

Les technologies avancées en US

J. Roumy J.M. Correas***

**GIM CHU Tours*

****CHU Necker Paris*





L'Elastographie

- Utilisée pour mesurer l'élasticité des tissus
- Repose sur 3 étapes :
 - Excitation : transmission d'une contrainte
 - Acquisition : recueil des signaux des tissus déformés
 - Traitement et rendu de l'information : analyse de la déformation induite par la propagation de la contrainte



Le Dur et le Mou

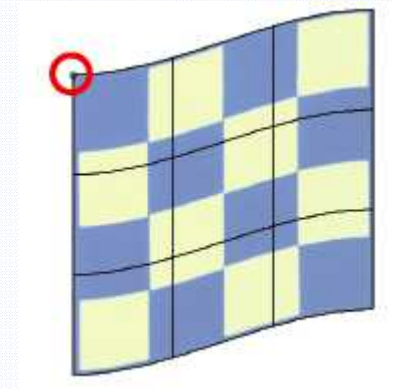
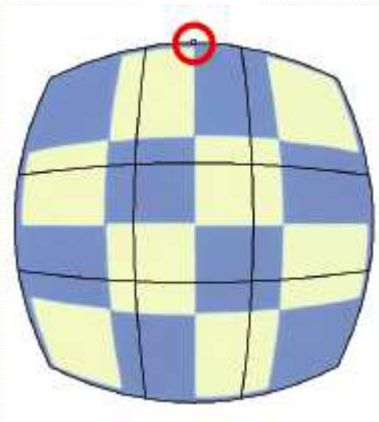


CAS ISOTROPE :

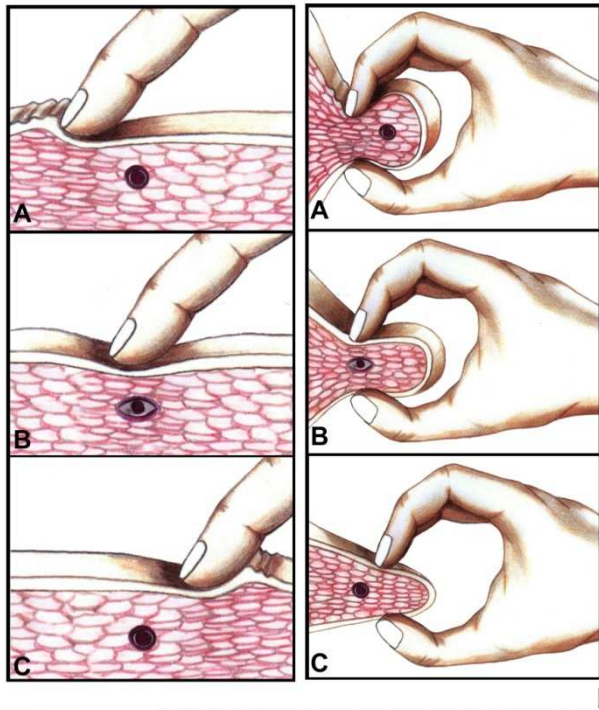
Seulement

2 Elasticités différentes :

Compression et Cisaillement



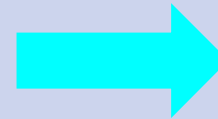
Comment faire pour distinguer le dur du mou ?



On compare force et déplacement
Ou plutôt contraintes (Pa) et déformation (1)

Principe physique de la contrainte

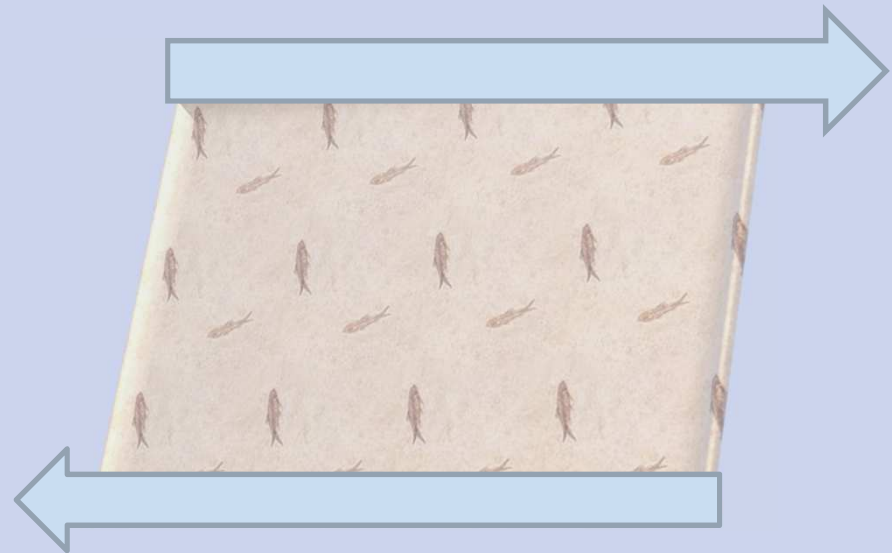
- Compression : on change de volume



- $K = 2\,250\,000 \text{ kPa}$
- $c = 1500 \text{ m/s}$

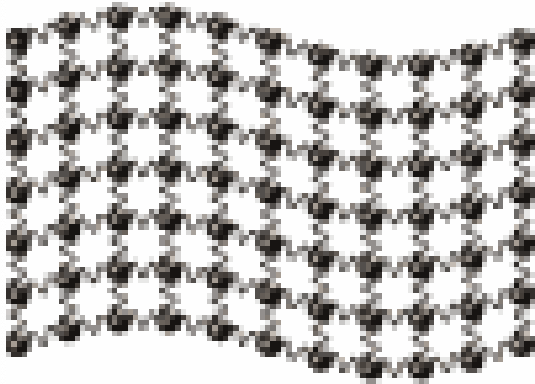
Principe physique de la déformation

- Cisaillement : volume inchangé, on tord le solide



- C'est assez facile pour les tissus mous :
 $m = 1 \text{ à } 300 \text{ kPa}$
 $c = 1 \text{ à } 20 \text{ m/s}$

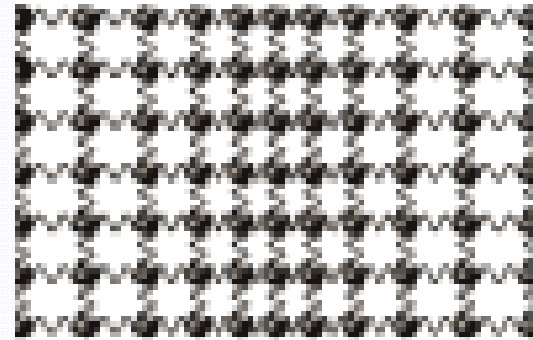
Les ondes correspondantes :



Onde de cisaillement

$$c^2 = \frac{\mu}{\rho}$$

Ne se propage pas dans les fluides



Onde de compression

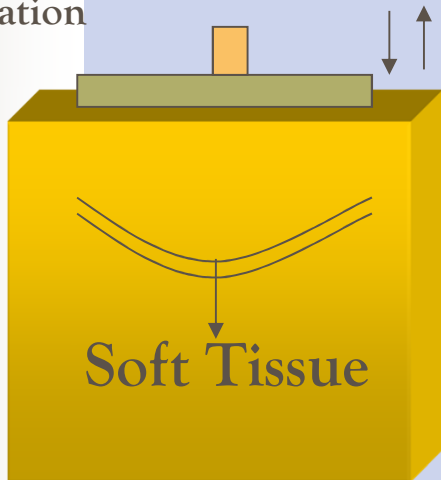
$$c^2 = \frac{K}{\rho}$$

Les ondes de l'écho ordinaire

Élastographie ultrasonore

Comment ça marche ?

vibration



Soft Tissue

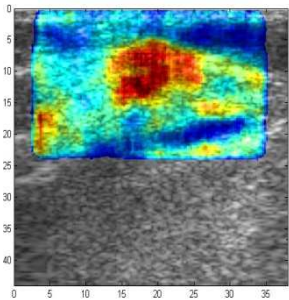
sonde



Etape 1: Génération d'une vibration basse fréquence

Etape 2: Imagerie (US, MRI)

Etape 3: Estimation de l'élasticité



Élastographie ultrasonore

Comment ça marche ?

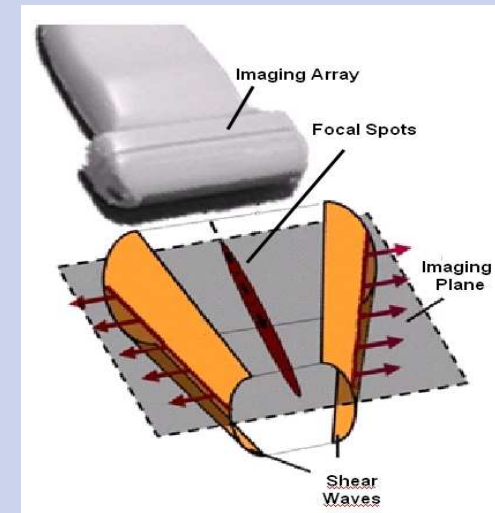
3 types de source d'onde de cisaillement



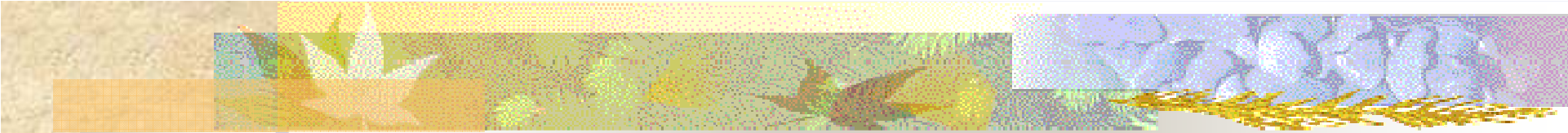
Punch



Battements
cardiaques



Vent US



L'élastographie US

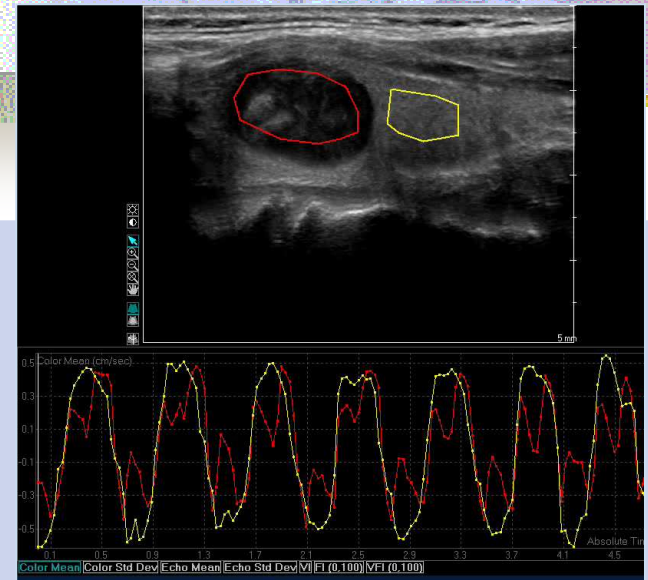
Les différentes approches

- **Deux techniques différentes:**
 - Elastographie statique (ou quasi-statique)
 - utilisant une déformation externe (push alternatifs)
 - utilisant une déformation interne (battements cardiaques...)
 - Elastographie par ondes de cisaillement
 - par déformation externe (Transient E, FibroScan®):
pas d'image (1D)
 - par un push US (ARFI)
 - image anatomique, quantification « single point » (1D)
 - image anatomique, cartographie 2D, acquisition unique
 - image anatomique, cartographie 2D,
acquisition temps réel

