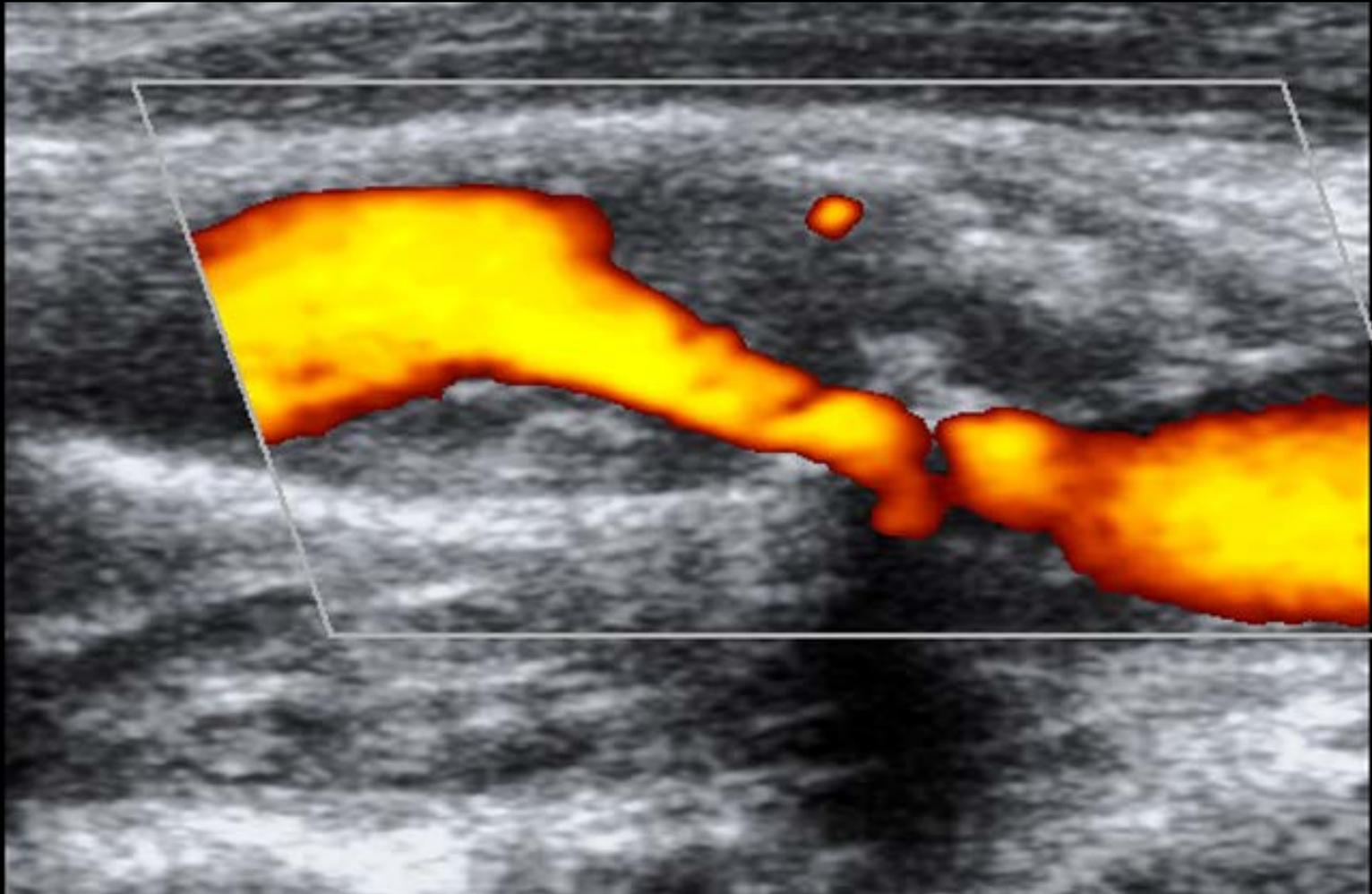
Recommendations	Class <sup>a</sup>	Level <sup>b</sup>	Ref <sup>c</sup>
DUS, CTA, and/or MRA are indicated to evaluate carotid artery stenosis.	I	A	59

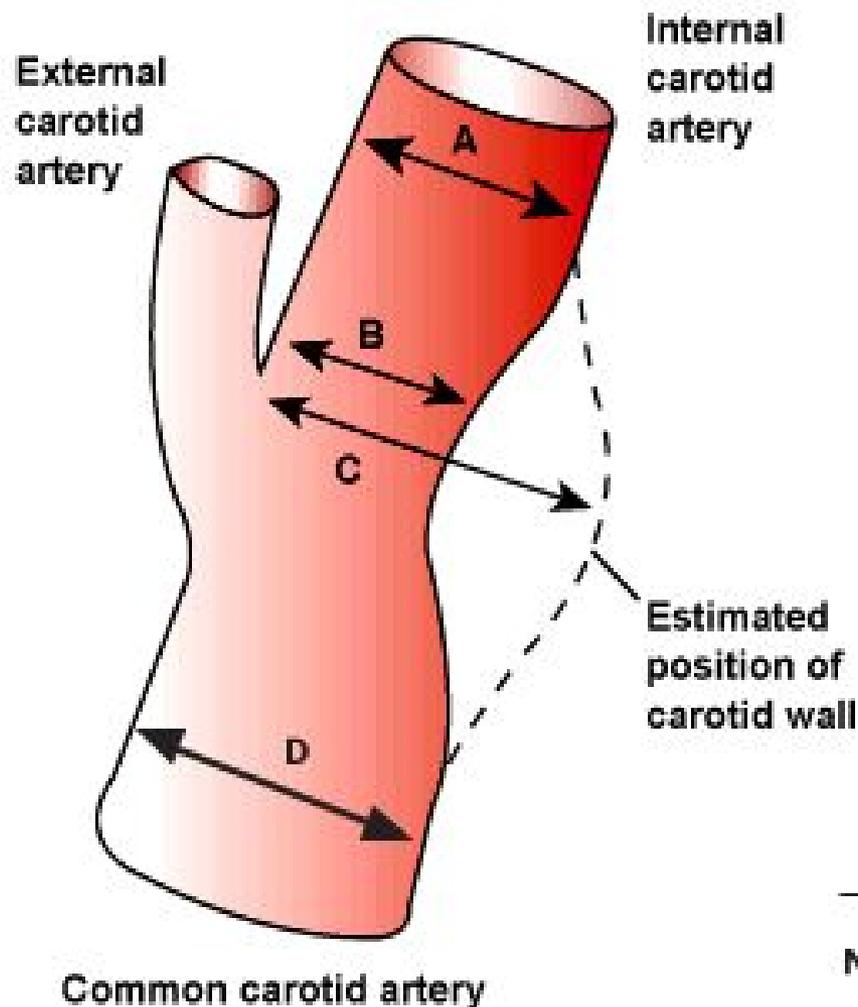


**2011**

**Standards de qualité  
 pour la pratique du Doppler  
 et de l'écho-Doppler  
 transcrâniens** <sup>[1-7]</sup>  
 M. Sprynger, J.-M. Baud, F. Becker, C. Boulon, G. Kercret, J.-N. Poggi,  
 J.-C. Sabay, M. Dauzat, pour la SFMV







NASCET	ECST
30	65
40	70
50	75
60	80
70	85
80	91
90	97

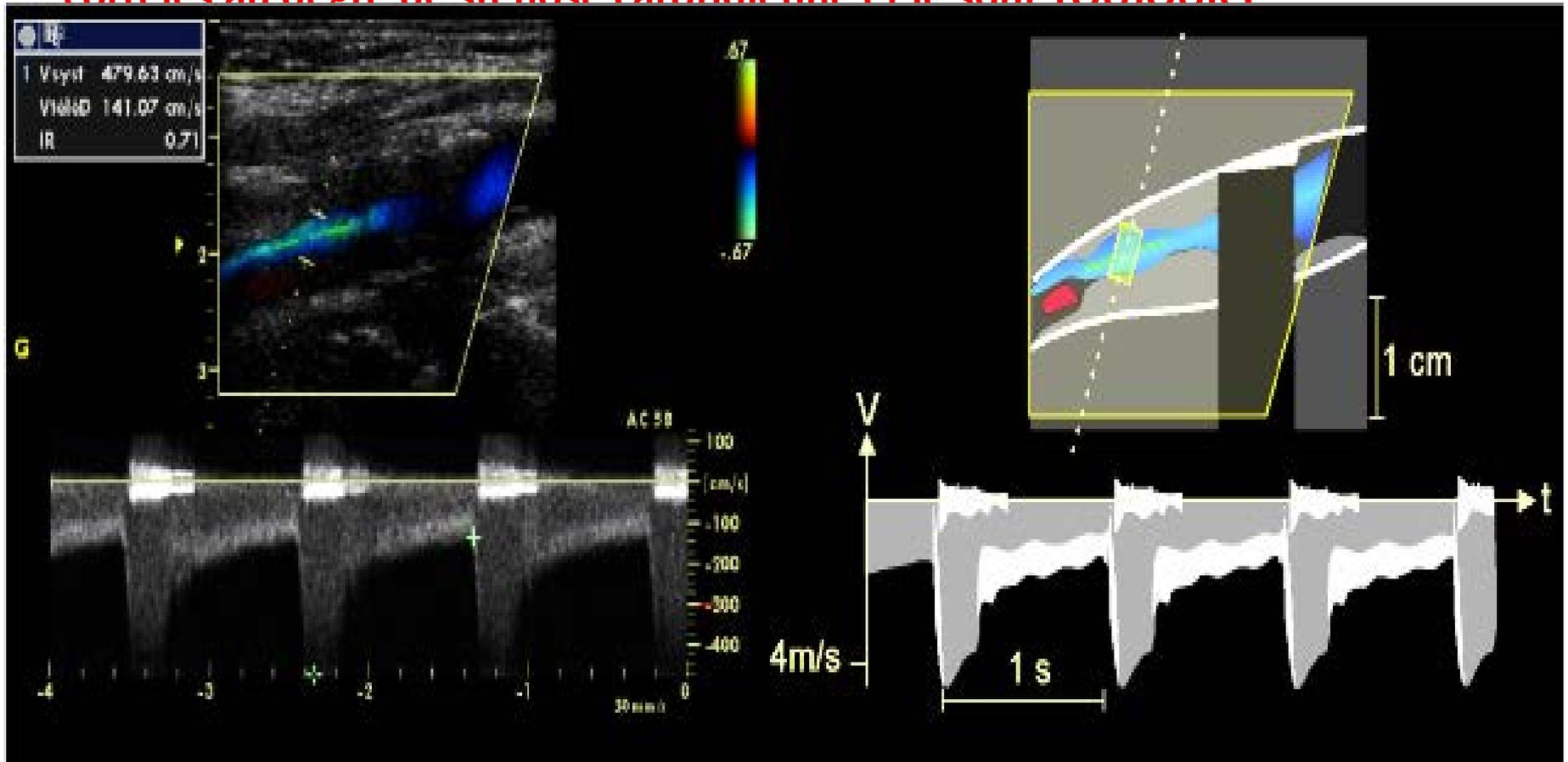
Approximate equivalent degrees of internal carotid artery stenosis used in NASCET and ECST according to recent direct comparison

---

NASCET  $\frac{A - B}{A}$     ECST  $\frac{C - B}{C}$     CC  $\frac{D - B}{D}$



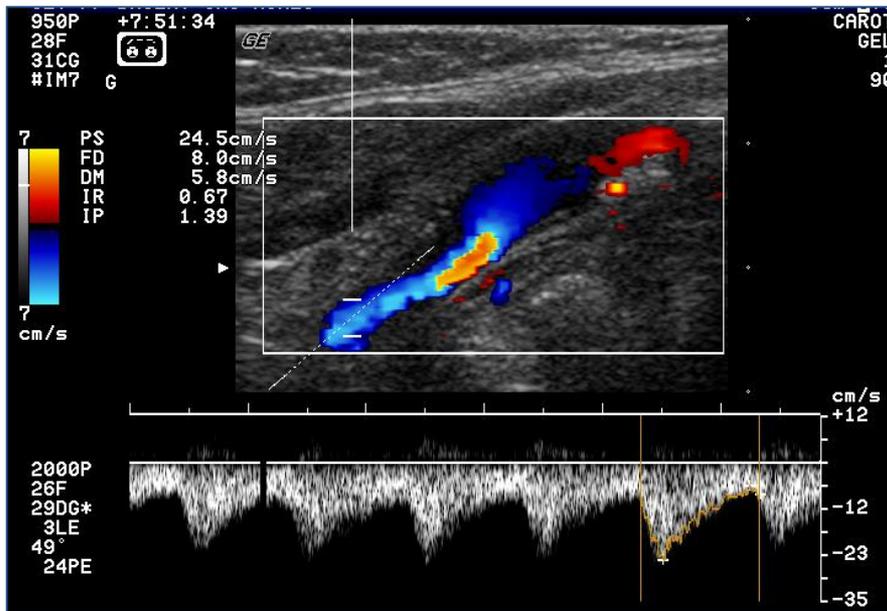
# La survenue d'accidents neurologiques ont été longtemps seulement corrélés au degré de sténose carotidienne et le sont TOUJOURS