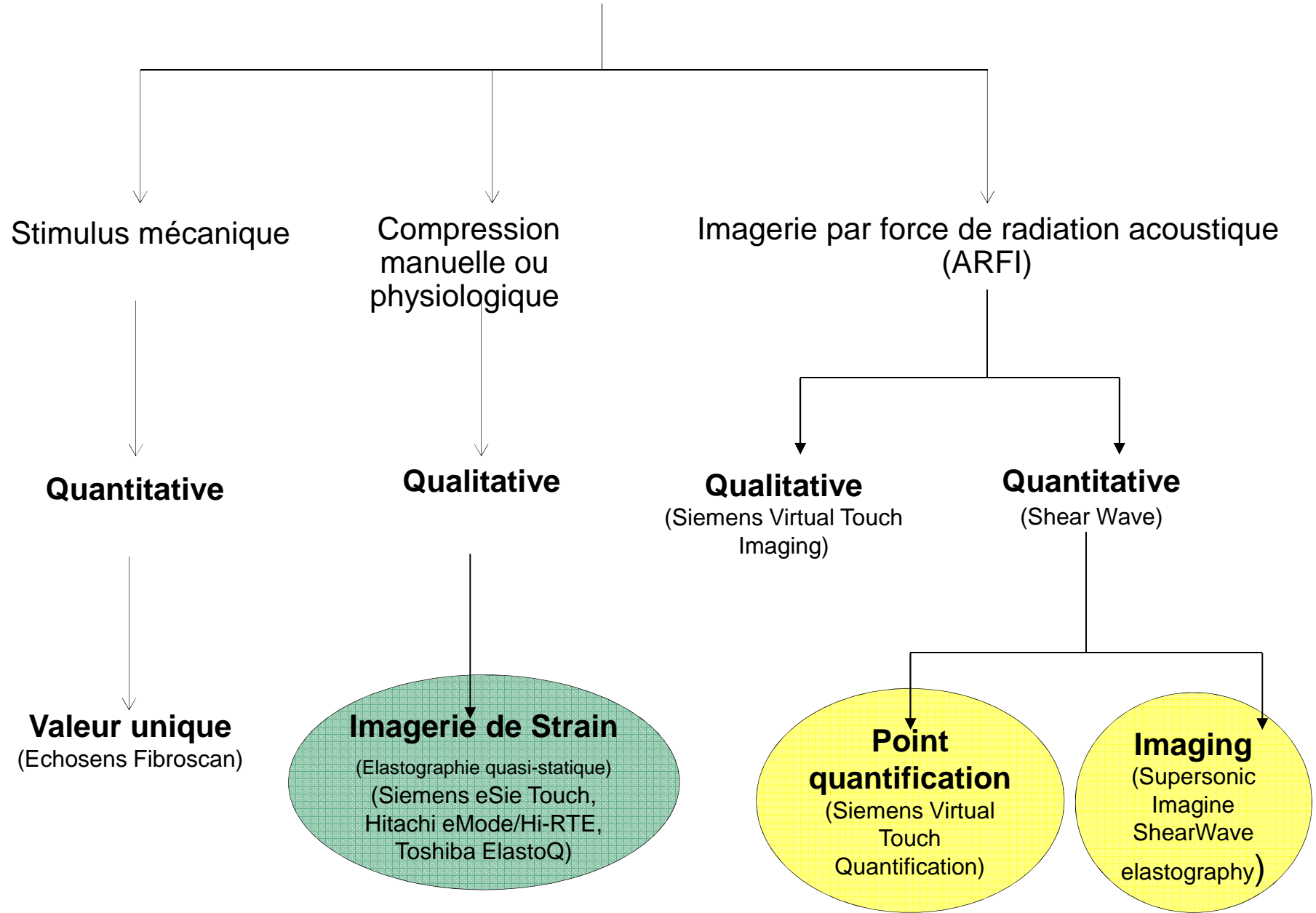
Elastographie

- Deux grandes approches:

- élastographie de déformation (strain) ou quasi-statique
 - par application d'une déformation externe
 - par utilisation des variations de mouvements internes
- élastographie par ondes de cisaillement
 - par impulsion externe (Transient E); pas d'image (1D)
 - par impulsion US (ARFI)
 - image anatomique, quantification ponctuelle (1D)
 - image anatomique, cartographie 2D, acquisition unique
 - image anatomique, cartographie 2D, temps réel



Elastographie ultrasonore



Source de compression

Quantitative vs. Qualitative

Point vs. Image

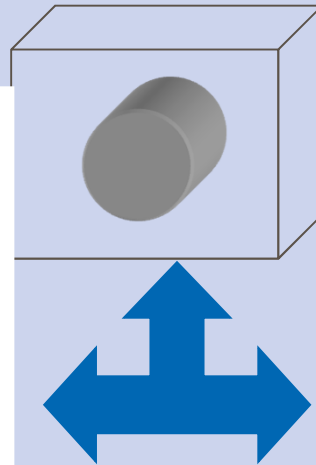
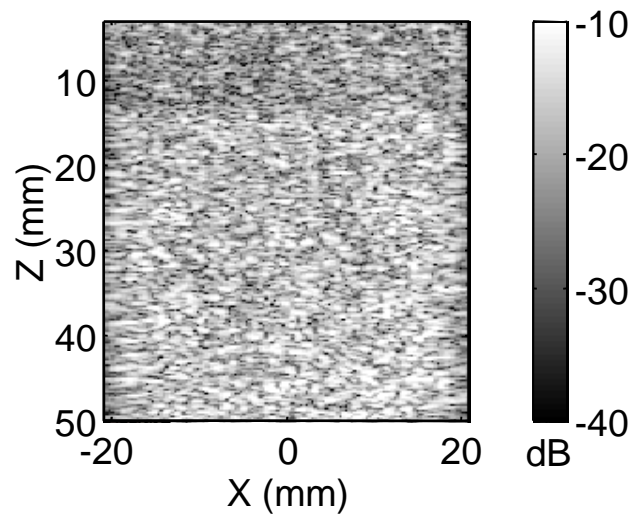
L'échographie par onde de cisaillement mono-dimensionnelle (Fibroscan®, Echosens)

Mesure de l'élasticité

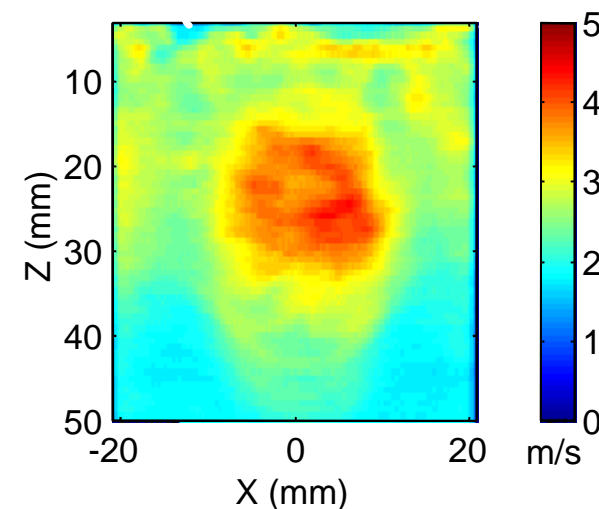
- engendrer une onde de cisaillement (vibration à basse fréquence)
- propagation des US: fct uniquement de la compression => permet de faire de l'imagerie US



Image échographique



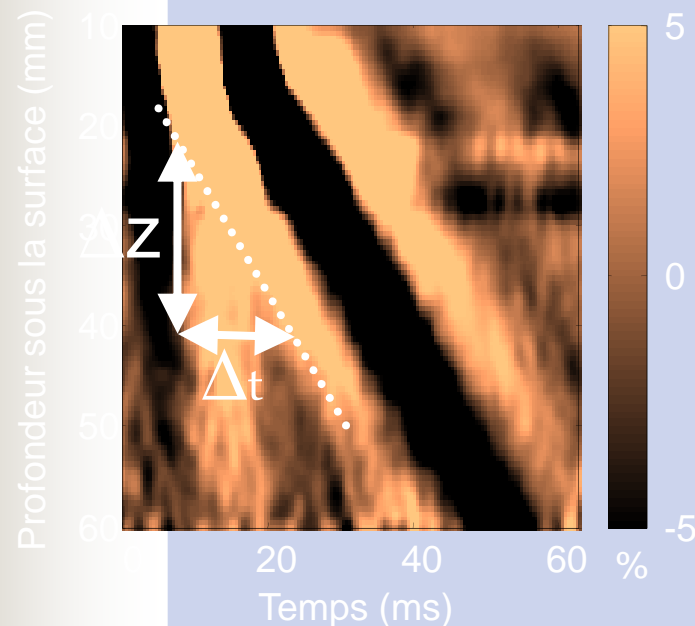
Vitesse de cisaillement (élasticité)



L'élastographie par onde de cisaillement mono-dimensionnelle (Fibroscan®, Echosens)

• Mesure de l'élasticité

- vibreur => impulsion mécanique basse fréquence faible amplitude
- transducteur US => mesure de la vitesse de l'onde de cisaillement
- calcul de la déformation locale du milieu en fonction du temps et de l'espace (élastogramme)



Calcul de la vitesse

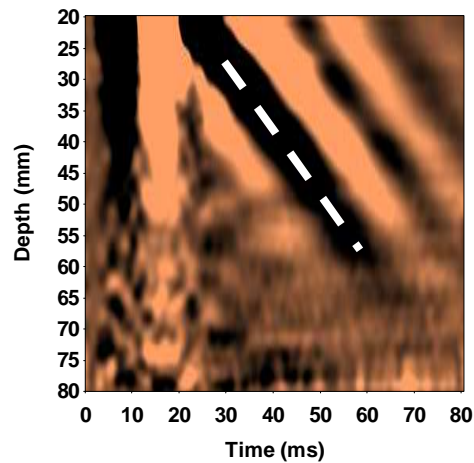
$$V_s = \frac{\Delta z}{\Delta t}$$

Calcul de l'élasticité

$$E = 3\rho V_s^2$$

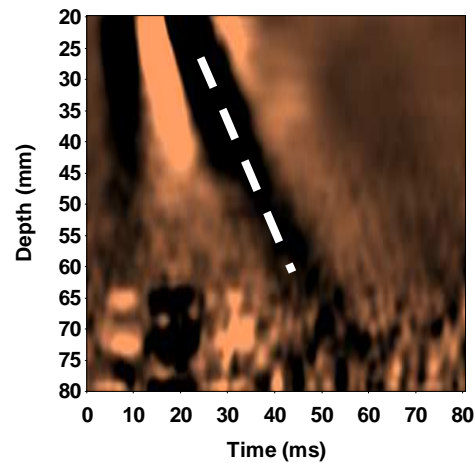
APPLICATION HEPATIQUE

• Elastogrammes du foie in vivo



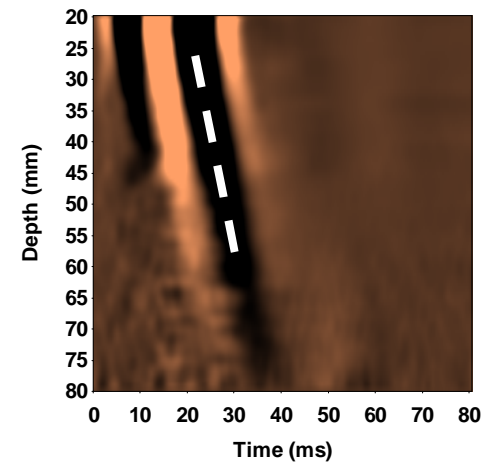
$V_S = 1.1 \text{ m/s}$
 $E \sim 3 \text{ kPa}$

F0



$V_S = 1.6 \text{ m/s}$
 $E \sim 8 \text{ kPa}$

F1



$V_S = 3.6 \text{ m/s}$
 $E \sim 40 \text{ kPa}$

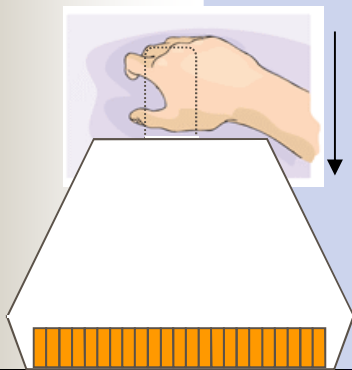
F2

F3

F4

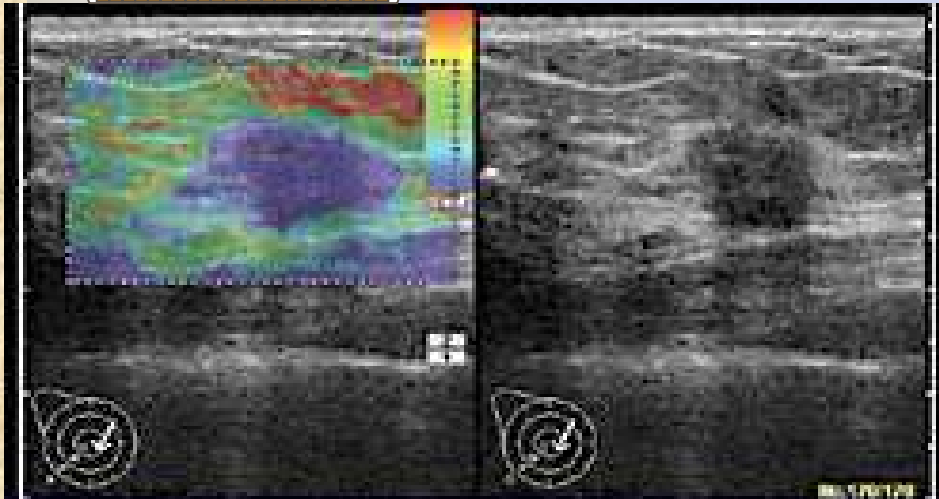
L'élastographie statique/quasi statique

- Limites:
- Artefacts de cisaillement
 - Opérateur dépendant
 - Elasticité relative
 - Déformation hétérogène dans l'espace

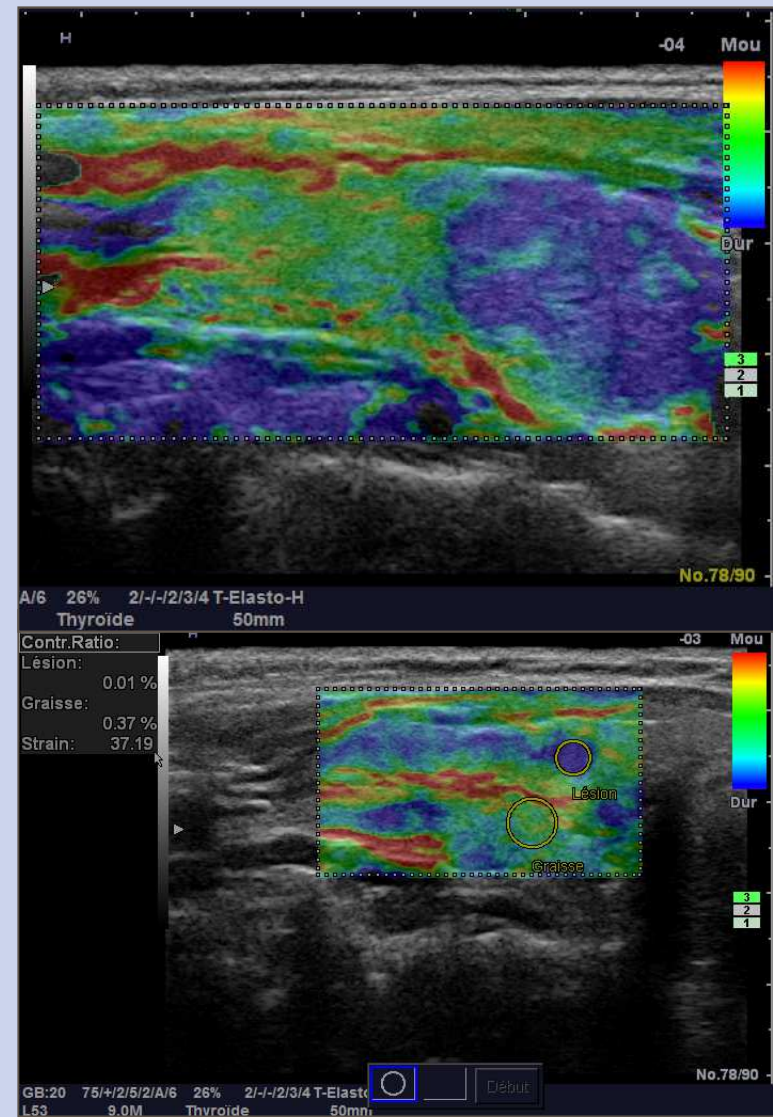
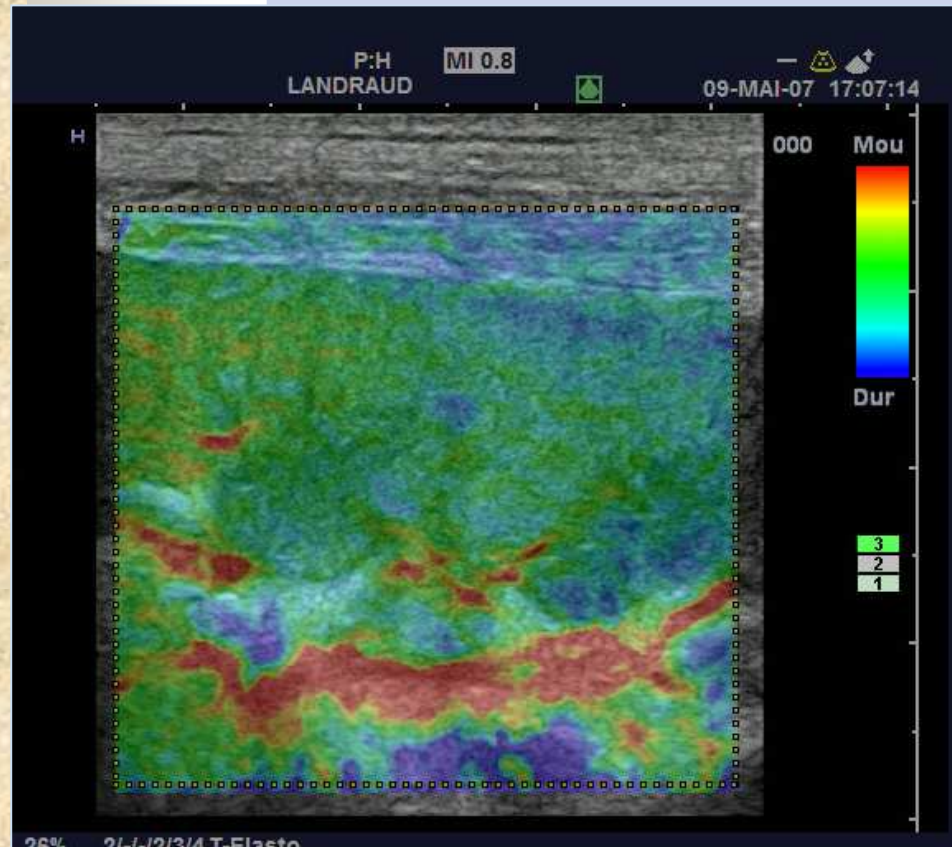


HITACHI

SIEMENS



L'élastographie statique/quasi-statique





Elastographie en pratique

- Hépatique
- Sein
- Prostate
- Thyroïde
- Autre.....



L'élastographie hépatique

- **Etude de la fibrose hépatique:**
 - Impact pronostique et prise en charge pour le suivi : dépistage des VO et du CHC pour la progression de la fibrose:
 - évolution naturelle de la fibrose
 - indication thérapeutique
 - évaluation de l'efficacité du traitement
 - Biopsie hépatique
 - marqueurs sériques
 - Elastographie US (TE, SWE)



Les propriétés idéales d'un test dg

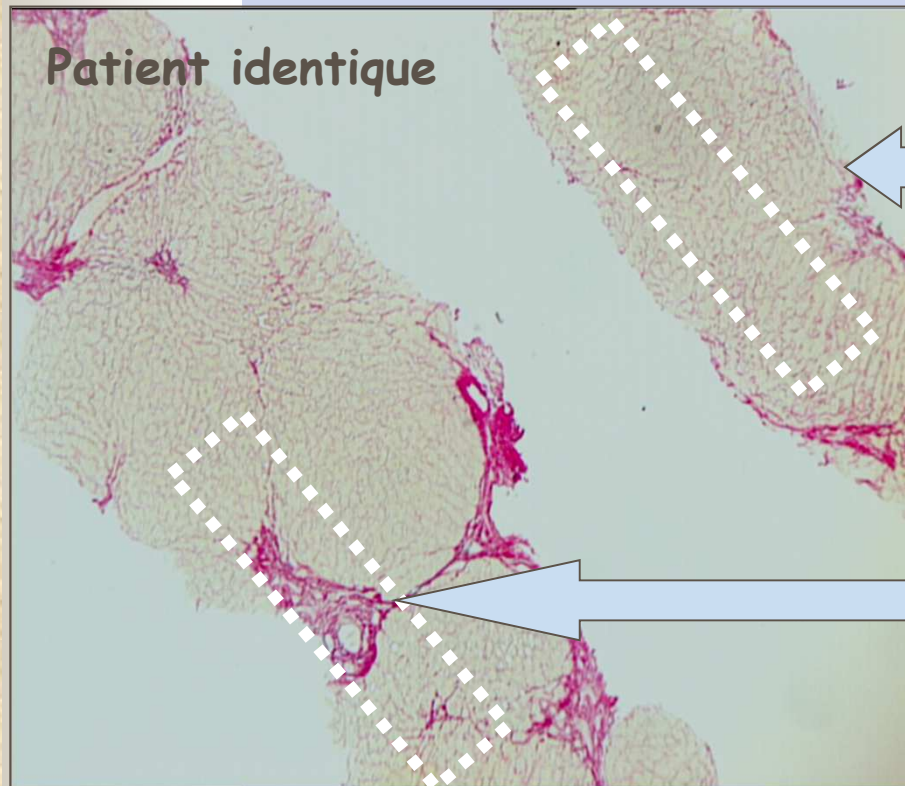
- **Efficacité:**
 - Précision diagnostique
 - dg de fibrose significative ($F \geq 2$)
 - monitoring de la progression de la maladie
 - monitoring de la réponse thérapeutique
 - Reproductibilité
 - Robustesse
- **Tolérance => acceptabilité**
- **Simple et disponible en routine**



La biopsie hépatique

- **Test de référence (« gold standard »)**
- **Avantages**
 - Information sur l'étiologie et les cofacteurs
 - Information supplémentaire immuno-histochimique & biochimique
 - Concentration en fer
 - Grade (activité) et stade (fibrose)
- **Inconvénients**
 - Procédure invasive, complications (morbidité 1/100 à 1/10000)
 - Mortalité 1/10000
 - Erreur d'échantillonnage (1/50000 du volume hépatique)
 - Variabilité de lecture intra/interobservateur
 - Evaluation non dynamique
 - Absence de stade après F4

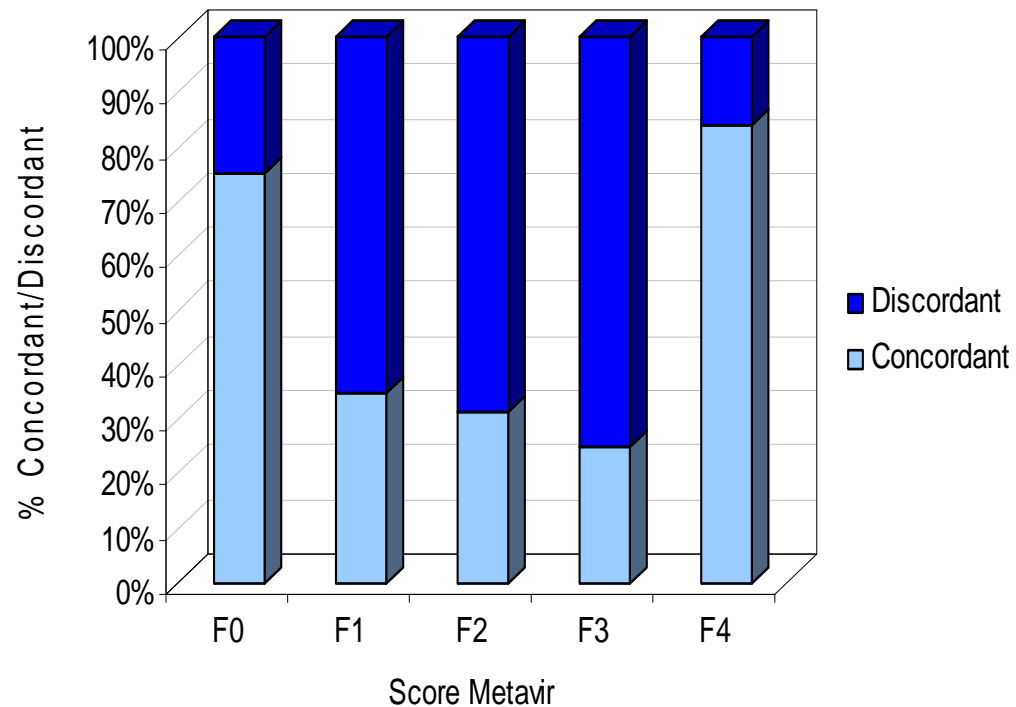
Les limites de la biopsie



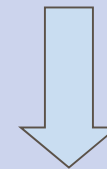
• Critères de qualité

- longueur minimale: 25 mm
- nb minimal d'espace porte (>6; >10?; >12?)

Les limites de la biopsie



Discordance entre
3 pathologistes (n=234)



L'expérience du pathologiste
est le
facteur le + important

Les Biomarqueurs sériques



- « **Directs** »
 - Hyaluronate
 - PIIINP (Procollagen III-N peptide)
 - Laminin
 - Type IV Collagen
 - MMP (Matrix metalloproteases)
 - TIMP-1 (Tissue inhibitory metalloprotease-1)
 - TGF-beta
 - YKL-40
- « **Indirects** »
 - Prothrombine time
 - Platelet count
 - AST/ALT Ratio ...