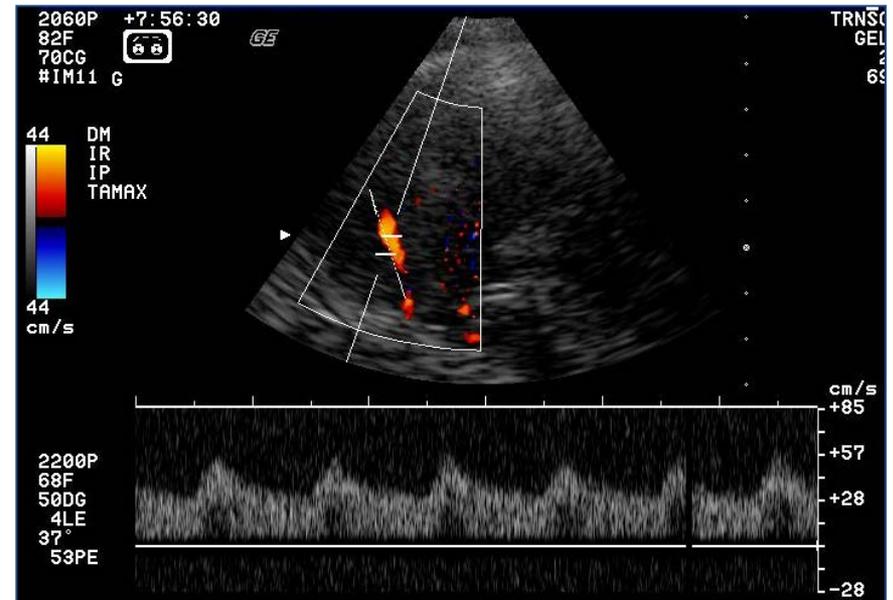
1. Grant E.G et al. : Radiology 2003 ; 229 : 340-6
2. Carpenter J.P et al. : J Vasc Surg; 1995; 22: 697-705
3. Aburahma et al : JVS 2010



# Le retentissement en aval

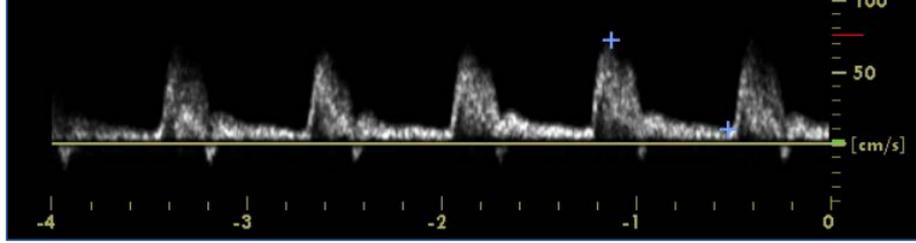
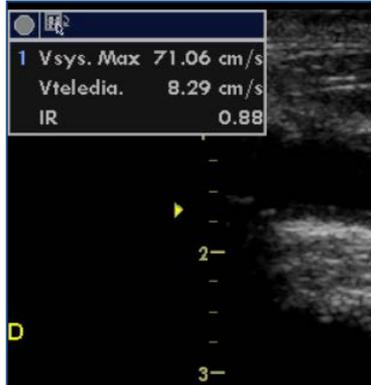
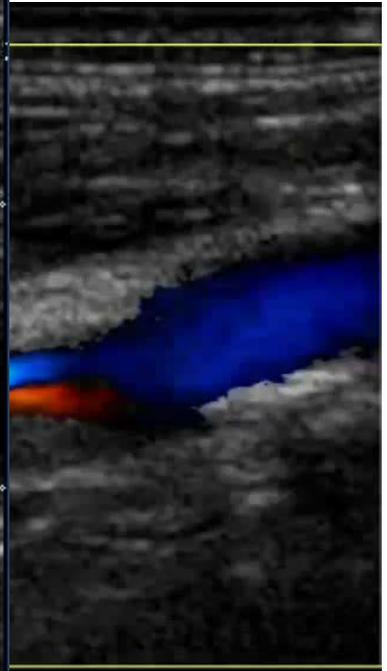
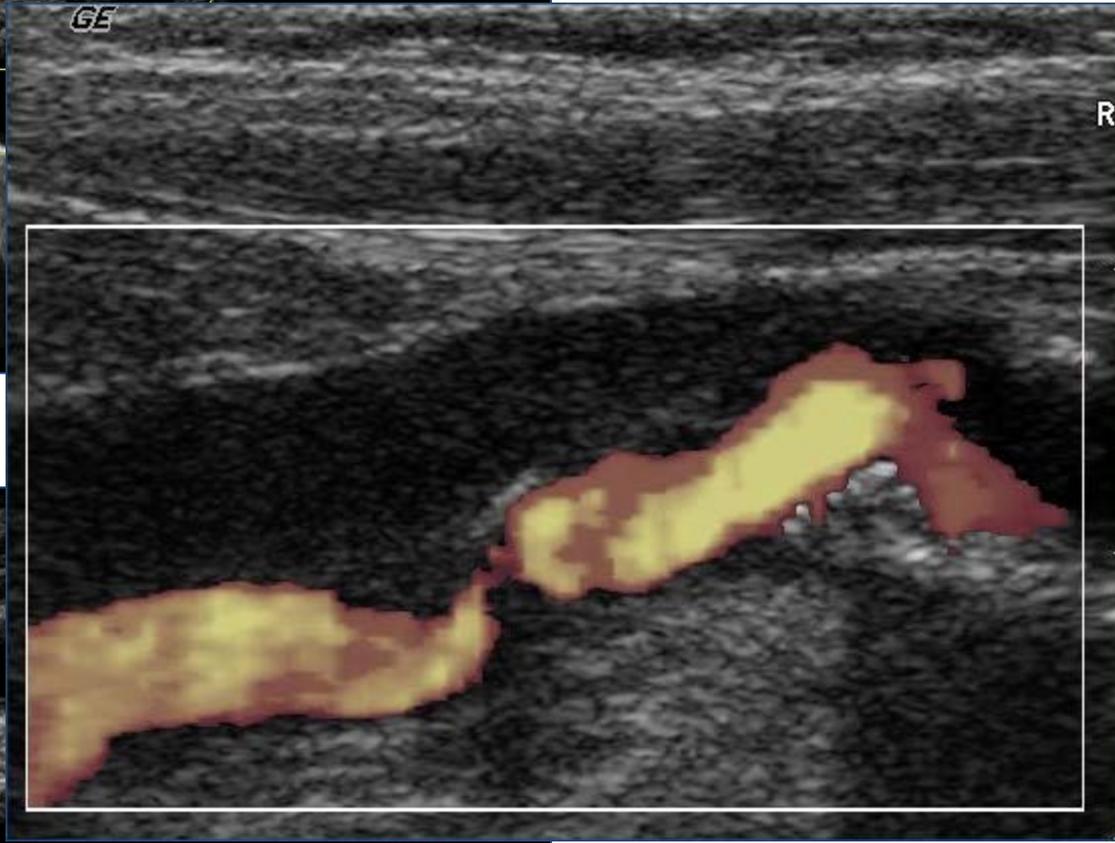
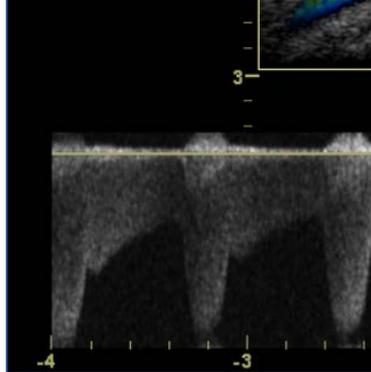
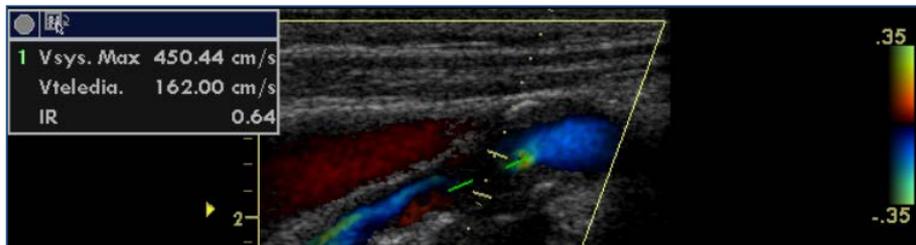


(B) Tracé amorti sur l'artère carotide interne haute



(C) Tracé amorti sur l'artère Cérébrale Moyenne





# Grading Carotid Artery Stenosis

Grade of Stenosis (%, NASCET method)	Normal	10-40	50	60	70	80	90	Occlusion
<b>Major criteria</b>								
B-mode image, diameter	No Plaque	Plaque						Imaging of occluded artery
Flow imaging	Flow						No Flow	
Systolic Flow velocity threshold (cm/s)		>125		>230		NA	0	
Systolic Flow velocity average (cm/s)		≤160	210	240	330	370	Variable	0
Post-stenotic Systolic Flow velocity (cm/s)	<50			≥50	<50	<30	0	
Collateral pathways (ophthalmic, communicating arteries)	No				Possible	Present		
<b>Additional Criteria</b>								
Common carotid artery diastolic flow	Normal				± ↓	↓	↓	↓
Downstream flow disturbance	No	+	++	++	++	Variable	NA	
End-diastolic flow velocity (within stenosis)	<100			>100		Variable	NA	
Systolic velocity ratio (ICA stenosis/CCA)	<2	≥2		>4		Variable	NA	

**Adapted from: von Reutern GM et al. Grading Carotid Stenosis Using Ultrasonic Methods. Stroke 2012;43:916-921**

**Le degré de sténose est un facteur prédictif d'un risque croissant d'accident vasculaire cérébral.**

- **Sténose 50 – 69% présente un risque annuel d'AVC ipsilatéral de 0.8%**
- **Sténose 70 – 89% présente un risque annuel d'AVC ipsilatéral de 1.4%**
- **Sténose 90 – 99% présente un risque annuel d'AVC ipsilatéral de 2.4%**