Bibliographie

- Elastography+liver : 246 entre janvier 2018 et aout 2019
- ARFI/TE (VHC, VHB)
- NAFLD
- Marqueurs biologiques
- Etude récente Hepatology Research (Nishimura et al)
 - 1217 patients MCF (331B,886C)
 - Elastographie US ARFI
 - Corrélation APRI, ASAT, Fib4, HA
 - Différence de valeurs entre VHB et VHC pour mm LFS
 - Lié au nb de fibres de collagène

Elastographie impulsionnelle

Performances diagnostiques pour $F \geq 2$

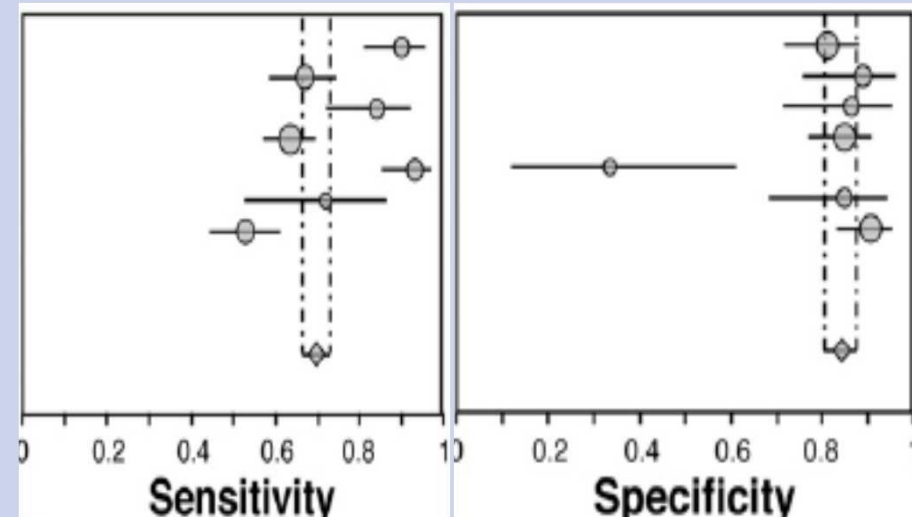
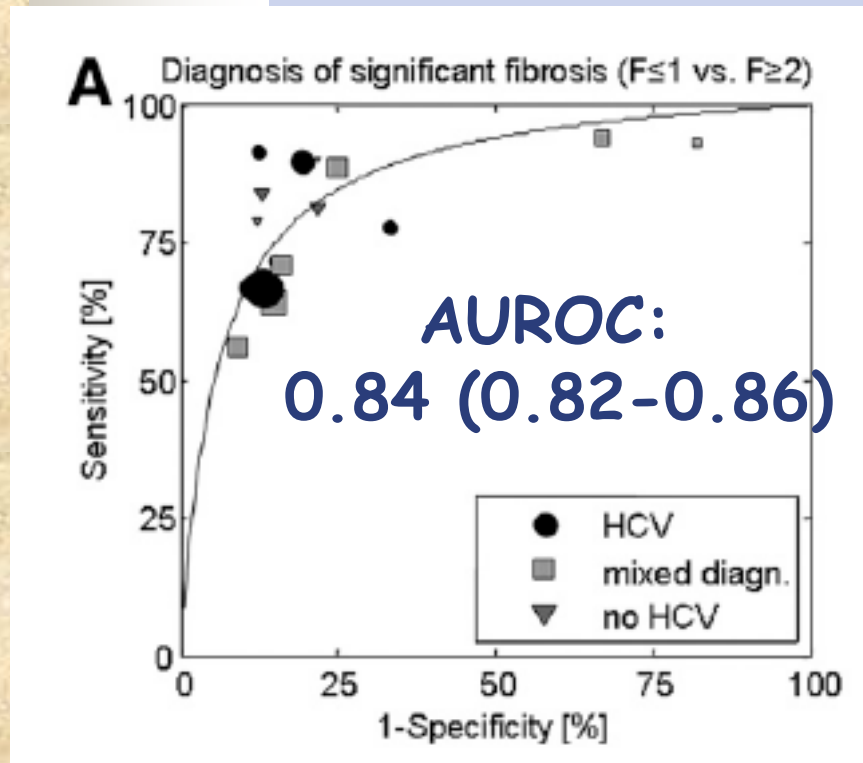
Etiologie	HBV	HIV-HCV	PBC-PSC	NAFLD	ALD
Seuil (kPa)	7.0	4.5/ 7.2	7.3	6.6/ 7.4	7.8
AUROC	0.81	0.72/ 0.83	0.92	0.86/ 0.99	0.91

Marcellin et al. Liver Int 2008; Vergara et al. CID 2007; de Ledinghen et al. JAIDS 2006; Yoneda et al. Gut 2007; Nobili et al. Hepatology 2008; Corpechot et al. Hepatology 2006. Ngyuen-Khac et al. APT 2008; Nahon et al. J Hepatol 2009

Elastographie impulsionnelle

Performances diagnostiques pour $F \geq 2$

Seuil optimal: **7.6 kPa**



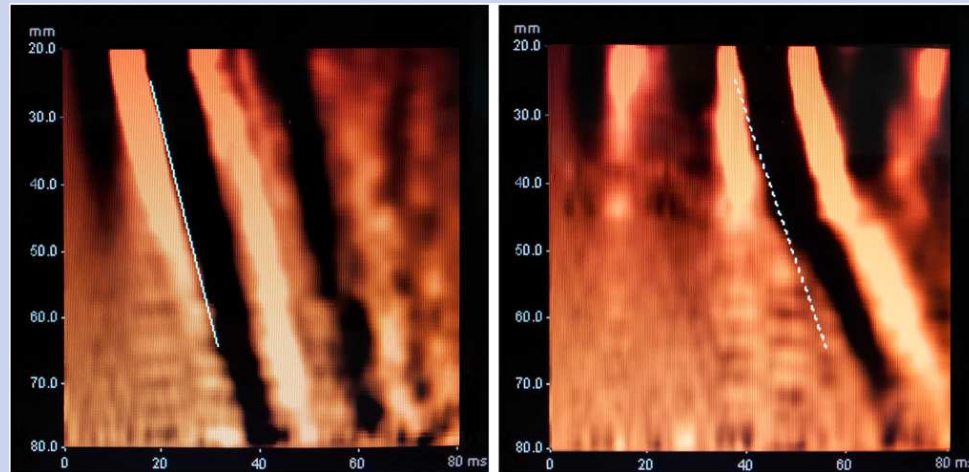
Se: 70% (67-73) Spe: 84% (80-88)

Friedrich-Rust et al. Gastroenterology 2008; Talwalkar et al. Clin Gastroenterol Hepatol 2007;

Elastographie TE

Limites (n=13369)

Castéra et al. *JASL* 2009;
Cournane *Phys Med Biol* 2012

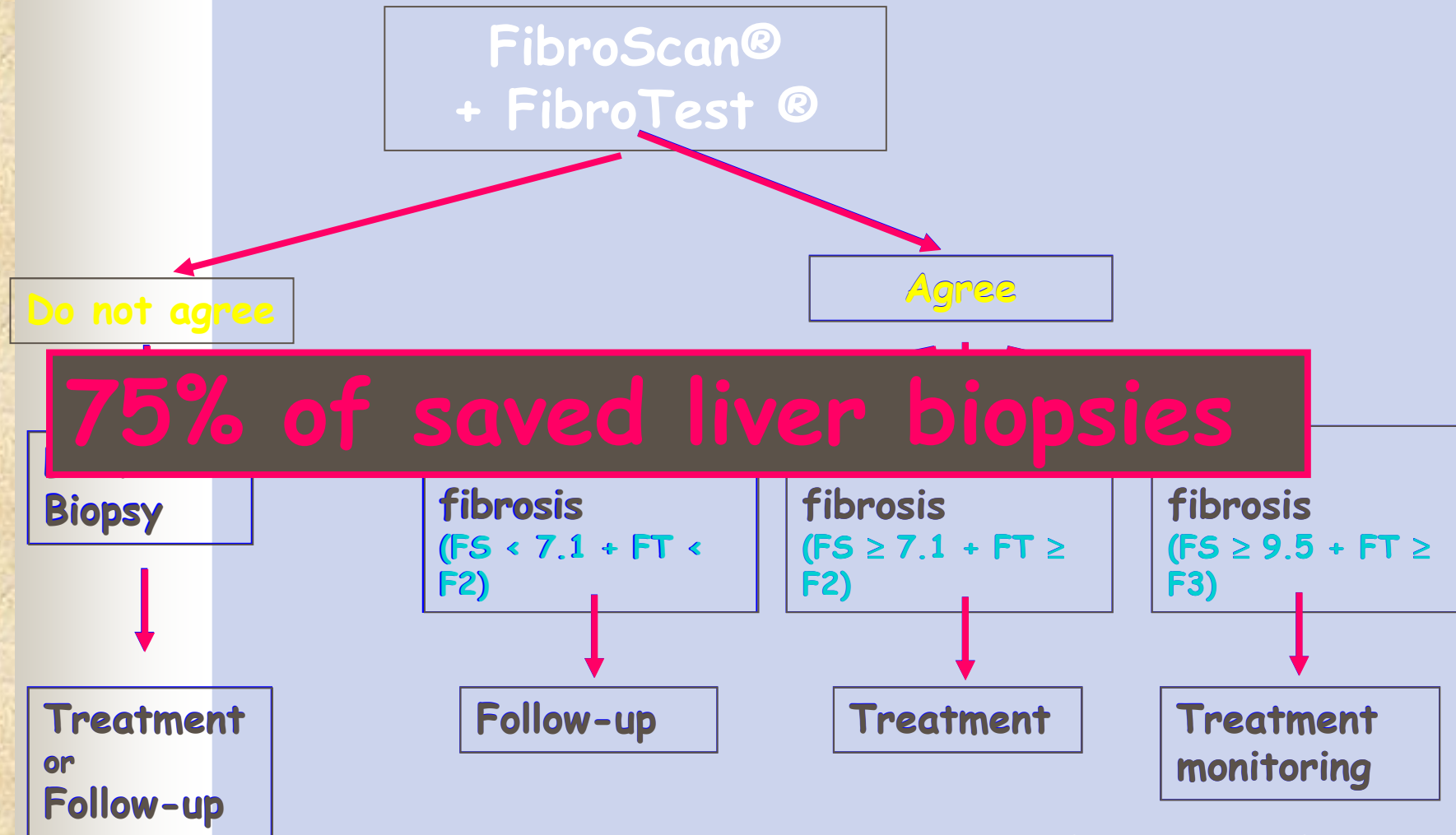


no overlaying fat layer 45 mm thick overlaying fat layer
SW velocity from a linear fit (white line) =>
clearly problematic in the case fat layer

Erreurs (taux d'échec 3,1 %, erreur dans 15,8%):

- Expérience de l'opérateur
- Obésité (BMI > 30), diabète
- Ascite
- Insuffisance cardiaque droite
- Hépatite aiguë exacerbée
- Cholestase extra hép.
- β -bloquants, inspirat. max

Algorithme en pratique clinique



Castera et al. Gastroenterology 2005;

Quid dans le LI-RADS

CEUS LI-RADS

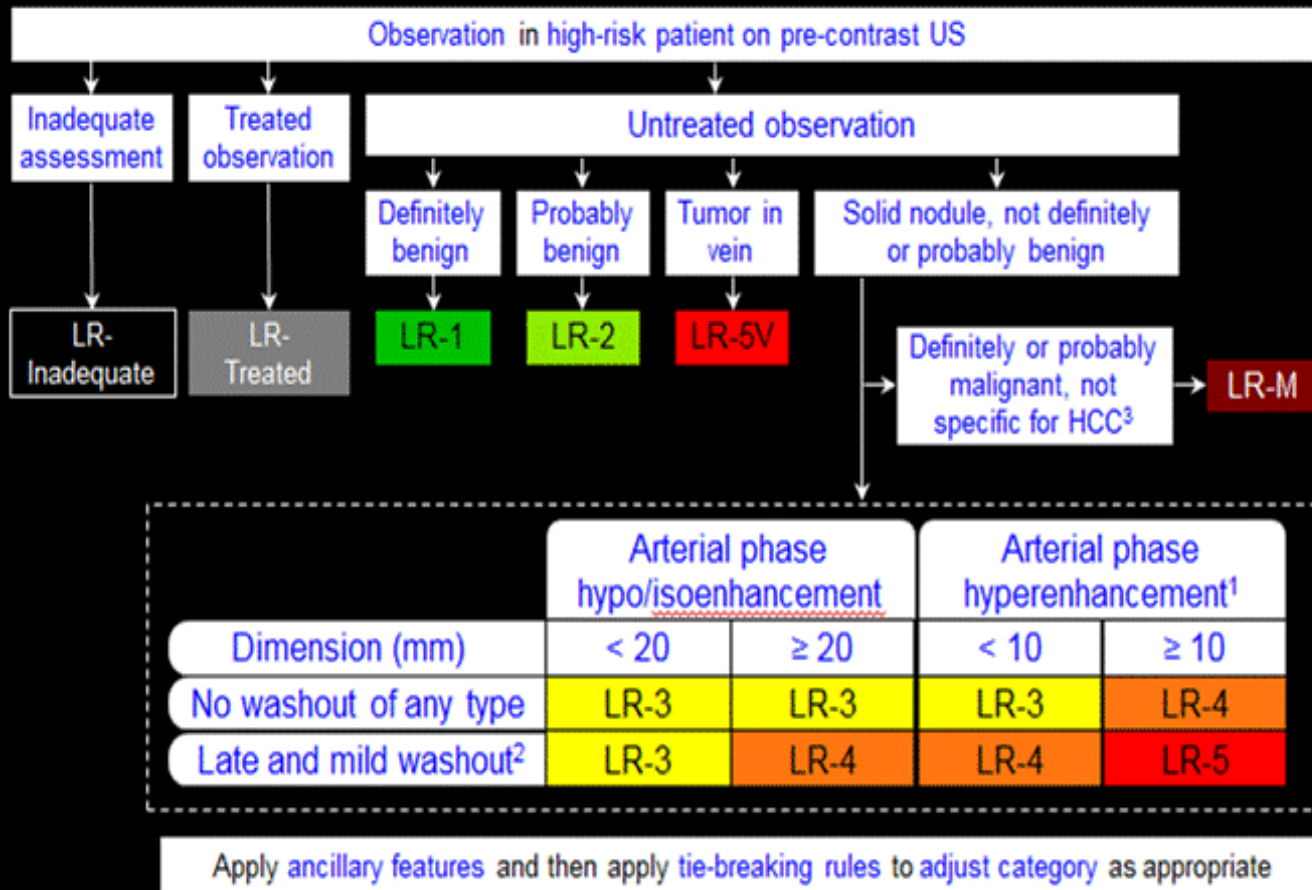
v2016



[Intro](#) [Overview](#) [Categories](#) [Reporting](#) [Management](#) [Technique](#) [Index](#)