*Nicolaides AN et al. : Eur J Vasc Endovasc Surg, 2005; 30; 275 - 84*

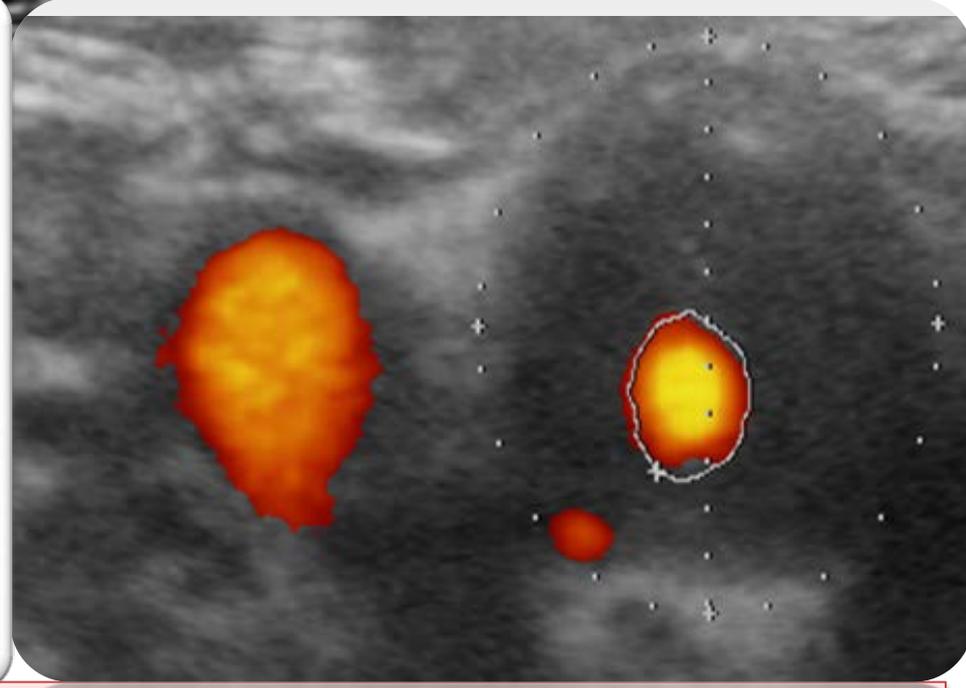
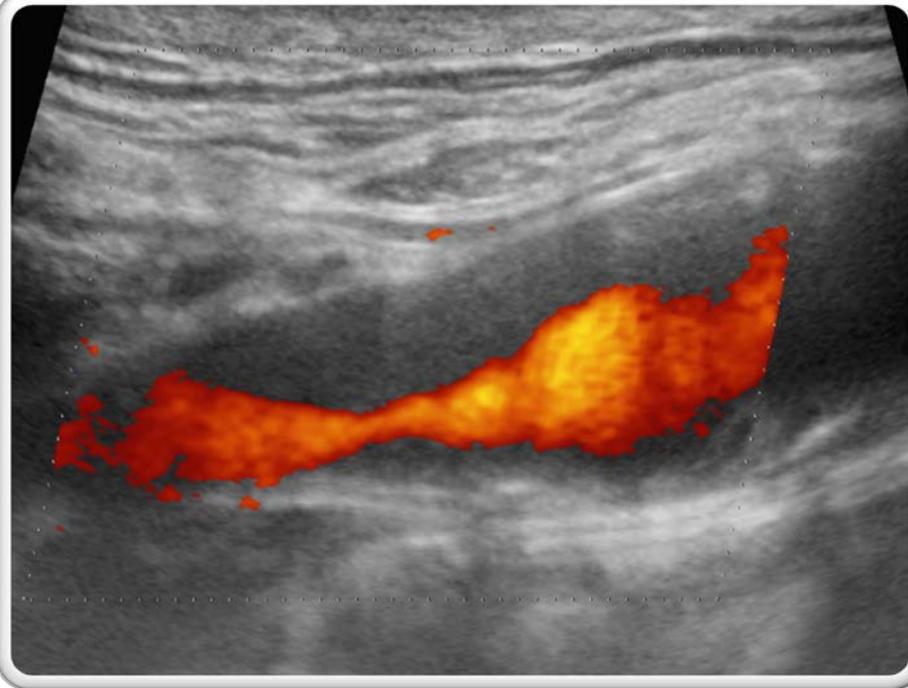
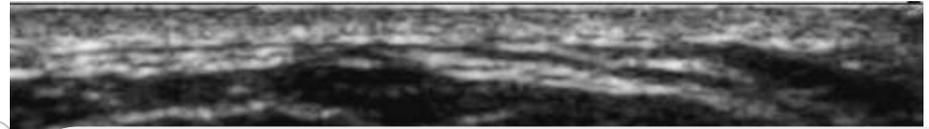
**La progression d'une sténose est associée à un doublement du risque d'AVC 2.5% vs 5% [ OR 2.00 (95% CI, 1.02 – 4.11)]**

*Sabatei S et al. : Stroke 2007; 38; 2887 - 94*

**DEGRE DE STENOSE  
CRITERES ECHO DOPPLER**



# Planimétrie

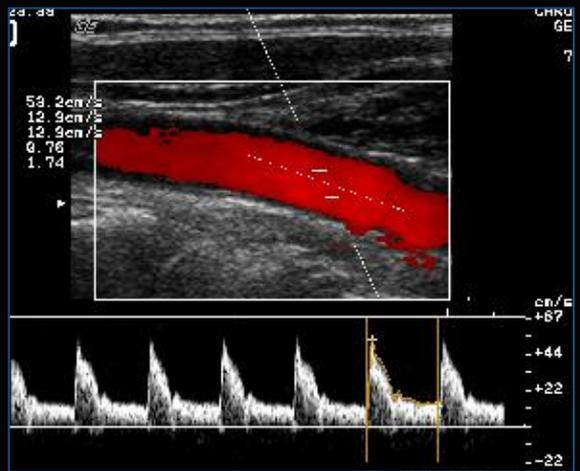
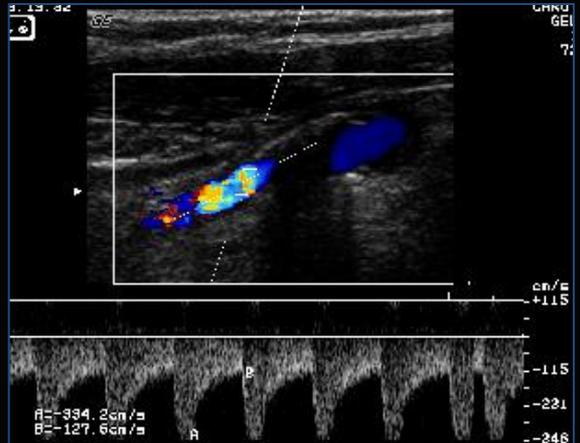


• *La coupe doit être bien perpendiculaire au grand axe de l'artère*

• **STENO-D-surf**  
G61 Vaiss: 0.84cm<sup>2</sup> Résid: 0.06cm<sup>2</sup> %STENO: 92.7%

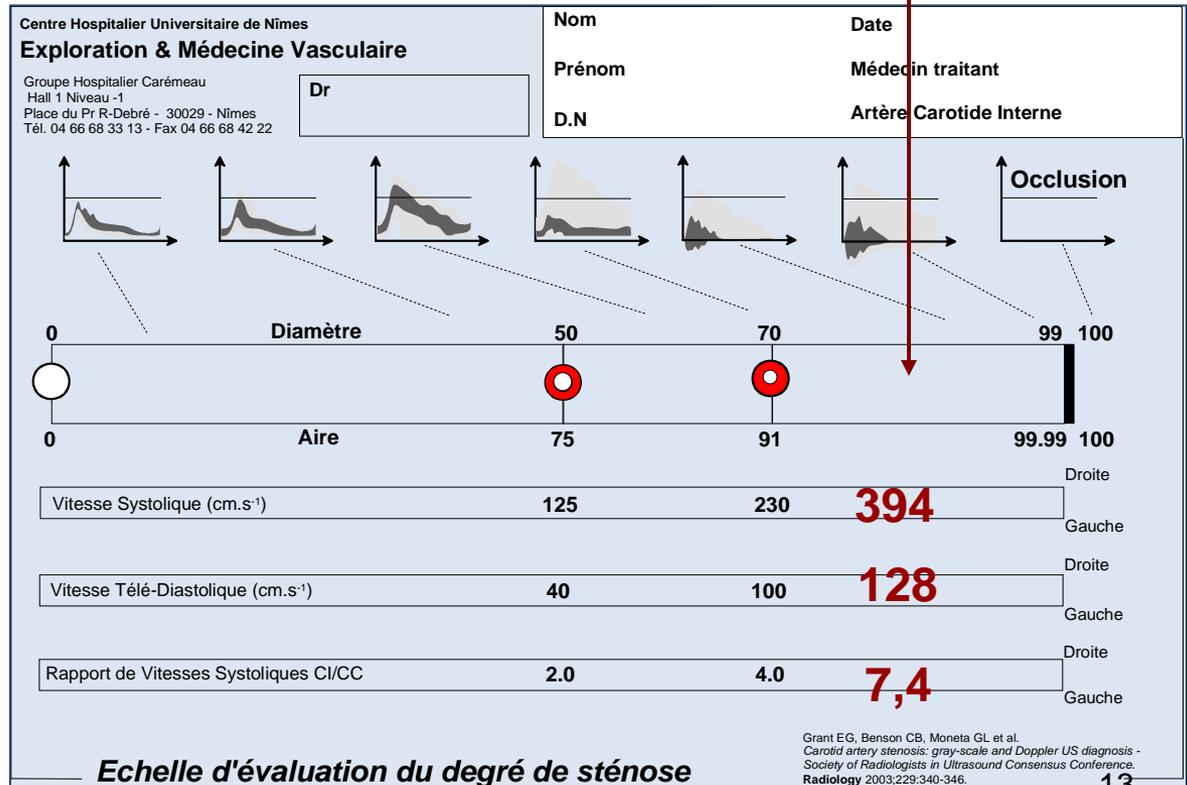
• ~~Les parois latérales sont toujours moins bien visualisées (diffraction), privilégier le balayage composite~~

CI : S = 394 cm/s D = 128 cm/s  
 CC: S = 53 cm/s D = 13 cm/s  
 Rapport de Vit. systolique = 7,4  
 Rapport de Vit. diastolique = 9,8