Algorithm for CEUS



LR-1

- Cyst
- Classic hemangioma
- Definite focal hepatic fat deposition or sparing

LR-2

- Isoenhancement in all phases
- Distinct solid nodule <10mm OR
- Not a distinct solid nodule, any dimension
- Observation previously LR-3, and stable dimension for 2 years or more

LR-5V

- Definite enhancing soft tissue in vein regardless of visualization of parenchymal mass/nodule

LR-M

- Washout Characteristics:
- Early onset washout (< 60sec) and/or marked (punched out) appearance
 - Arterial phase enhancement
 - Rim enhancement

¹ Arterial phase hyperenhancement: whole or in part, not rim or peripheral discontinuous globular enhancement
² Late in onset (≥ 60 seconds) and mild in degree: in whole or in part, with no part showing early or marked washout
³ Early onset washout (<60seconds) and/or marked (punched out) appearance and/or arterial phase rim enhancement



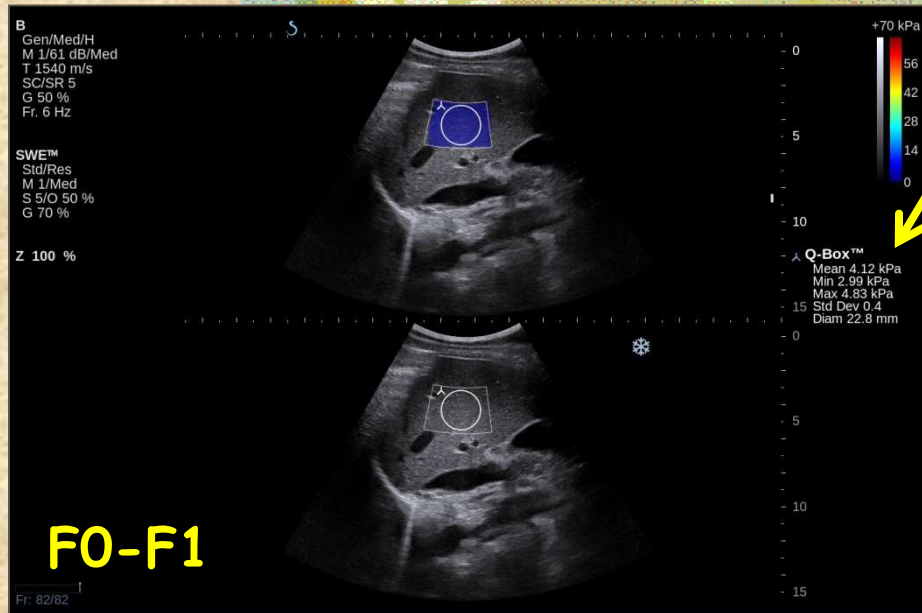
Autres intérêts

- **Prédiction des complications de la cirrhose:**
 - HTP: AUROCs 0,94-0,99 (seuil 13,6 à 21 kPa)
 - VO grade 2-3: AUROCs 0,72-0,78 (seuil 19,8 à 47,5 kPa)
 - CHC (sur hep B et C): risque de CHC corrélé à TE
- **Elasticité splénique:** bonne corrélation à la pression portale ($r= 0,89$), supérieure à celle de l'élasto hépatique
- **Facteur pronostic de survie:** si $TE > 9,5$ kPa => diminution de la survie à 5 ans
- **Screening de cirrhose:** chez 1190 patients adressés pour écho abdominale sans maladie hépatique connue,
=> 7,5% avec $TE > 8$ kPa dont 43% avec hépatopathie chronique !!!

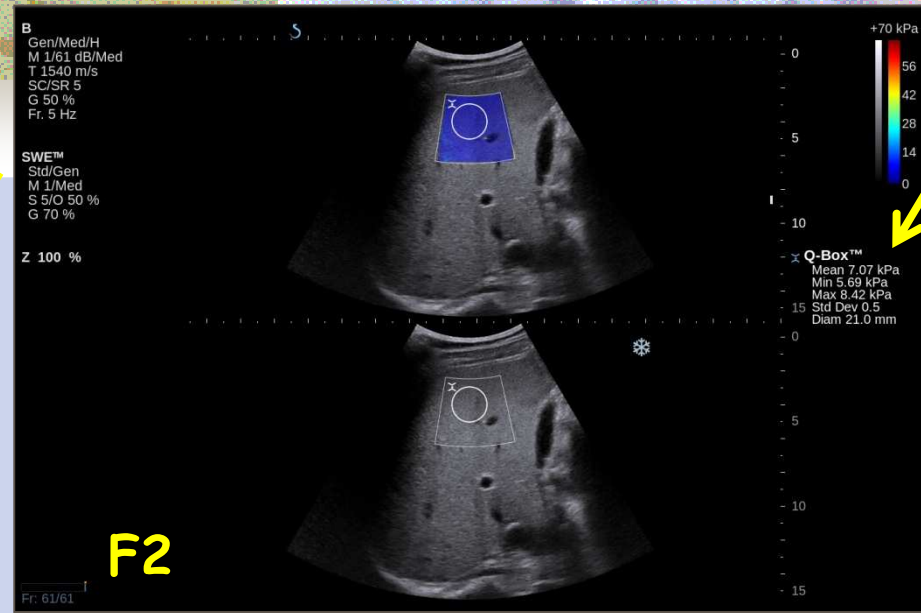


Les techniques d'élastographie US

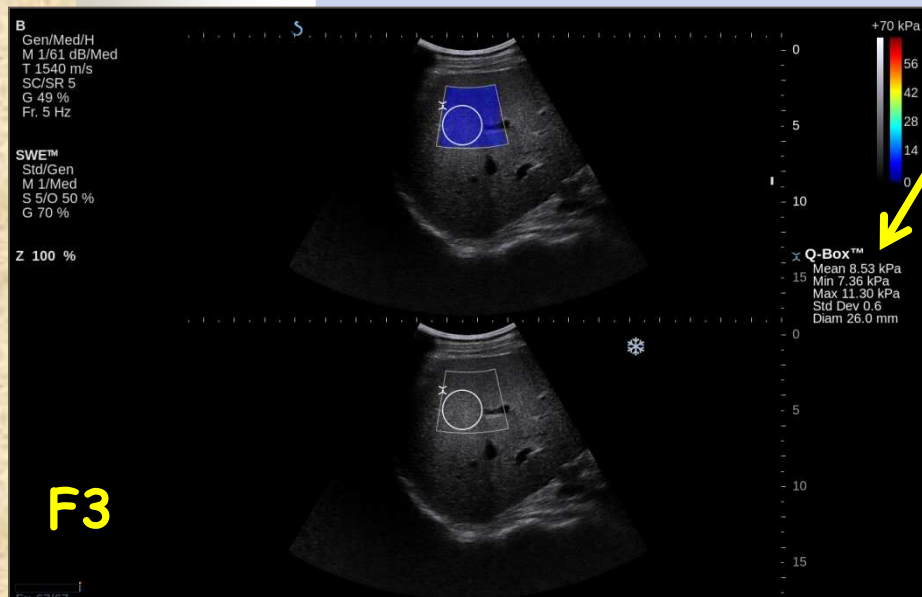
- **ARFI (Siemens, Philips):**
 - $F \geq 2$: AUROCs 0,85-0,89 (seuil 1,21-1,34 m/s)
 - Cirrhose: AUROCs 0,89-0,93 (seuil 1,55-2,0 m/s)
 - Performances similaires au FibroScan®
 - Reproductibilité bonne (ICC 0.87)
 - chevauchement des stades de fibrose
- **SWE (AixPlorer SSI, Canon I800):**
 - $F \geq 2$: AUROCs 0,95-0,98 (seuil 7,1 kPa)
 - Cirrhose: AUROCs 0,98 (seuil 15,6 kPa)
 - minor fibrosis ($\leq F2$)-($\geq F3$) major fibrosis



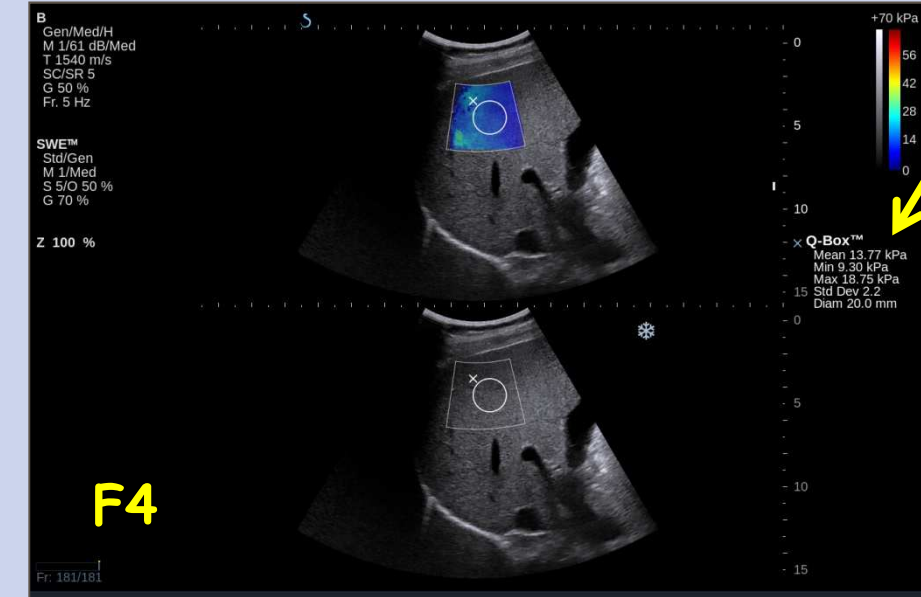
F0-F1



F2



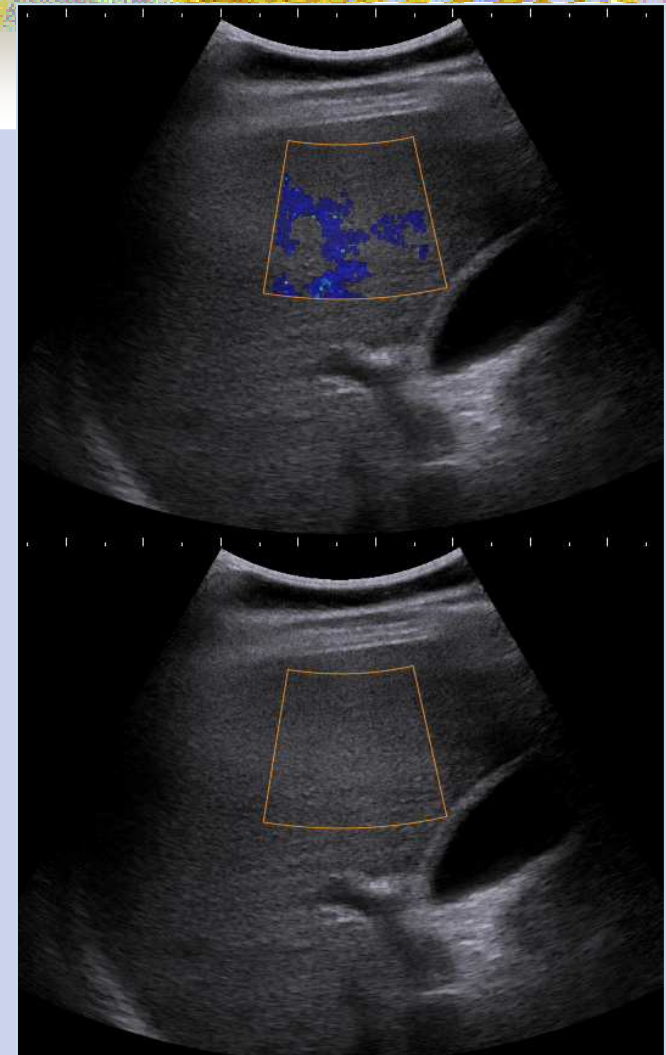
F3



F4

Les techniques d'élastographie US *Elastographie en mode SWE*

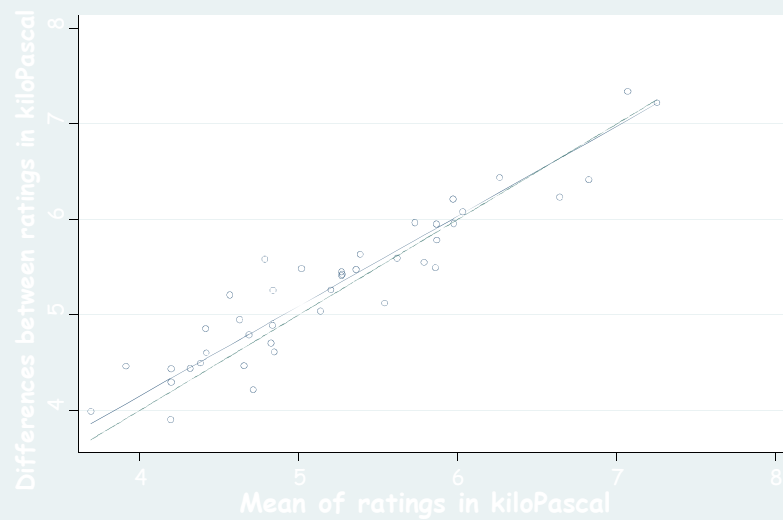
- **Avantages**
 - acquisition rapide couplée à l'examen US
 - double écran avec représentation simultanée du B-mode pour le guidage et du mode SWE pour l'élastographie
 - "quasi" temps réel permettant d'identifier les artefacts (mvt, capsule, vaisseaux...)
 - Large ROI à placer en fonction des structures anatomiques
 - Cartographie 2D de la dureté des tissus
 - Mesure quantitative de l'élasticité locale en kPa