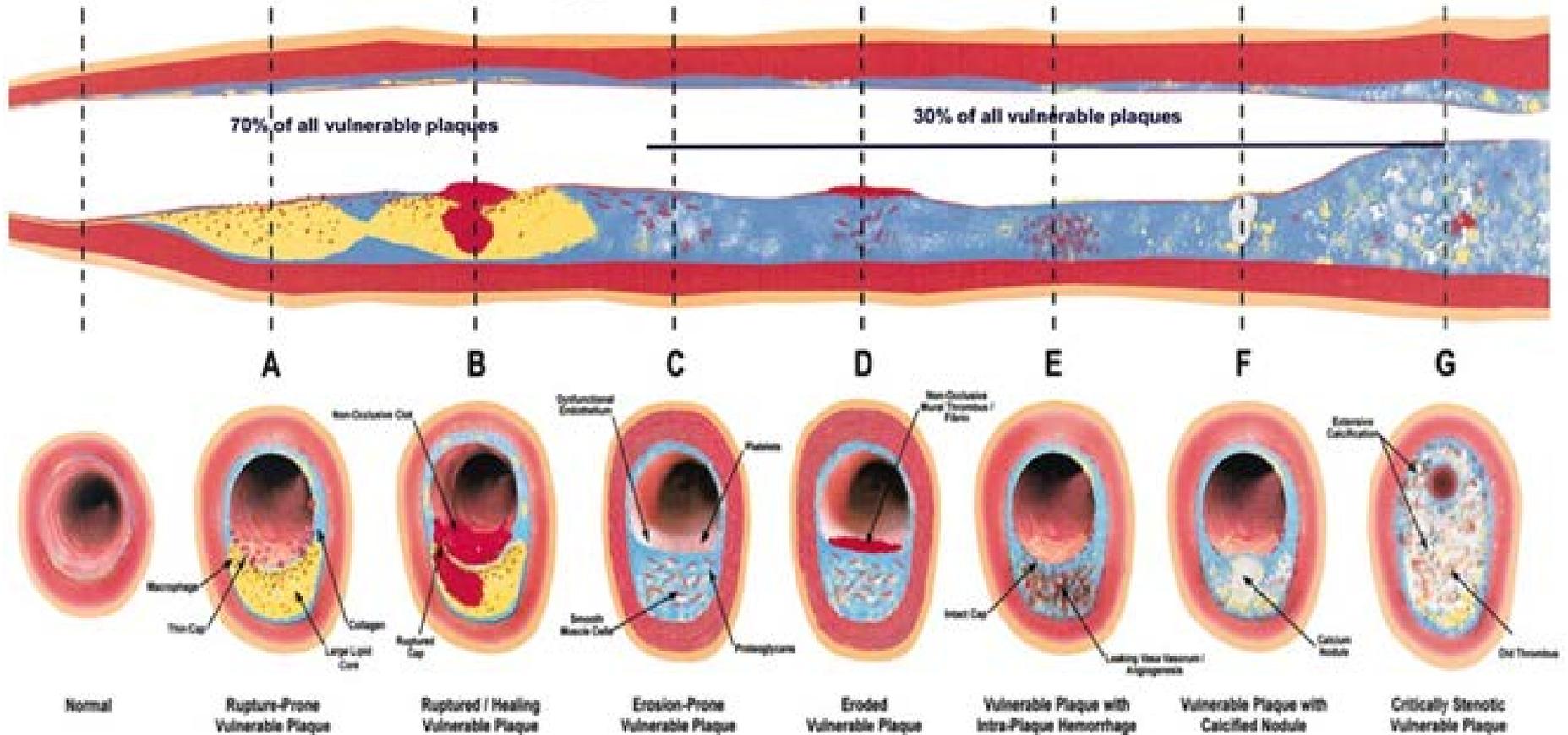


# Évaluation du degré de sténose

**Sténose > 90%**



# Different Types of Vulnerable Plaque



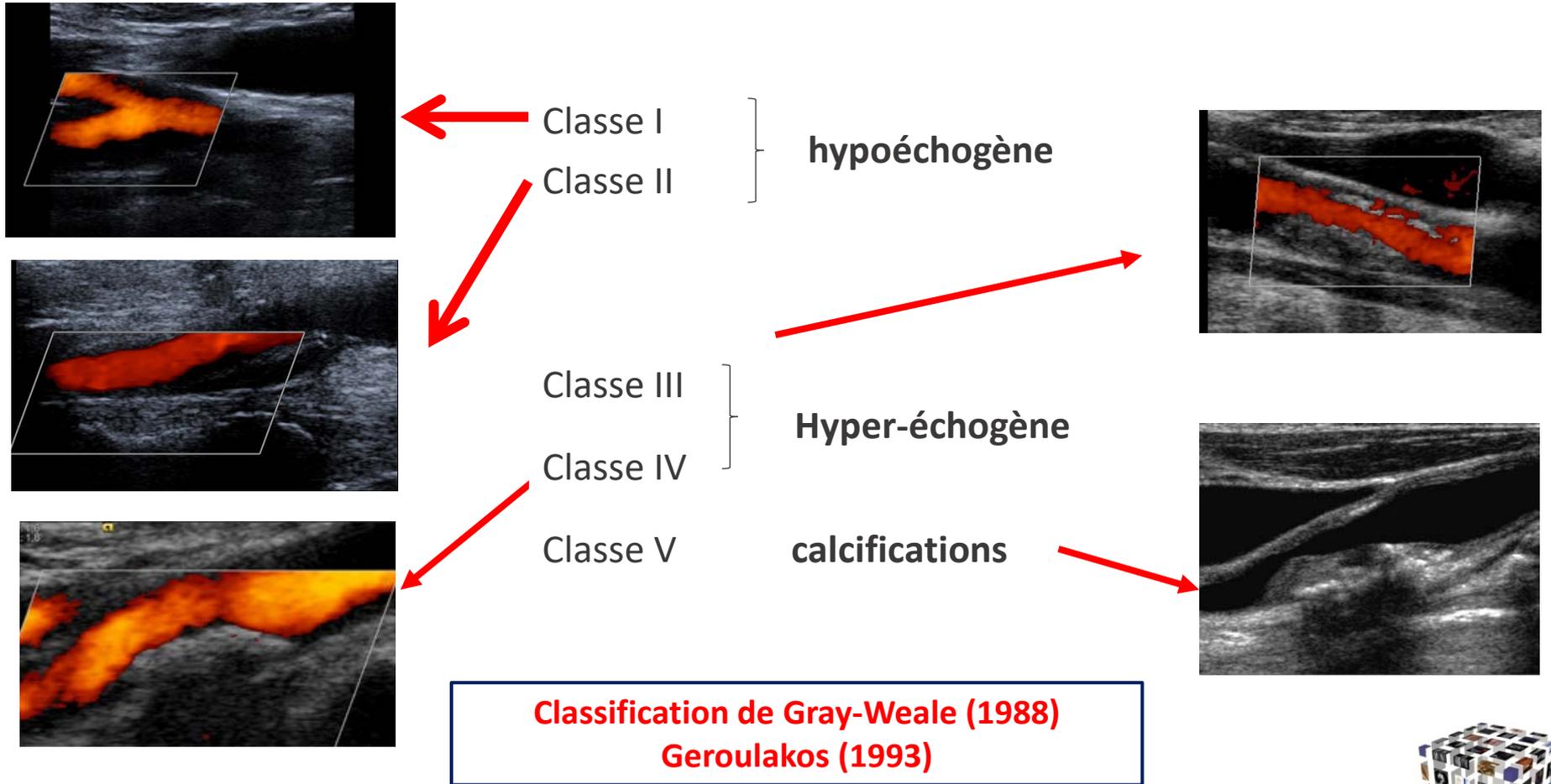
**Développement diffus, insidieux et silencieux...**

*Herbert C. Stary: Arterioscler Thromb Vasc Biol 2000; 20: 1177-1178*



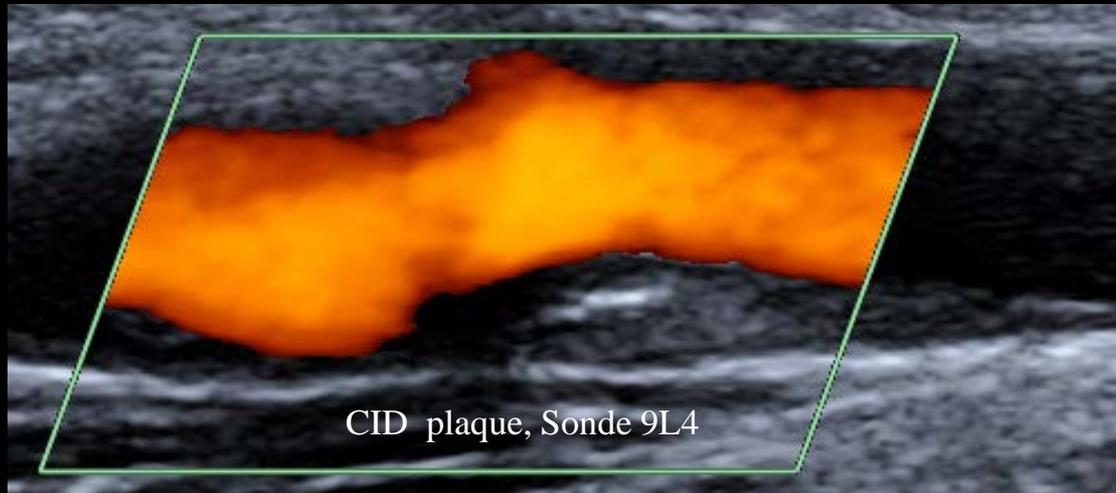
## Fin des années 80 et début des années 90

### Analyse morphologique de la plaque (subjective) écho-génicité et écho-structure (hétérogène / homogène) (1):

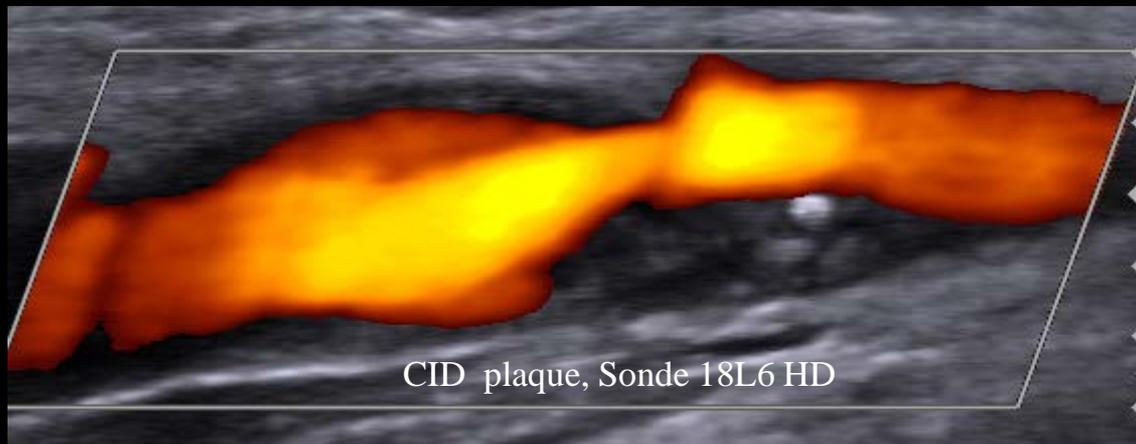


1. Steffen C.M, Gray Weale A.C et al. : Aust NZ J Surg 1989 jul ; 59 (7) : 529- 34
2. Geroulakos et al. : Br J Surg. 1996May ; 83 (5) ; 582-7





Intérêt des sonde à haute et très haute fréquence



- **Plaques anéchogènes génèrent plus d'accidents oculaires (1)**
- **C'est un facteur indépendant de risque neuro-vasculaire (2)**
- **Augmente le risque de survenue d'évènements cardio-vasculaires (3)**
- **La plaque est stable si la surface calcique > 45% (4)**
- **L'association d'une plaque anéchogène et d'enregistrement d'embols augmente considérablement le risque d'AVC ipsilatéral (OR 10.6) (5)**

1. Tegos T.J et al.: Am J Neuroradiol 2000 Nov-Dec; 21 (10): 1937-44.
2. Mathiesen E.B et al.: Stroke 2001 sep; 32(9):1960-5.
3. Honda et al.: Vasc Health Risk Manag. 2005 June; 1(2): 131-136.
4. Nadalur K.R et al.: Stroke 2007 Mar;38(3): 935-40.
5. Topakian R et al: Neurology 2011; 77; 751-8.

**Aspect  
échographique de la  
plaque non prise en  
considération**

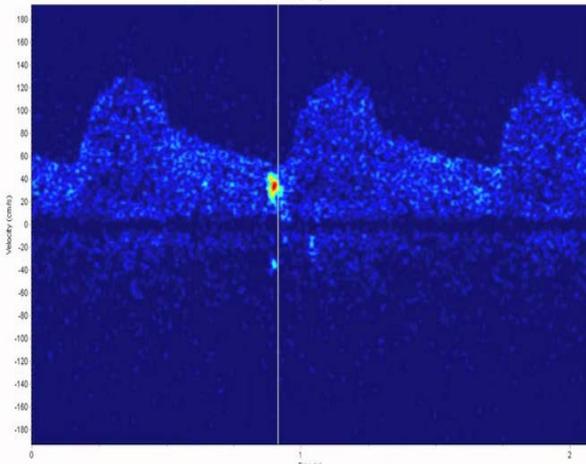
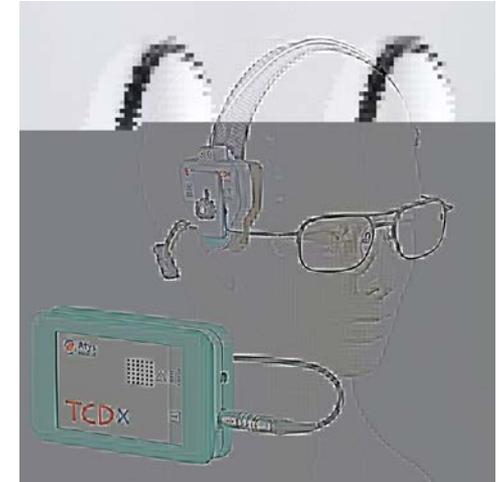
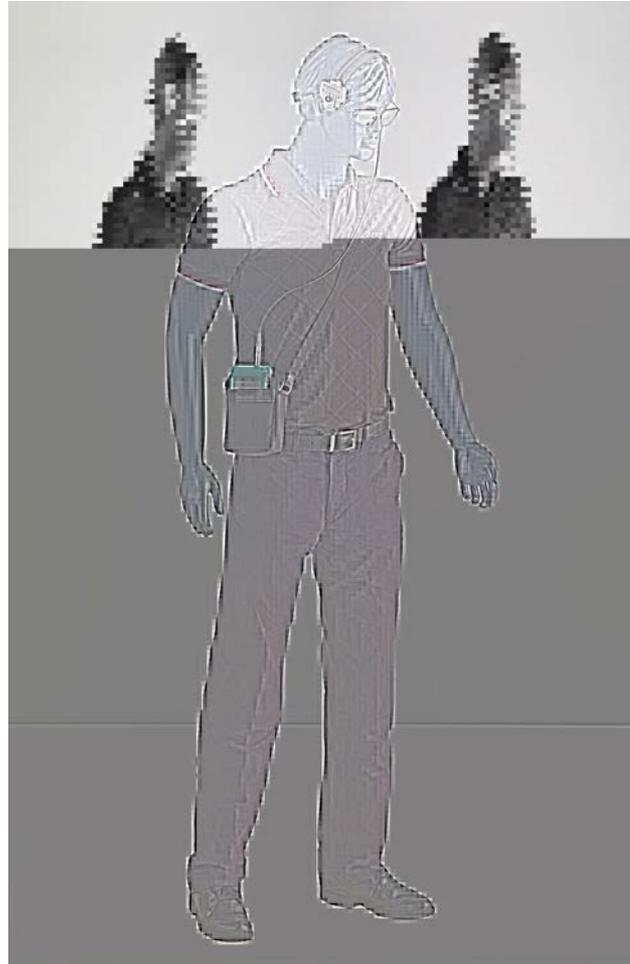
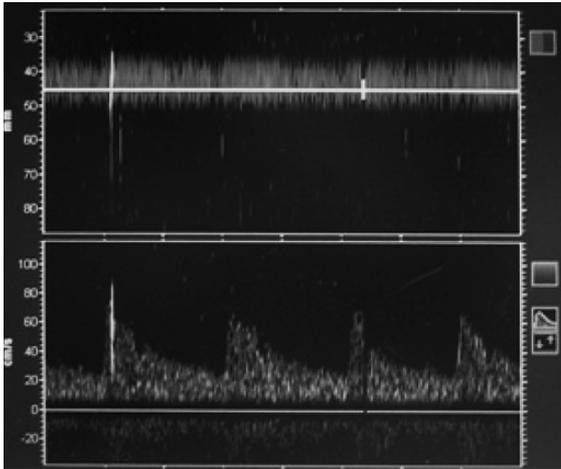