Les techniques d'élastographie US

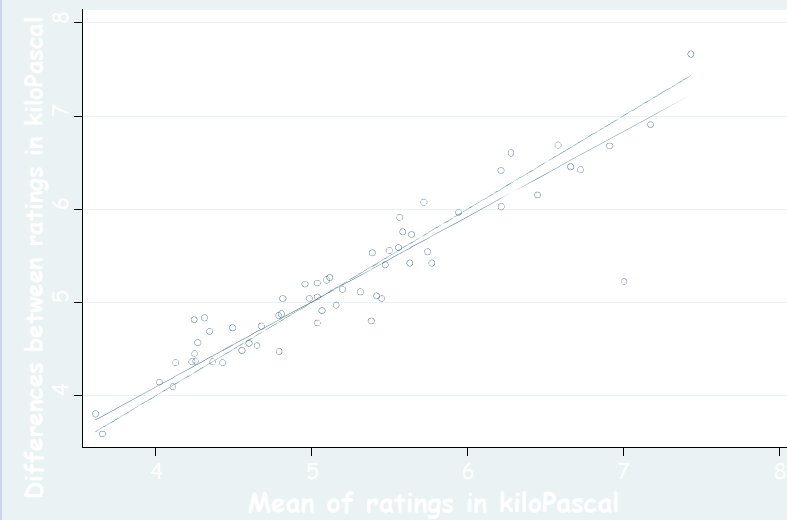
Elastographie en mode SWE: reproductibilité

Expert



0.95 (95% CI, 0.93-0.98)

Novice



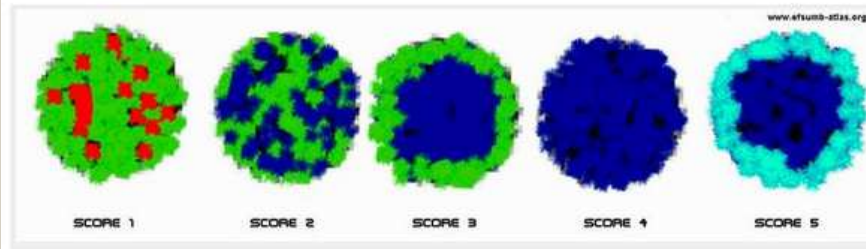
0.93 (95% CI, 0.90-0.96)

L'élastographie mammaire

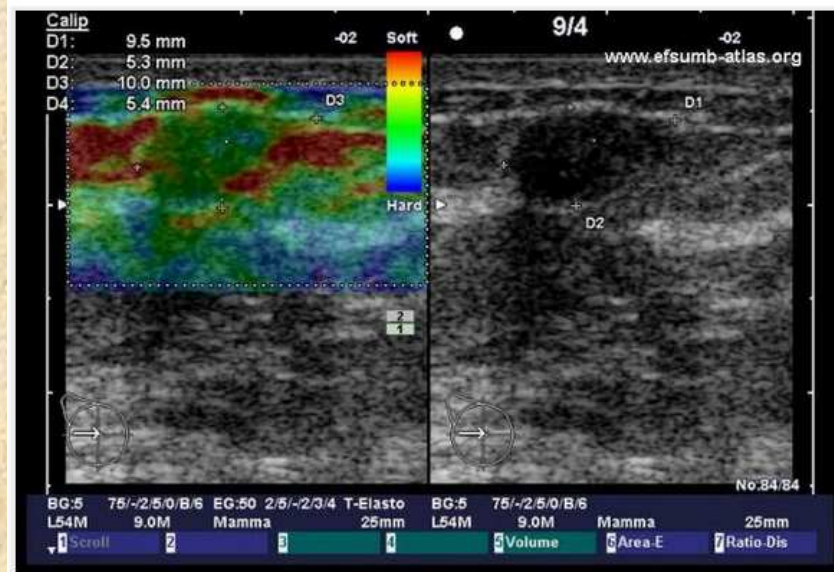
- **Equivalent de la palpation mammaire**
- **But:** améliorer la classif. des lésions BI-RADS 3 (surveillance) et le management des lésions BI-RADS 4a (reclassification en 3 ou 4b)
- **Elastographie statique:**
 - Critères de Tsukuba en 5 classes (4 et 5 durs et suspects)
 - Amélioration du score BI-RADS (370 ϕ tum<2cm, 39% K):
 - mode B seul : Se 90% Spe 68%*
 - mode B + Elasto : Se 84% Spe 88%
 - Cancers+ larges en mode E, et taille mieux corrélée à histo
ratio $\emptyset > 1$: Se 98,6% Sp 87,4%
 - 2 méta-analyses** : Se 83-88% Sp 83-84%,
ratio des \emptyset : Se 98% Sp 72%

Elastographie mammaire

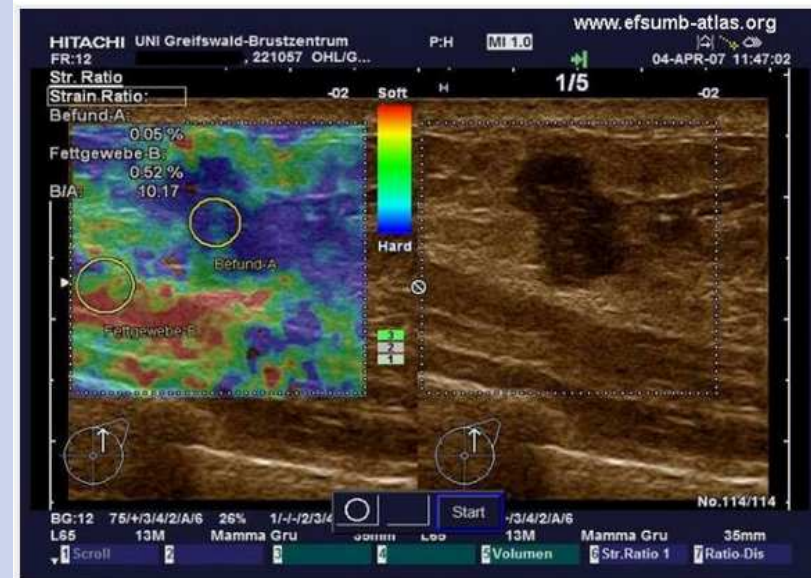
The Tsukuba Score



fibroadenoma



Strain ratio: invasive ductal carcinoma



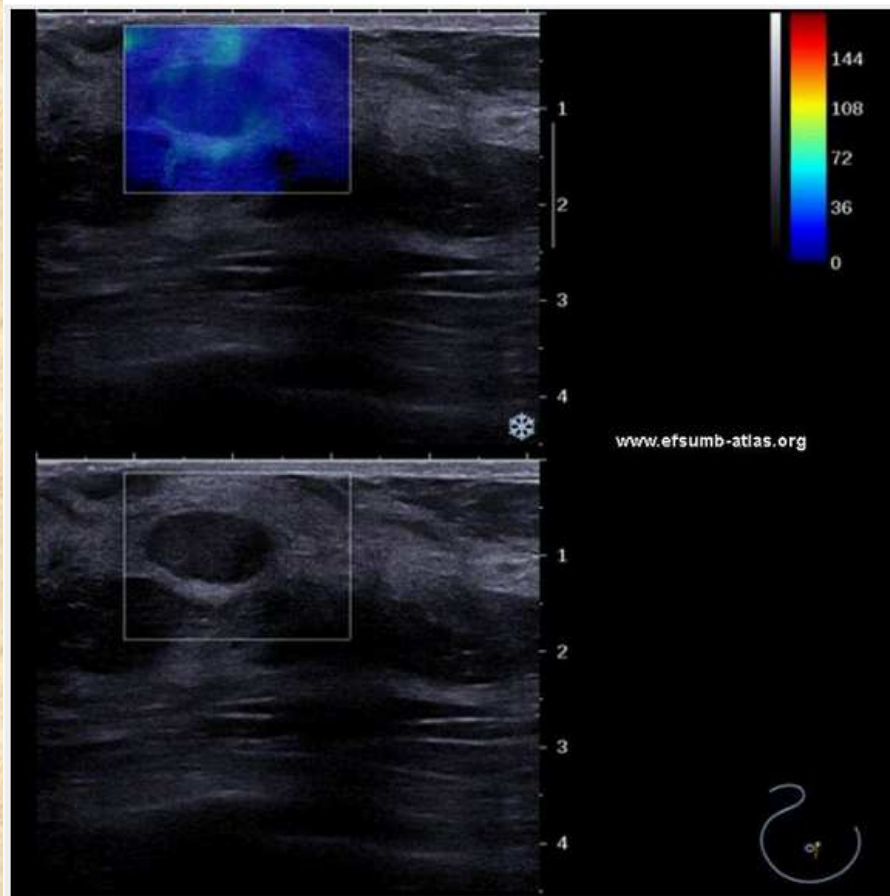


Elastographie mammaire

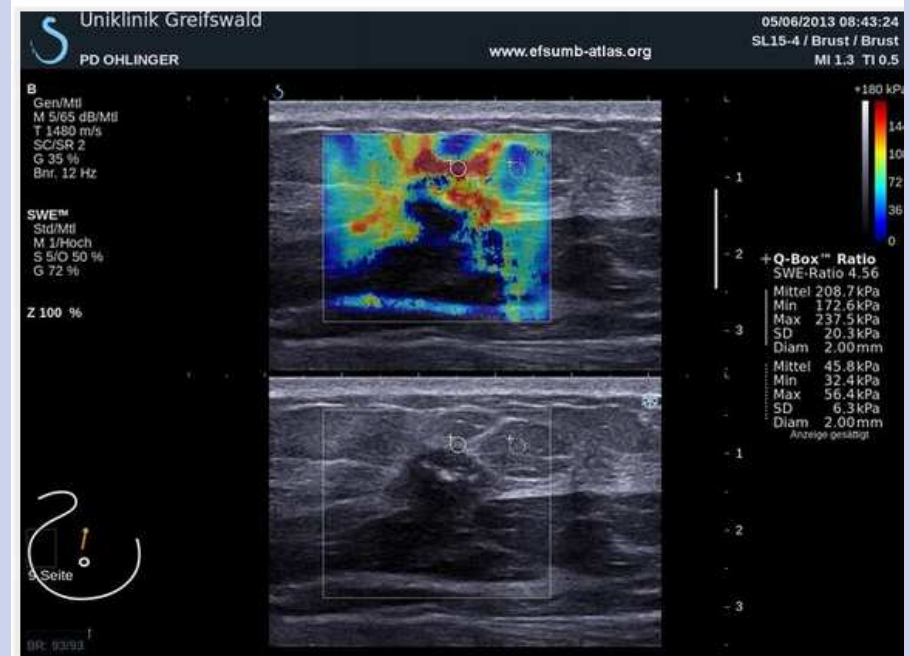
- **Elastographie en mode 2D SWE:**
 - **Cancers:** durs et hétérogènes surtout en périphérie
=> mesurer la zone la plus dure (périphérie)
 - **Limites:** vitesse des OC trop élevée, atténuation, kystes vides de signal
 - **BE1:** reclassification des lésions BI-RADS (≈ 1000 pat.) :
 - 3 en 4a => biopsie
 - 4a en 3 => surveillance (éviter biopsie)
 - => amélioration de Se 61% => 78,5% (seuil 80 kPa)
 - reproductibilité élevée ($ICC \geq 0,94$)
 - **Kystes:** absence de codage => defect (sauf si visqueux)
 - **ARFI** (161 masses; 43 K, seuil 3.6 m/s): Se 91%; Spe 80.6%

Elastographie mammaire

fibroadenoma



Invasive Ductal Carcinoma





L'élastographie mammaire

- **Limites:**

- Aspect des kystes
- Cancers mous, et lésions bénignes dures (qq fibroadénomes)
- Ne pas exercer de pression avec la sonde +++