**Tableau 4** *Évaluation ultrasonore d'une « plaque à risque ».*

Risque	Risque faible	Risque élevé
Type de bordure de plaque	Lisse	Irrégulière
Echodensité	Iso, hyperéchoïque	Hypo, anéchoïque
Bordure luminale de plaque	Régulière	Irrégulière
Néovascularisation de la plaque	Absente	Présente
Calcifications éparées	Rare	Fréquentes
Calcification massive	Fréquente	Rare
Progression des plaques	Lente (< 40 % de sténose)	Rapide (> 70 % de sténose)



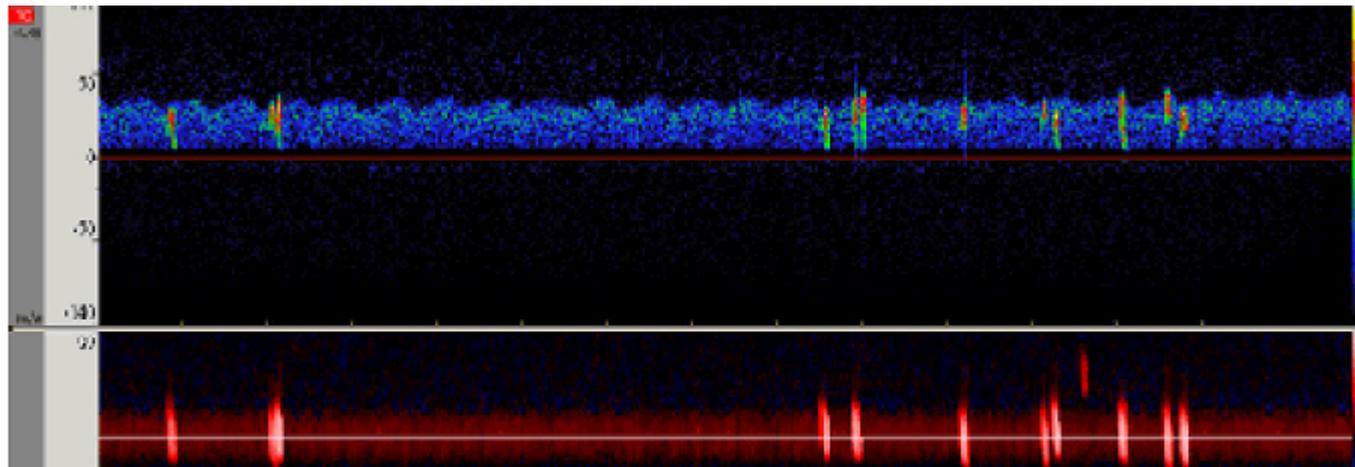
**La détection de micro-embols permet une stratification du risque d'AVC.  
Permet l'évaluation indirecte de la plaque vulnérable, des nouveaux  
traitements anti-thrombotiques.  
Monitoring péri-opératoire d'une endartériectomie**



**HITS**

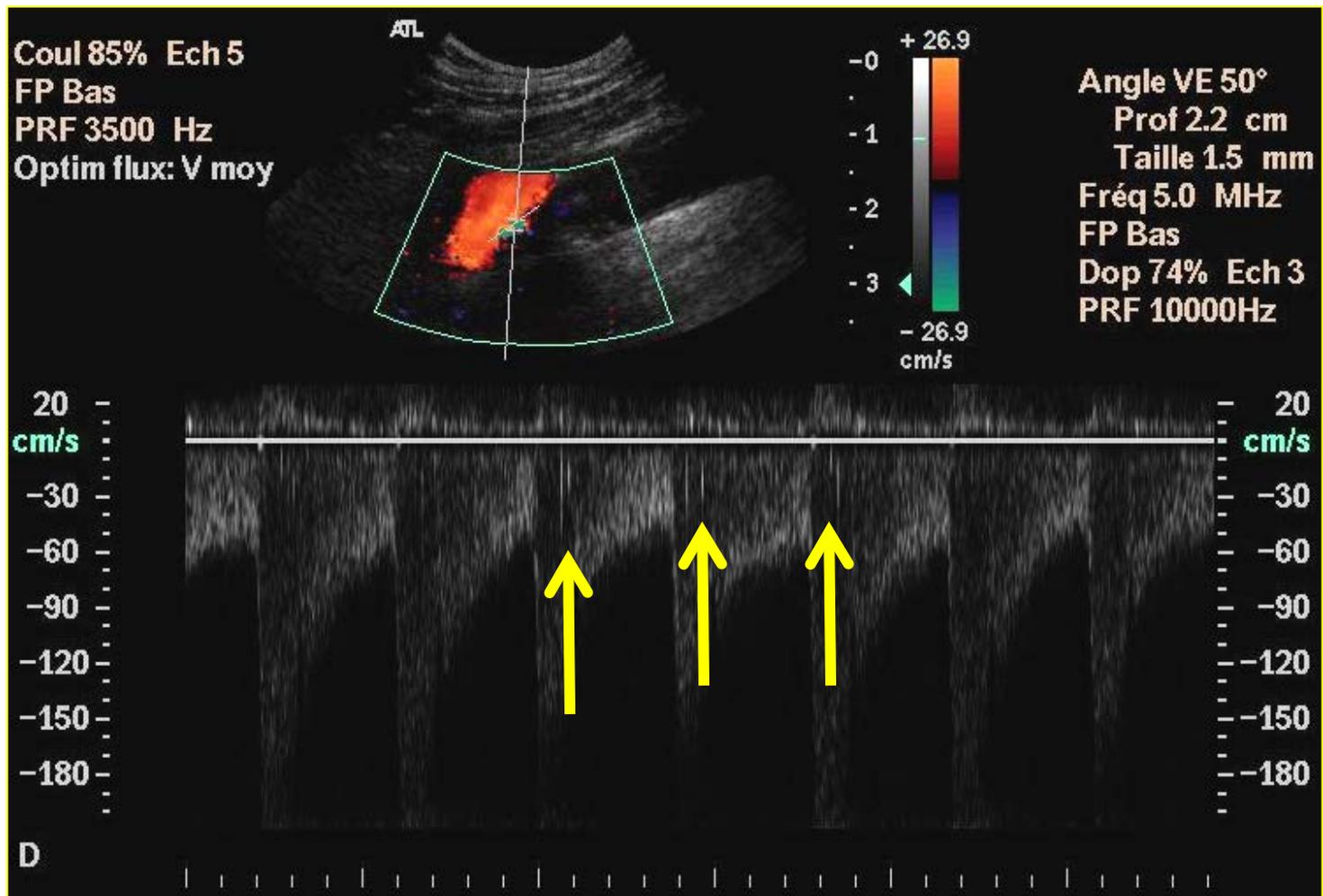


**The standard to qualify a carotid stenosis as at higher risk is the detection of at least 1 HITS during one hour of recording on two exams a week apart**



**The presence of spontaneous embolization was associated with a sevenfold increase in the risk of ipsilateral stroke in the largest study of patients with asymptomatic carotid stenosis (Markus et al, ACES, Lancet Neurol 2010).**





**Signaux de micro-embolies sur sténose > 90%  
de la carotide interne**

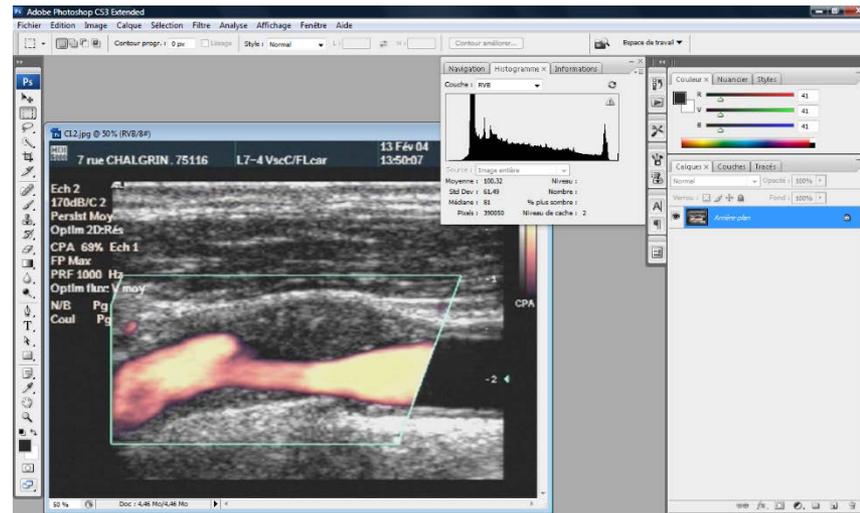


## Années 90

### Analyse de la plaque après normalisation de l'image acquise: GSM (Gray Scale Median) (1-5).

C'est une analyse objective du degré de gris après normalisation de l'image.

Sang (noir) 0  
Adventice (blanc) 190

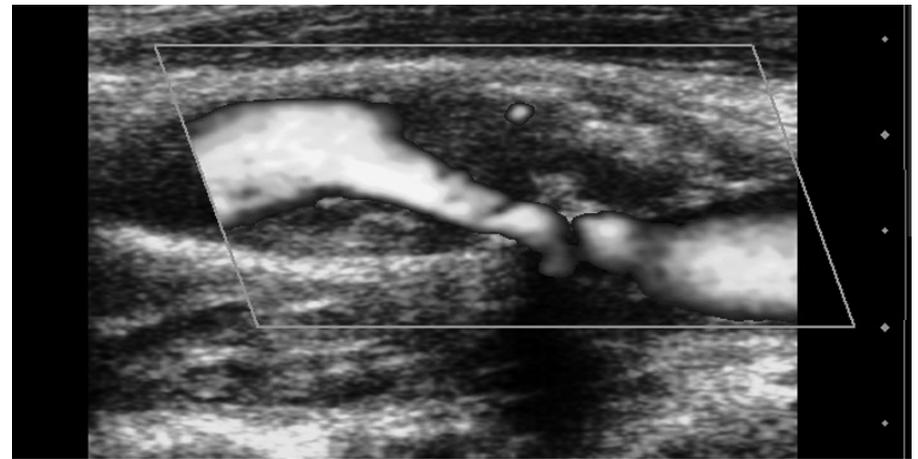
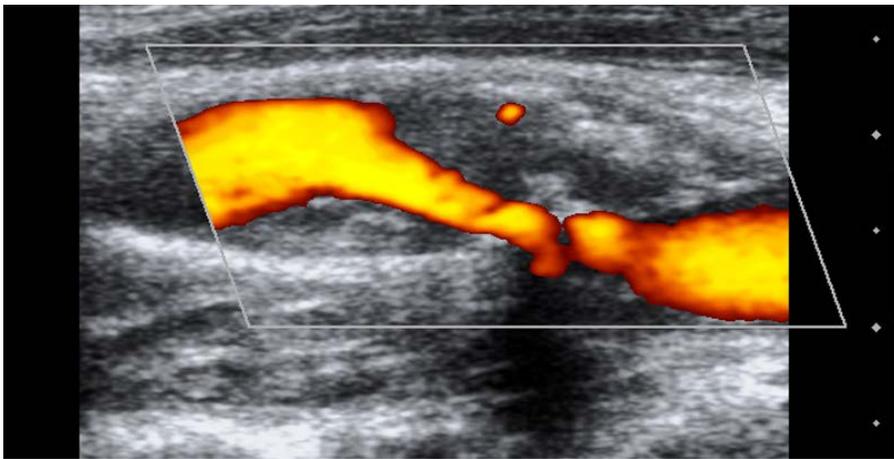


Plus le GSM est bas, plus la plaque est hypo-échogène.  
Les plaques hyper-échogènes ont un GSM élevé.