- **Recommandations (qq soit la technique):**

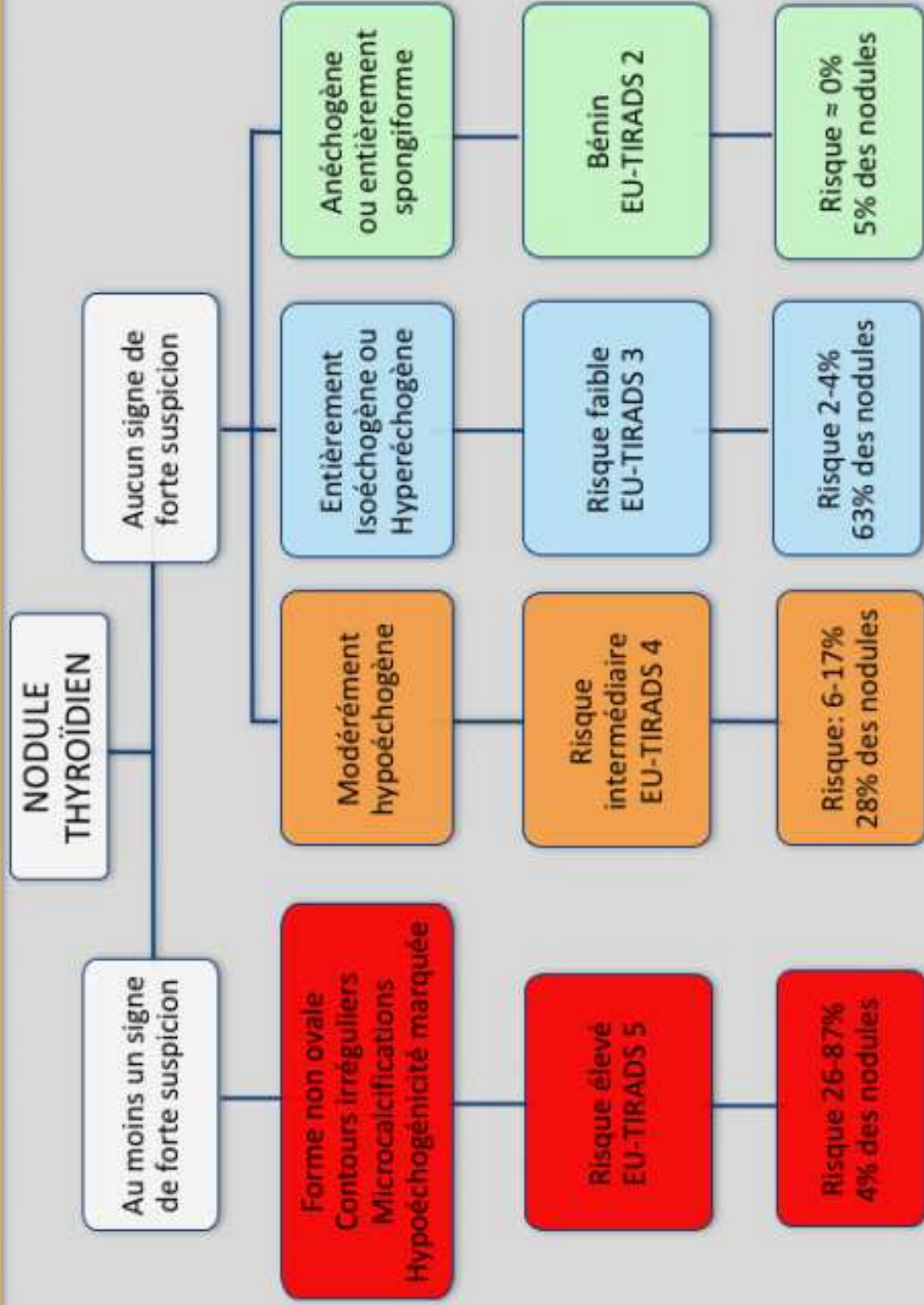
- Pour augmenter la confiance diagnostique dans le caractère bénin ou malin d'une lésion
- Pour reclasser les lésions d'apparence bénignes mais qui sont dures pour les adresser pour biopsies



L'élastographie thyroïdienne

- Largement utilisée par les thyroïdologues
- Critères TIRADS (caractérisation des nodules)
 - Volume, échogénicité, contenu, limites, contours, calcifications
 - Indice de rigidité anormal (fortement suspect : score TIRADS 4B ou 5)
 - Conduit à la biopsie

SCORE EU-TIRADS ET INDICATION DES CYTOPONCTIONS



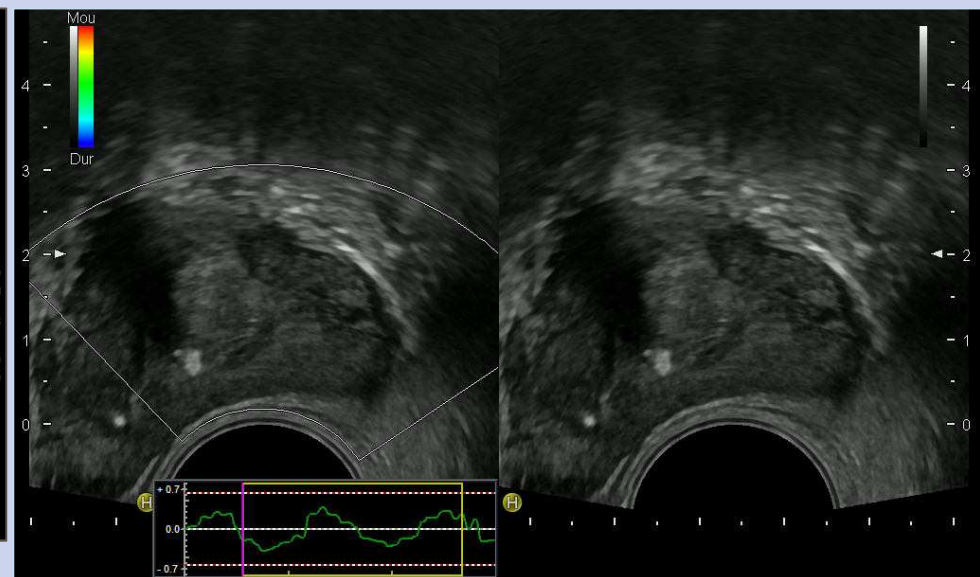
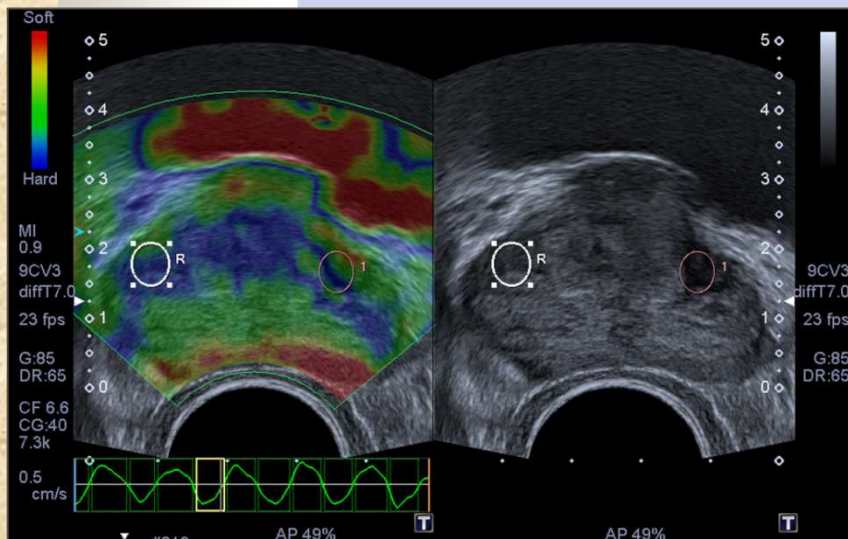


Bibliographie

- 225 références ; 544, 42 en 2019
- Eur Radiol : Liu et al
 - SWE/TE, 64 nodules avant chirurgie
 - 68/79 sp, 87/84 sens, 68/64 VPP, 86/83 VPN
- Eur Radiol : Duyr et al
 - SWE & TI-RADS
 - Nodules ≤ 10 mm (Se 94, Sp 87)
- Ultrasonography : Kwak et al
 - Nodules SWE/RTE
 - Valeurs non concordantes
- Eur Arch ORL : Veer et al
 - Méta-analyse, 38 études 5942 nodules
 - Sens 87, sp 80, VPP 69, VPN 97
 - Diminue le caractère opérateur dépendant

Élastographie prostatique

- L'élasticité est estimée par visualisation de différences entre des régions adjacentes
- Absence de données quantitatives
information semi quantitative avec le strain ratio (RTTE) entre 2 ROI
- Echelle couleur distribuée entre les valeurs de strain les + basses et les + élevées trouvées dans la ROI
=> variation selon la taille et position de la ROI

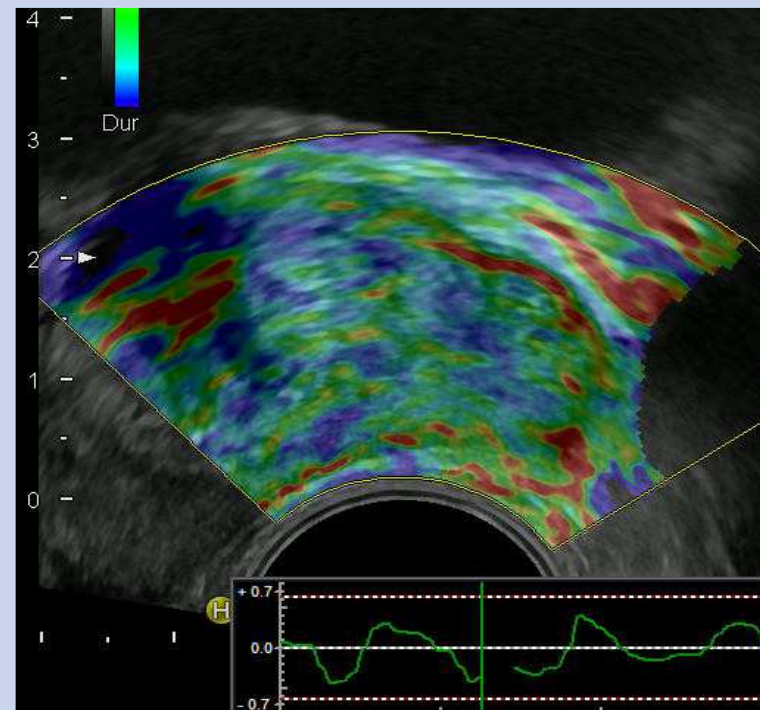
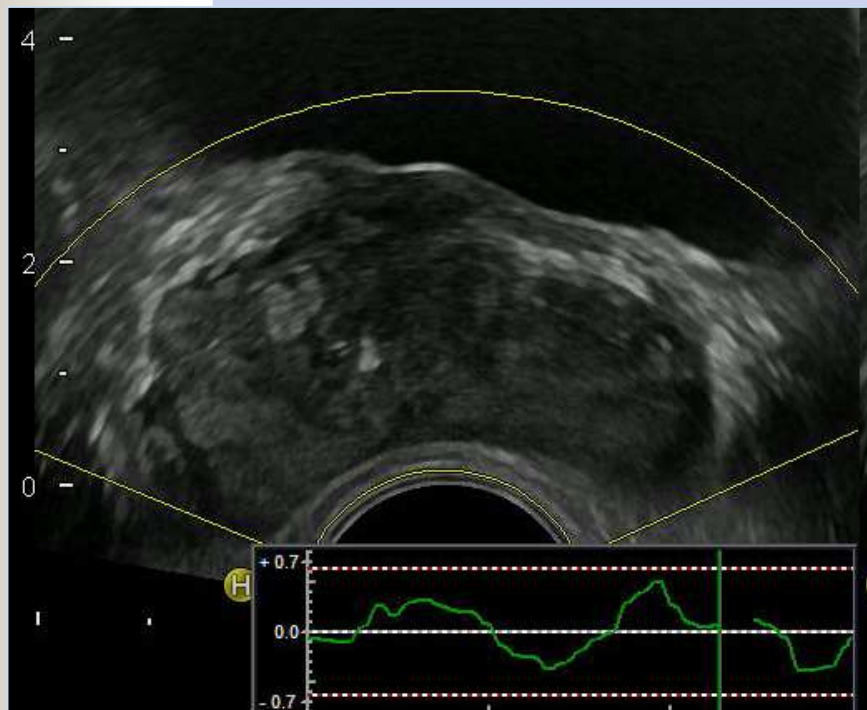


Elastographie prostatique

Aspect normal en strain

- **Elastographie quasi-statique:**

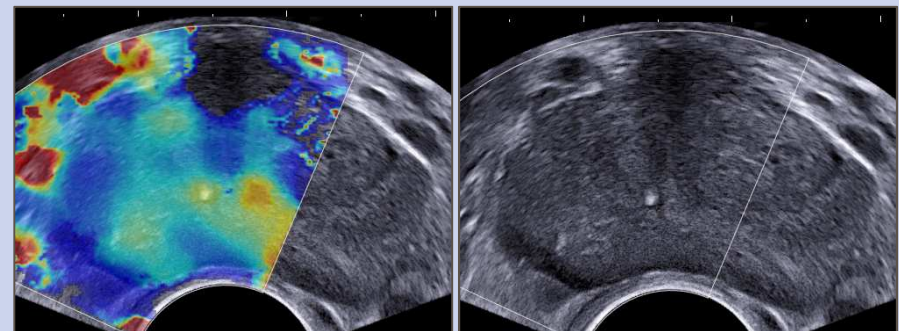
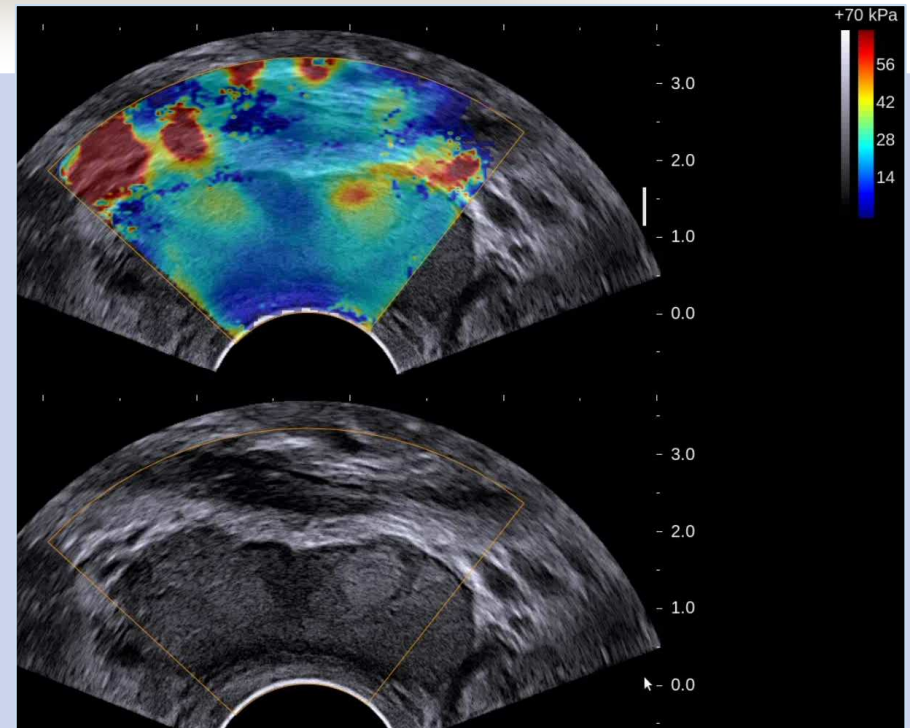
- ZP: codage homogène en vert et rouge (molles)
- ZT: codage hétérogène avec le développement de l'HBP