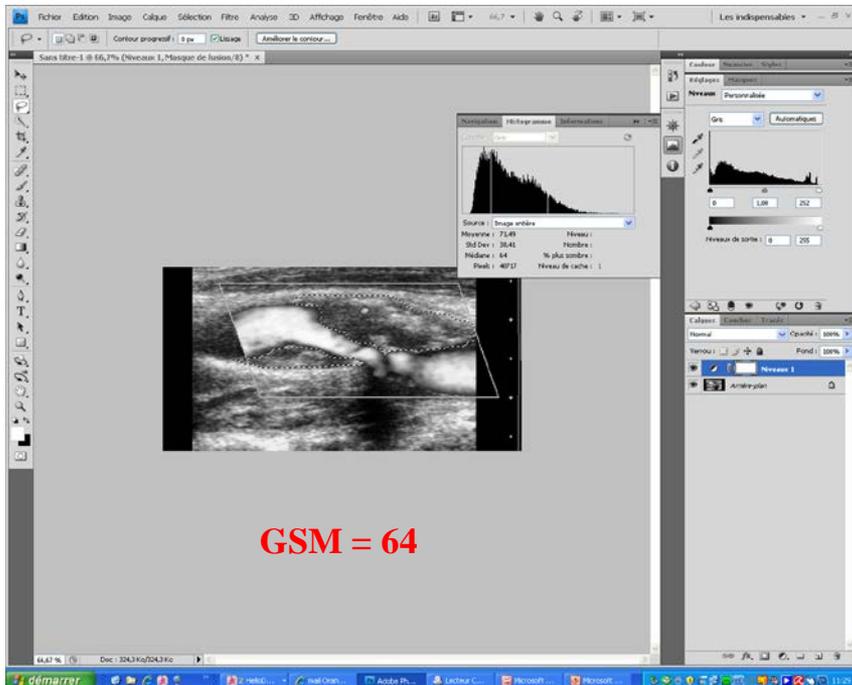
1. El Barghouty N. et al.: *Eur J Vasc Endovasc Surg* 9, 389-393 (1995)
2. El Bargouty N et al.: *Eur J Vasc Endovasc Surg* 11, 414-416: 1996
3. El Barghouty N. et al.: *Eur J Vasc Endovasc Surg* 11, 470-478: 1996
4. Elatrozy T et al.: *int Angiol.* 1998 Sept; 17 (3):179-86
5. Elatrozy T. et al. : *Euro J Vasc Endovasc Surg* 16,223-230 : 1998

**GSM**





## Normalisation et mesure du GSM



## Valeurs estimées du GSM :

- 0 et 5: sang
- 8 et 26: lipides
- 41 et 76: muscle
- 112 et 196: tissu fibreux
- 211 à 255: calcifications



La principale limite de la technique dépend des constantes d'acquisition: machines, sondes et les réglages (index mécaniques).

Variabilité des cut-off dans différentes études afin de définir les plaques asymptomatiques et les plaques symptomatiques.

Auteurs	GSM symptomatiques	GSM Asymptomatiques
El Barghouty	<32	>32
Elatrozy	21 ± 16	37,6 ± 26
Gronholdt	<74	>74
Lal	32 ± 7,5	49,3 ± 6,7
Grogan	41 ± 9	60 ± 13

1. *El Barghouty et al.: Eur J Vasc Endovasc Surg 1996 ;11 :470-8*
2. *Elatrozy T et al. : int Angiol. 1998 sep;17(3):179-86*
3. *Gronholdt M.L et al.: circulation 1998;97: 34-40*
4. *Lal Brajesh K et al. : Ann vasc Surg 2006 ; 20 : 167-174*
5. *Grogan J.K et al.: J Vasc Surg, 42 (2005),pp. 435-441.*

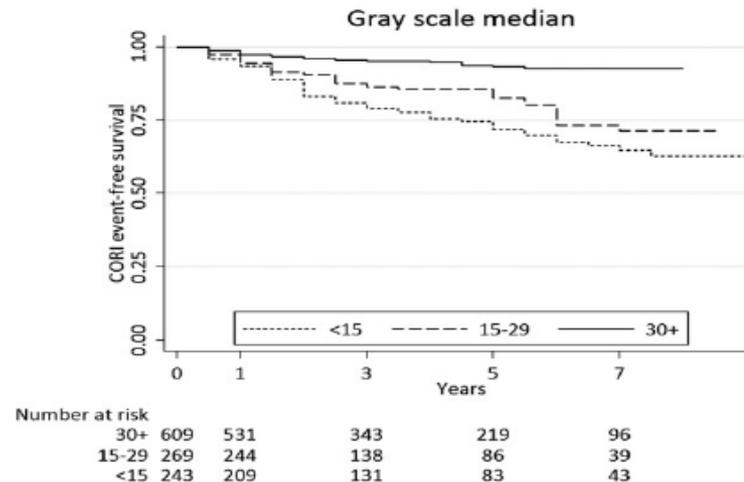


## ACRS study:

Les plaques asymptomatiques avec un GSM > 30 ont un très faible risque annuel d'AVC (0.6%).

Le risque annuel augmente à 1.6% pour les patients avec une plaque dont le GSM est compris entre 15 et 30

Pour les patients présentant une plaque dont le GSM < 15 le risque annuel passe à 3.6%.



**B**

*Nicolaides A et al: J Vasc Surg 2010; 1486-96*

Une plaque hypo-échogène (indépendamment du degré de sténose) est un facteur de risque d'AVC ipsilatéral ou de décès (111 patients asymptomatiques présentant une sténose comprise entre 50 et 99% suivi pendant 4.4 ans).

*Gronholdt M.L. et al: circulation 2001; 104; 68 - 73*

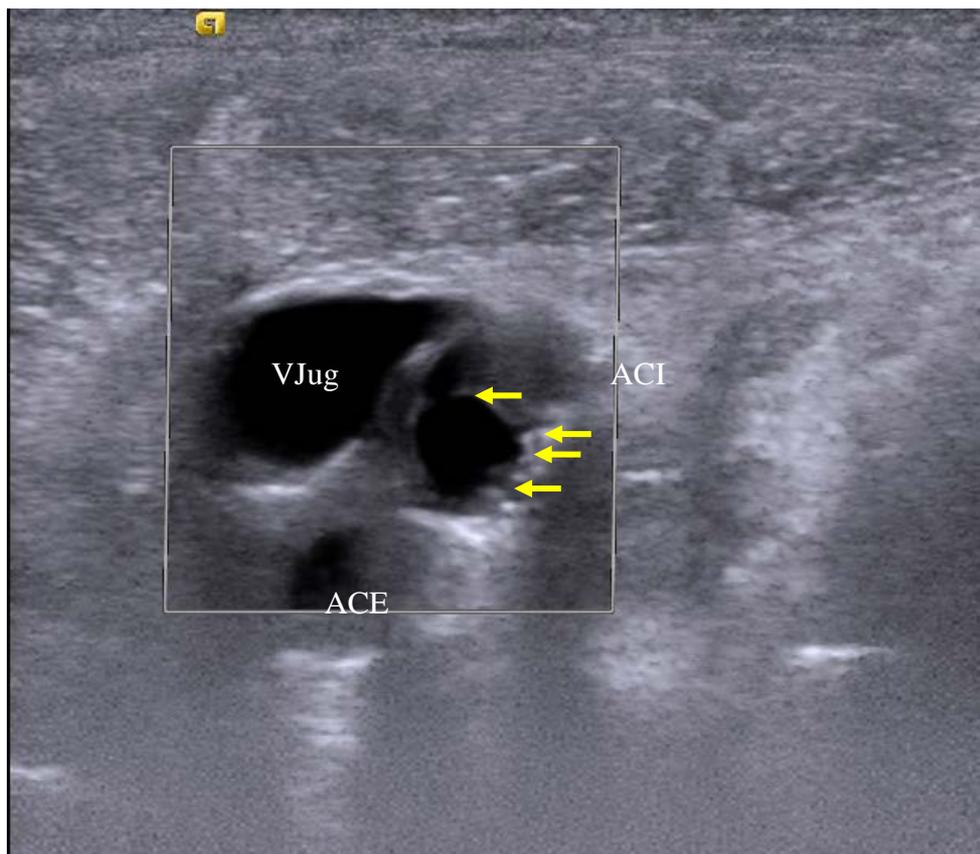


## Intérêt des sondes de haute résolution:

La présence de 3 ou plus ulcérations (sur l'ensemble des lésion des deux axes carotidiens) est associée avec un excès significatif d'AVC ou de décès par rapport aux sujets présentant moins ou pas d'ulcérations.

*Madani A et al: Neurology 2011; 77; 44 - 50*

(18% vs 2% ,  $p = 0.03$ )



**HAUTE  
RESOLUTION**



# Les produits de contrastes ultrasonographiques

Les produits de contraste ultrasonographique (PCUS) sont des micro bulles gazeuses stabilisées par une paroi de matériau biocompatible dont le calibre doit être inférieur au diamètre capillaire (8  $\mu\text{m}$ ). Elles mesurent en général entre 1 et 7  $\mu\text{m}$  de diamètre.

Le temps de disparition des microbulles est sous la dépendance:

- de la taille
- du gaz contenu au sein de la particule
- la paroi (épaisseur et structure)

Demi vie de 6 minutes

Répartition limitée au secteur intravasculaire (pas de rehaussement du secteur interstitiel)

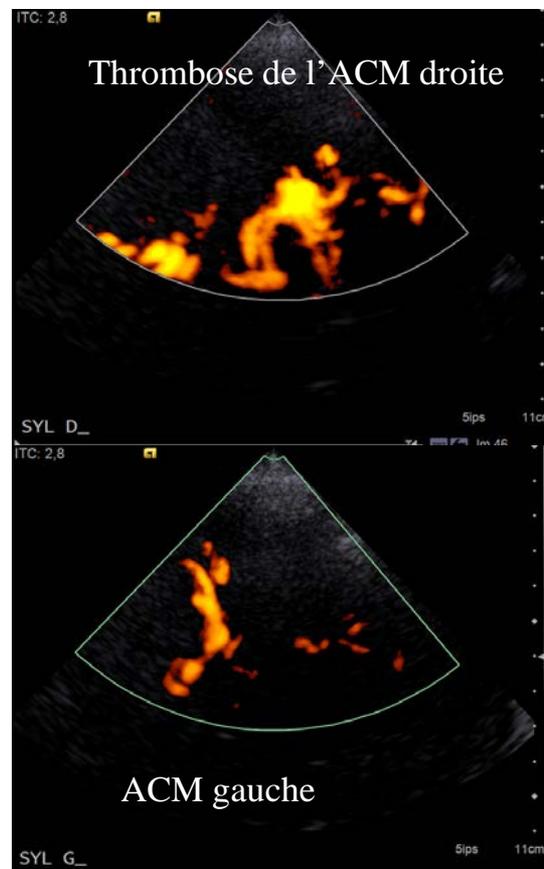
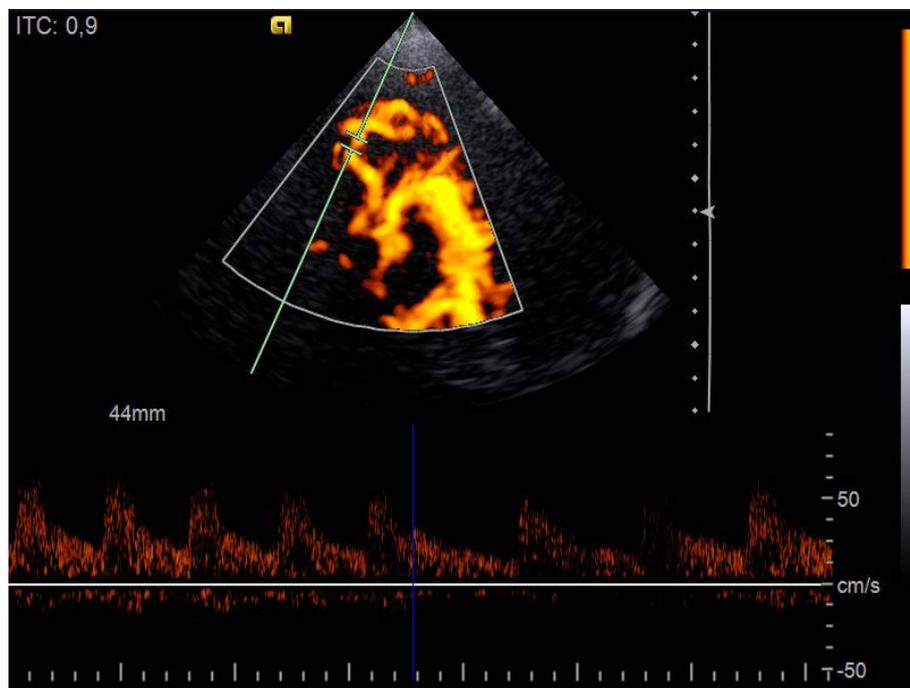
Élimination par voie respiratoire (insuffisant rénal)

**SONOVUE®**

**Produits de  
CONTRASTE**



**PCUS permettent d'analyser complètement le polygone de Willis à la recherche de sténoses en tandem.**

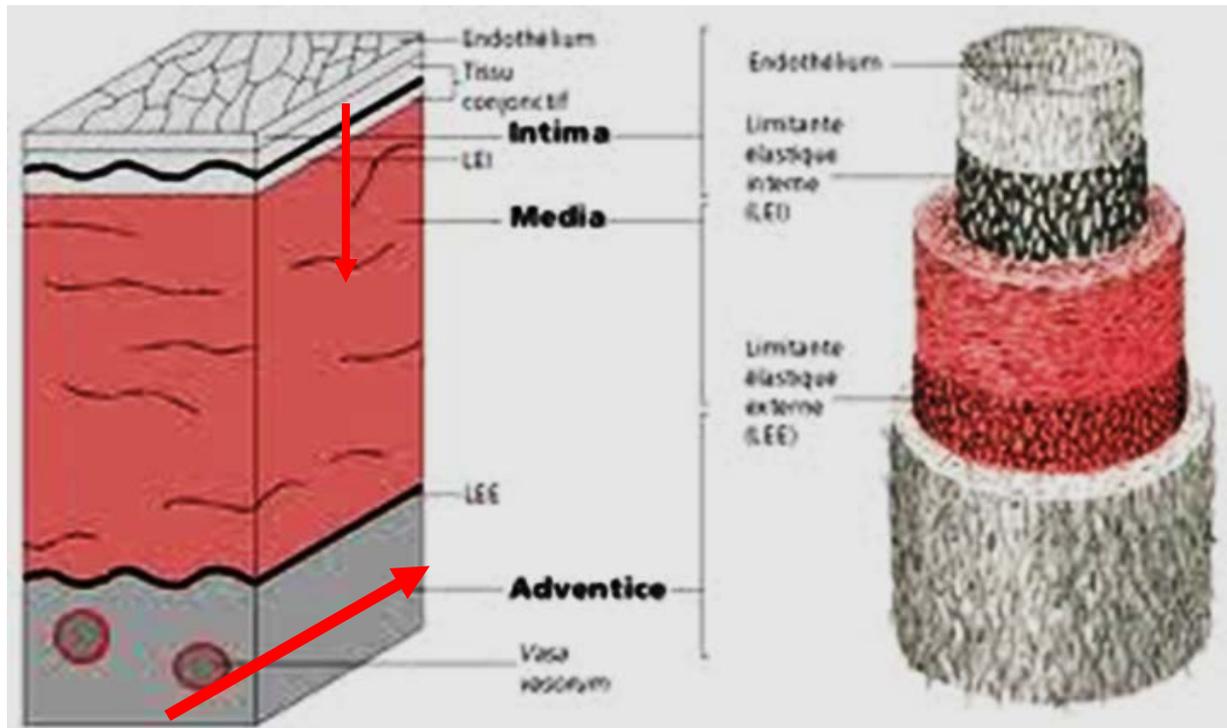


On observe une néo-angiogenèse à partir du vasa vasorum et une néo-vascularisation à partir de la lumière vasculaire.

Anarchique

Sans limitante élastique externe

Hémorragies intra-plaques



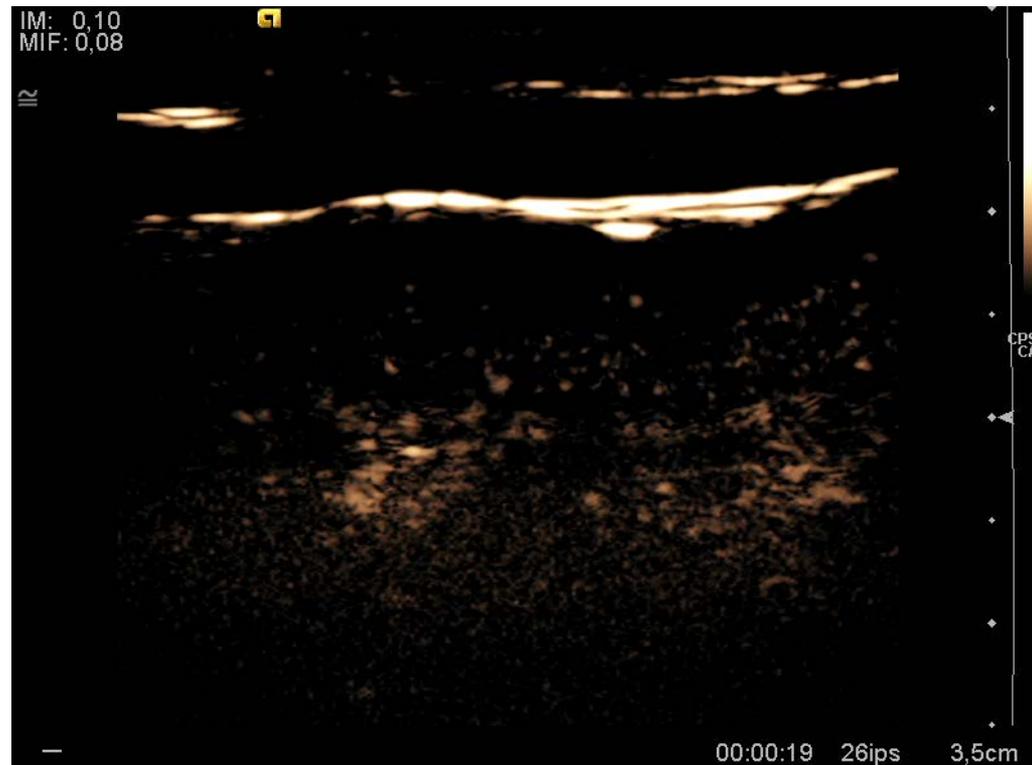
## PCUS:

Micro bulles qui vont subir les mêmes contraintes hémodynamiques que le sang.

Permettent de visualiser les petits vaisseaux et les vaisseaux à flux lent

Pas d'extravasation (1).

Le rehaussement est proportionnel à l'intensité de la néo-vascularisation

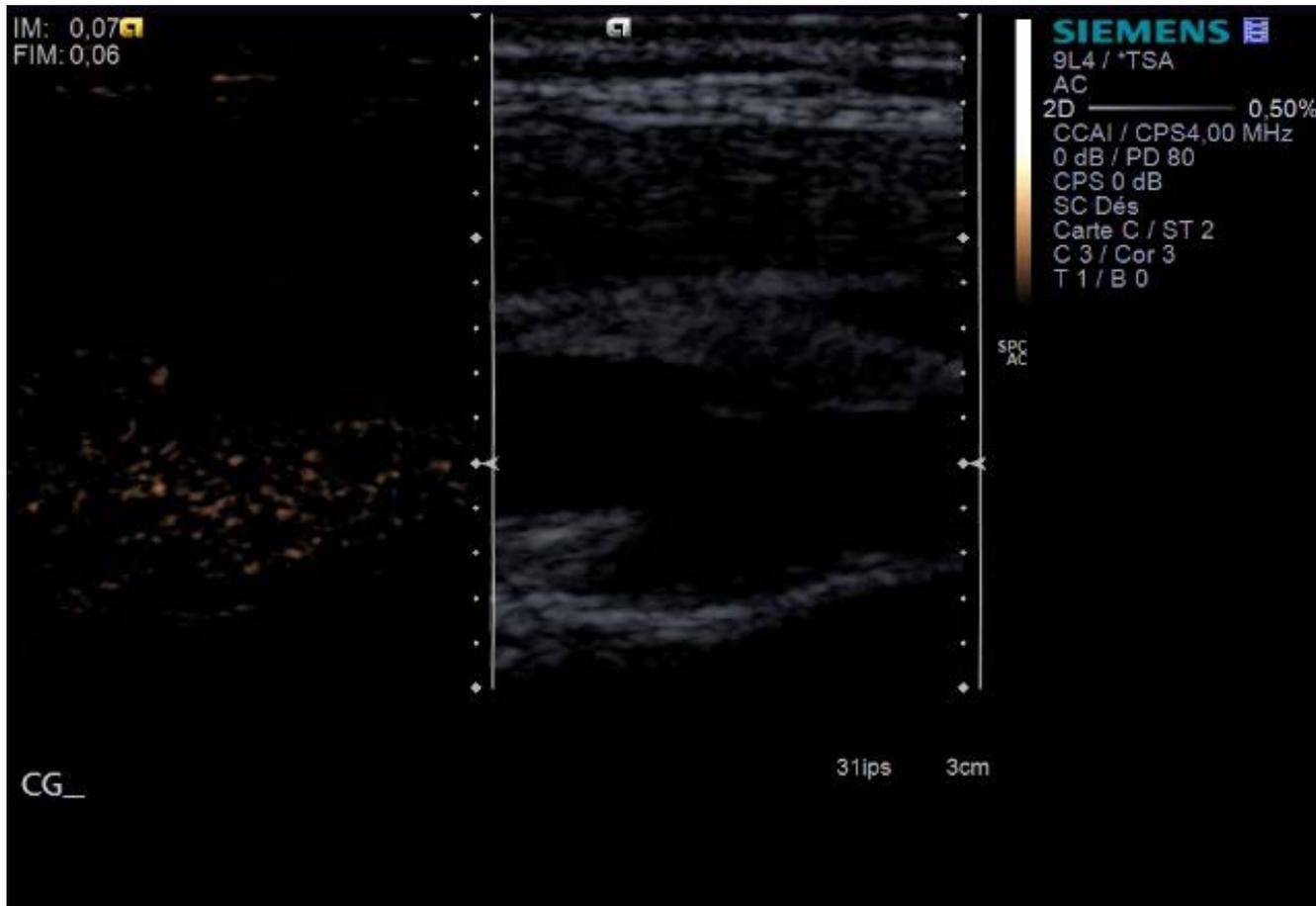


*Tranquart F. et al: Echographie de contraste: méthodologie et applications cliniques (édition Springer, Paris 2007)*

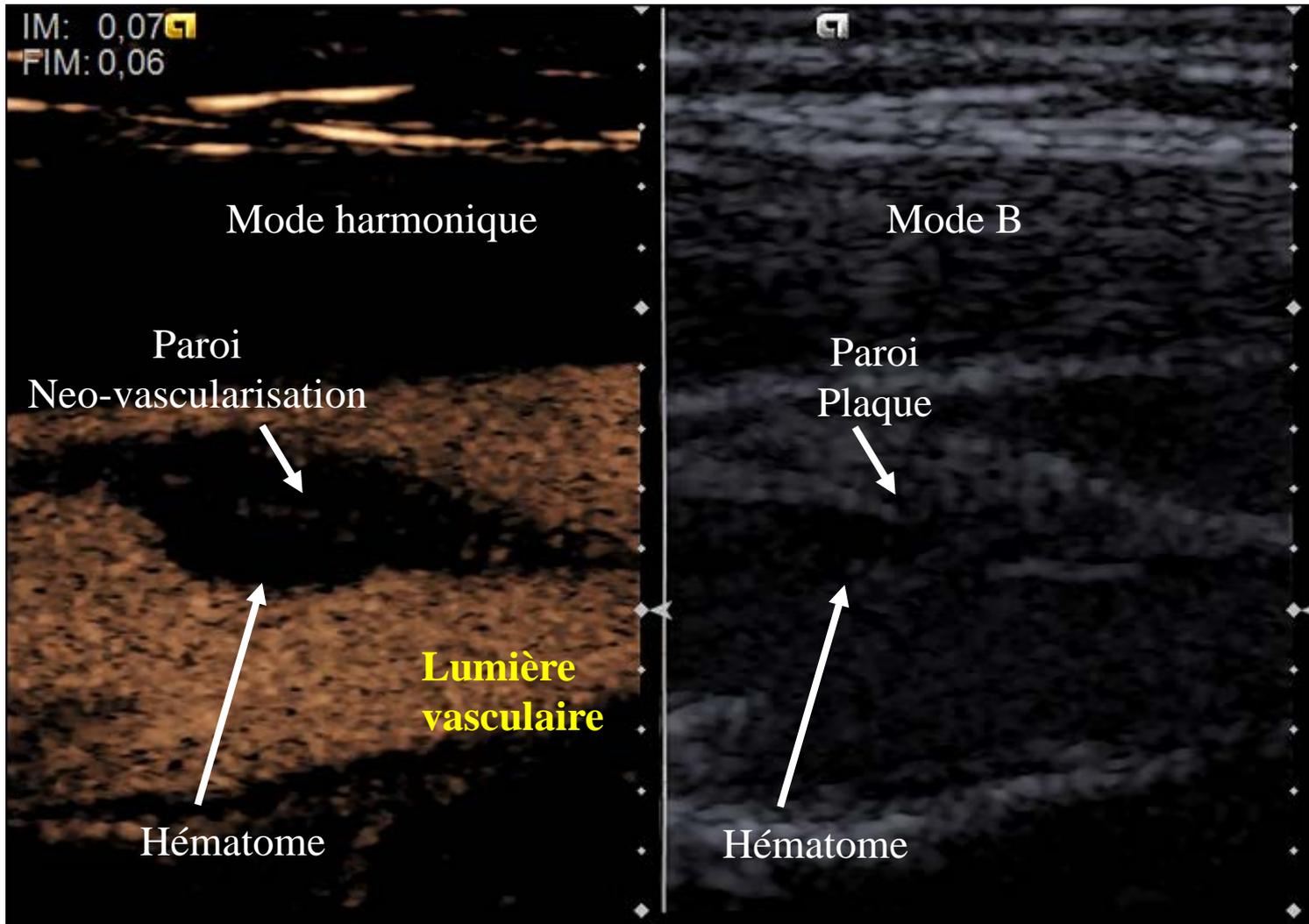


# Artères cérébrales et encéphaliques (hématome sur plaque)

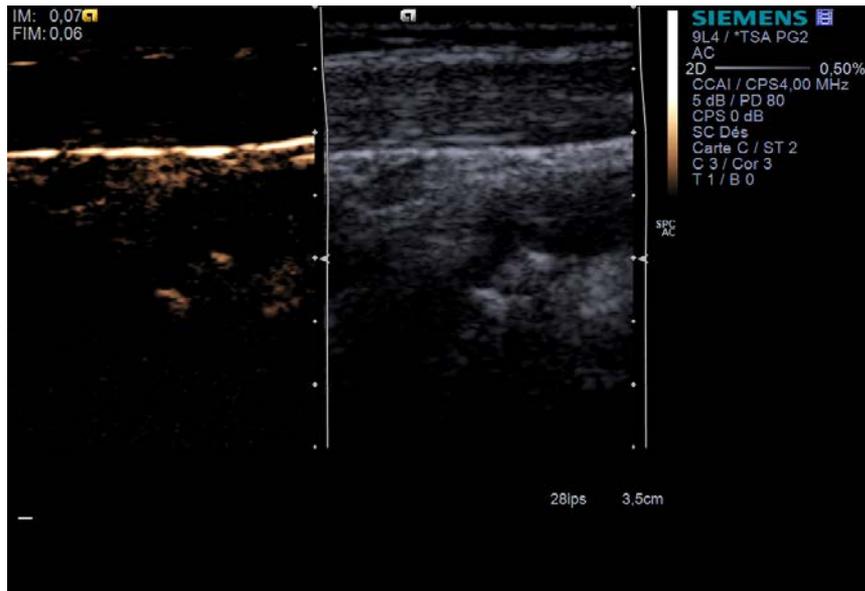
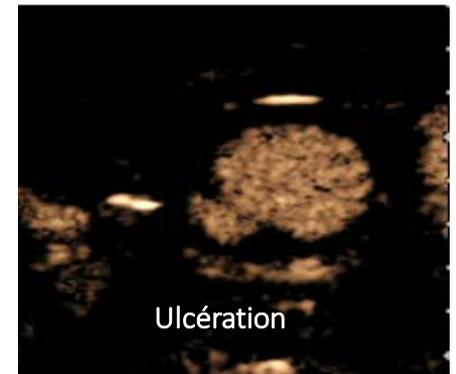
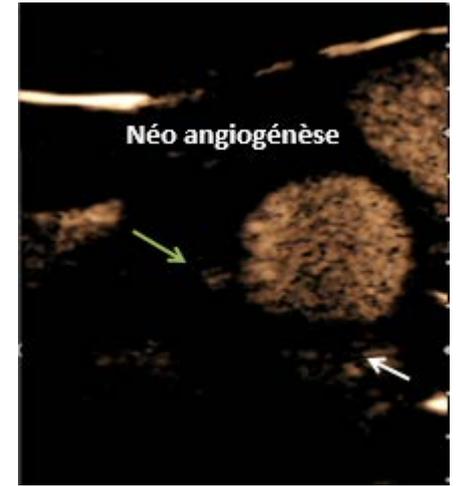
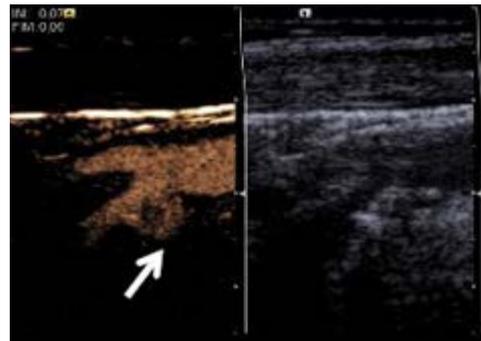
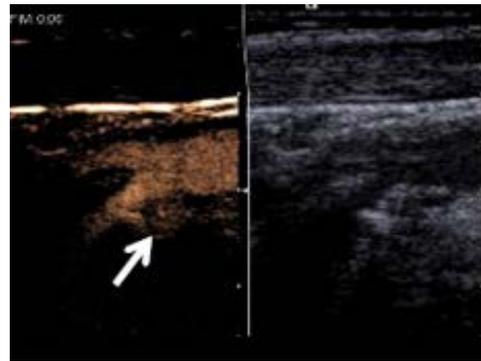
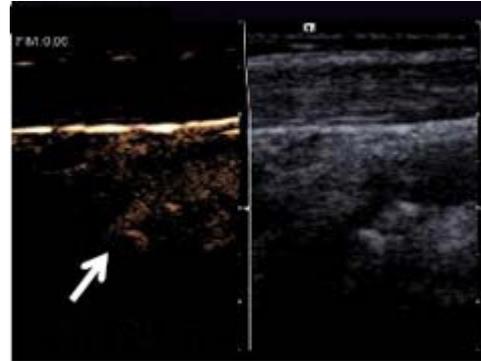
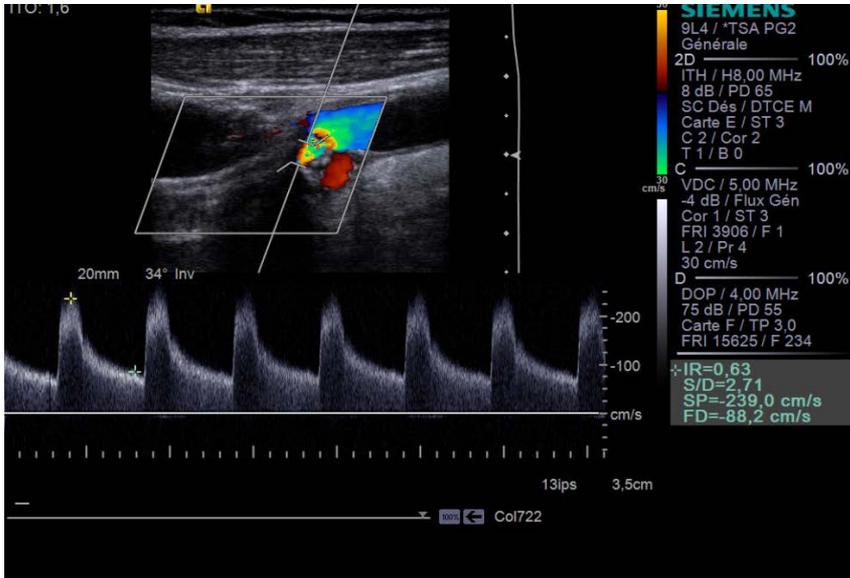
La vascularisation pariétale  
Hématome intra plaque



## Artères cérébrales et encéphaliques (hématome sur plaque)



# Artères cérébrales et encéphaliques (ulcération de plaque)





**Le degré de sténose intervient  
essentiellement en ceci qu'il détermine de  
plus fortes contraintes mécaniques sur la  
plaque et l'expose à la rupture.....**

***On revient au point de départ.....***



# CONCLUSION 1

## ECHO DOPPLER Examen de première intention

Informations nécessaires au diagnostic et au suivi

### Quantification:

- Degré de la sténose
- Sténoses en tandem, sténoses bilatérales
- Progression de la sténose (critères vélocimétriques)

**L'équation de la sténose**



Vitesse Systolique MAX

Vitesse télé diastolique

Rapport Carotidien  
Systolique

IR Carotide Commune

Signal Ophtalmique

Signal Cérébrale moyenne

**Réduction Surface Section**

**CONCORDANCE**



## CONCLUSION 2

### Morphologie:

- Hyperéchogènes vs hypo-échogènes (évaluation subjective or objective)
- Homogène vs hétérogène
- Régulier vs irrégulier (ulcérations)
- Aire de la plaque and zone noire juxta luminale (JBA)
- Néo-vascularisation



# Risque thrombo embolique

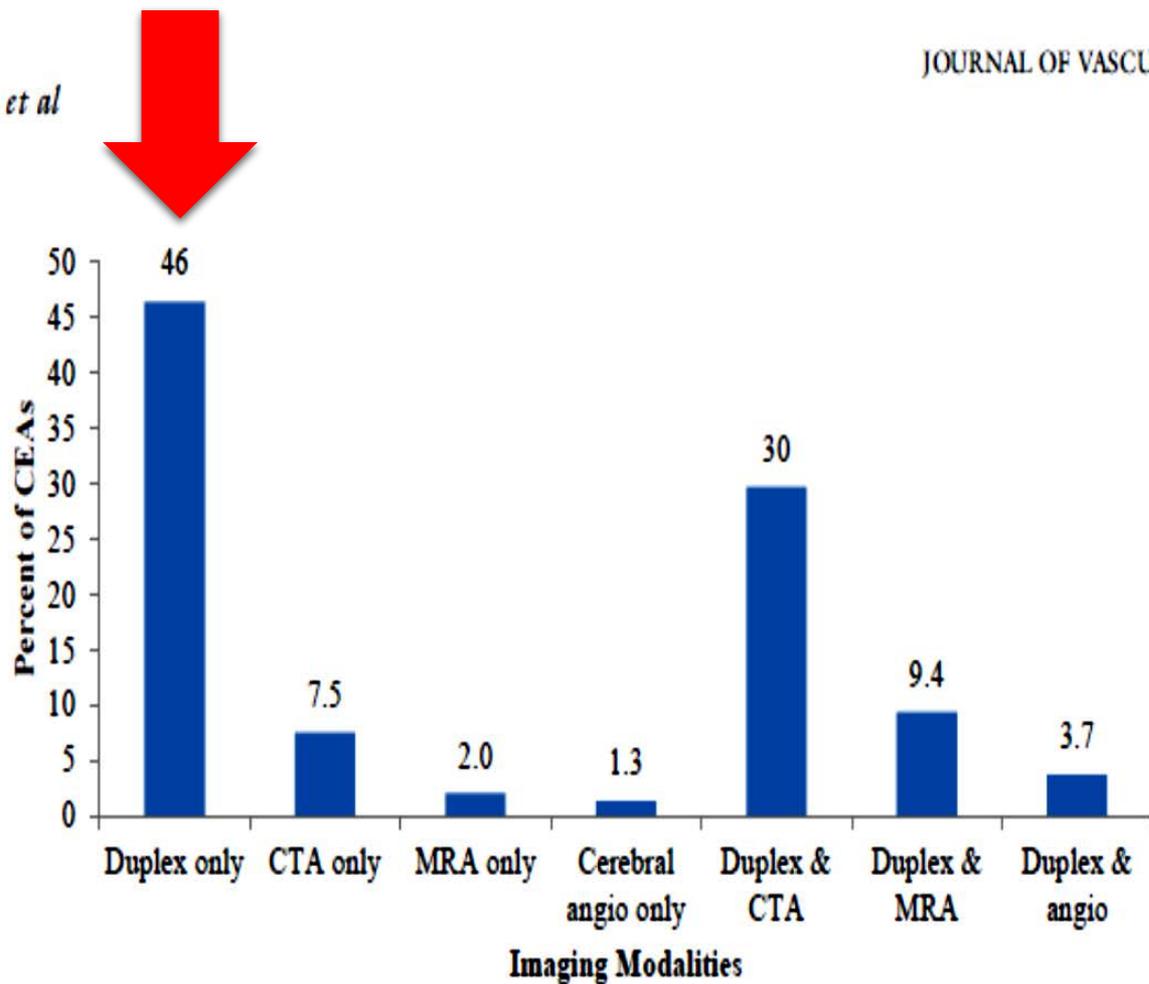
Le couple : **GSM + Detection HITS** est le plus performant pour identifier les sténoses carotidiennes à Haut Risque, le **produit de contraste** justifie d'études complémentaires



# Demain, carotides et ULTRASONNS

- Critères classiques écho-Doppler pour la quantification de la sténose
- Approche de l'étude de la plaque : **GSM**
- Vulnérabilité :
  - **GSM**
  - **DTC**
  - Produits de Contraste
  - **Autres**





**Fig 1.** Imaging studies obtained before carotid endarterectomy (CEA) for asymptomatic carotid artery stenosis (n = 18,447). CTA, Computed tomography angiography; MRA, magnetic resonance angiography.



# Take Home Message Plaque Carotidienne

- **La quantification du degré de sténose carotidienne repose sur l'écho-Doppler Pulsé**
- **L'hémodynamique est à privilégier**
- **Aujourd'hui l'étude de la plaque à la recherche de sa vulnérabilité suscite de nombreuses études par les ultrasons mais aucune ne peut être recommandée en pratique courante, pas de validation.**
  - GSM
  - HITS
  - *Produit de Contraste*
- **Les indications thérapeutiques : chirurgie /angioplastie reposent sur le degré de sténose**
- **Nécessité d'une validation de l'histologie ultrasonique de la plaque**