Elastographie prostatique

Aspect normal en SWE

- **Elastographie SWE :**
 - ZP: codage homogène en vert et bleu (molles)
 - ZT:
avant HBP: ZP, ZC & ZT souples
avec élasticités < 30 kPa
avec HBP: ZC & ZT aspect
hétérogène 30 - 180 kPa
- Calcifications => zone dure



L'élastographie prostatique

Aspect normal en SWE

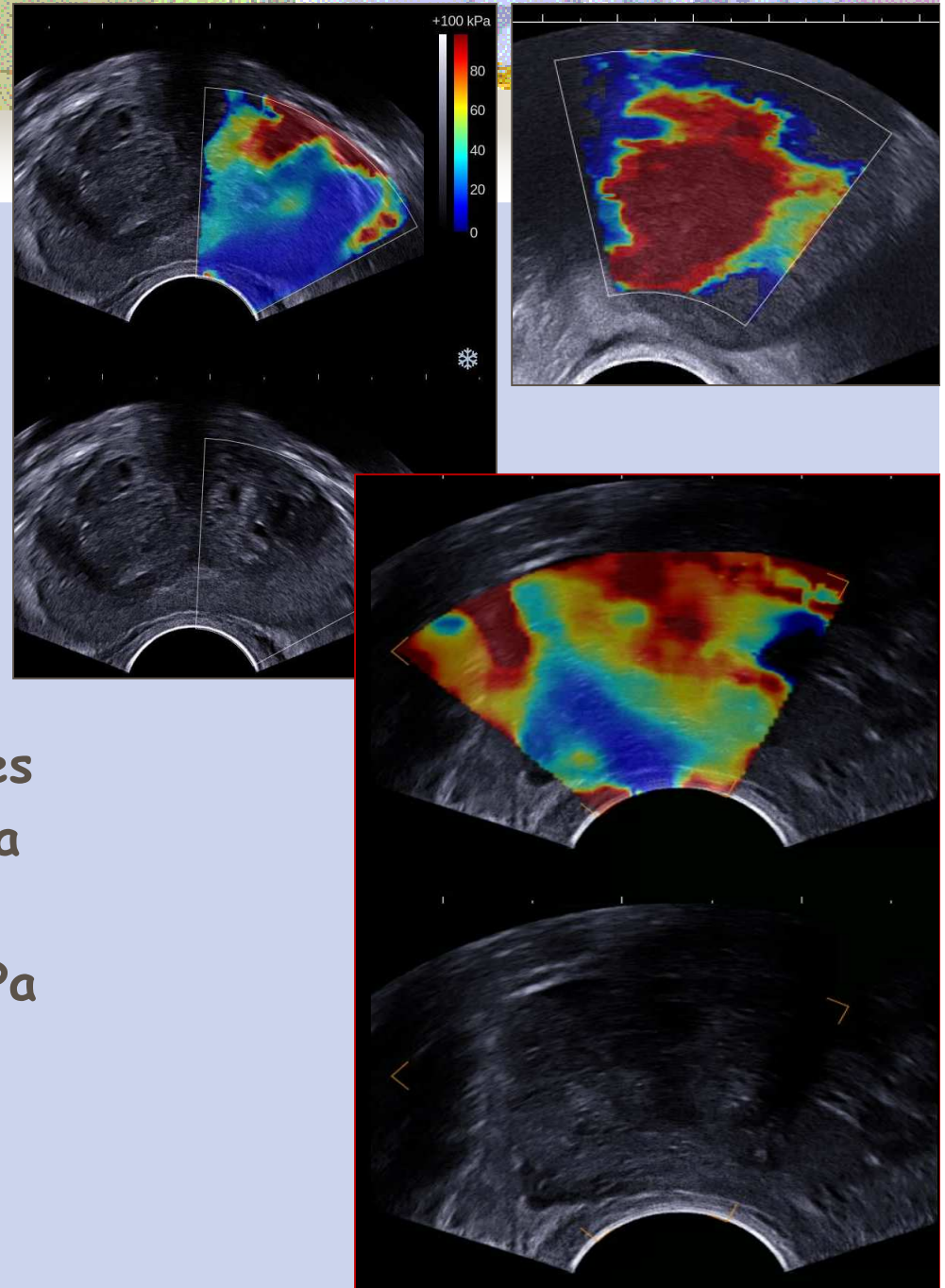
- **Elastographie SWE :**

- ZP: codage homogène en vert et bleu (molles)
- ZT:

avant HBP: ZP, ZC & ZT souples
avec élasticités < 30 kPa

avec HBP: ZC & ZT aspect
hétérogène 30 - 180 kPa

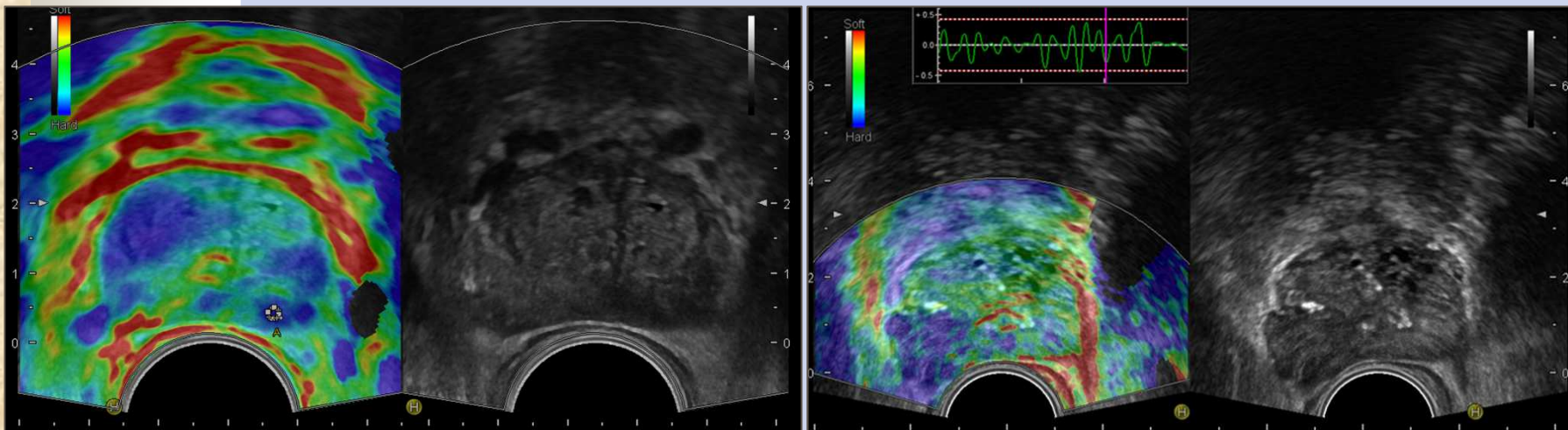
Calcifications => zone dure



Elastographie prostatique

Adénocarcinome en strain

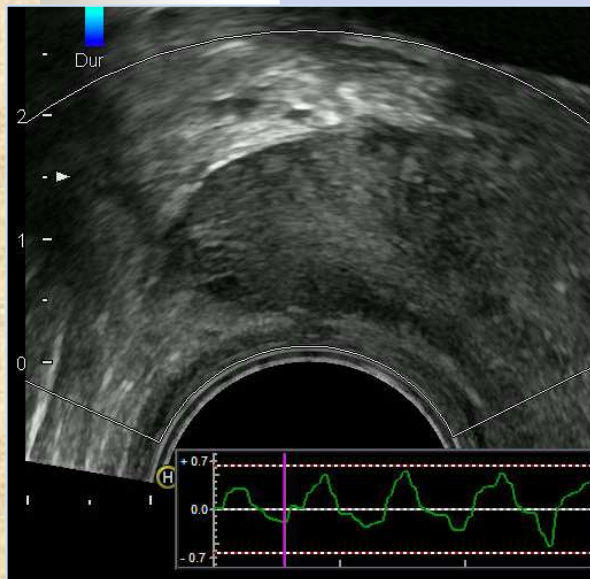
- **Elastographie quasi-statique: pas de cutoff**
 - codage hétérogène dur en bleu
 - avec signal stabilisé
 - En cas d'extension: étendu à la capsule et la graisse périprostat.



Elastographie prostatique

Adénocarcinome en strain

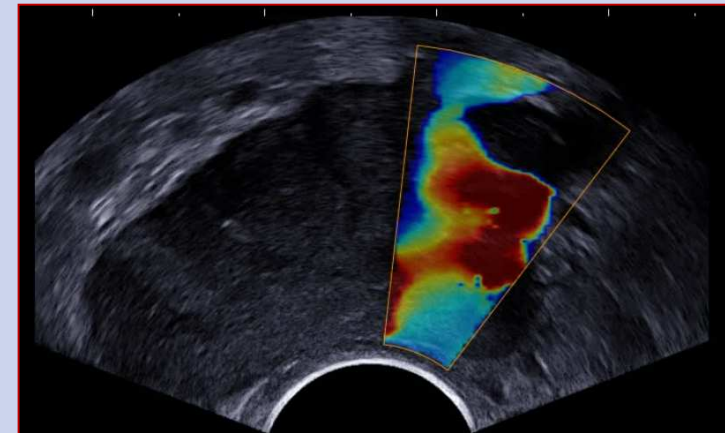
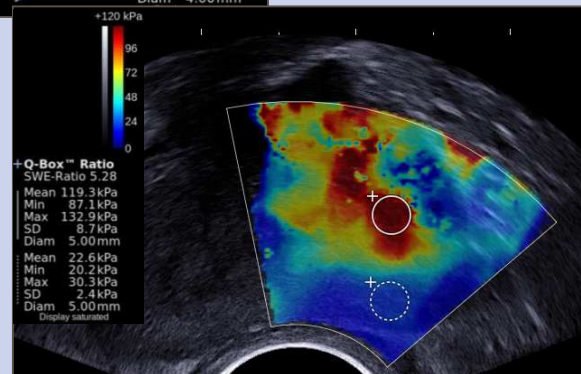
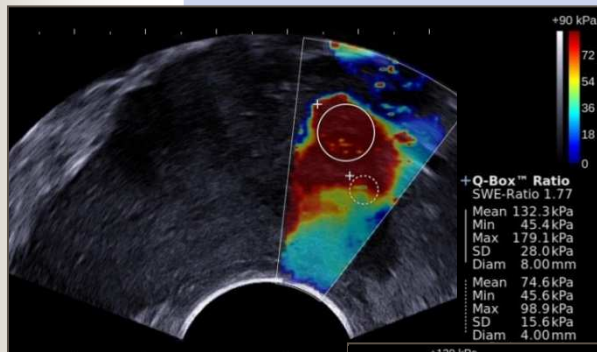
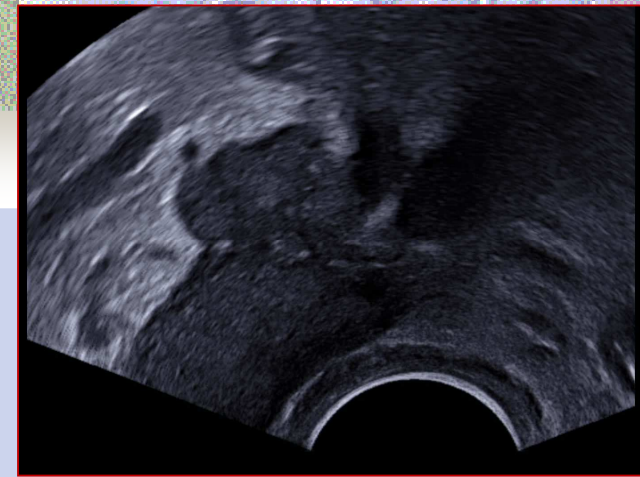
- **Elastographie quasi-statique:**
 - codage hétérogène dur en bleu
 - évaluation difficile en cas de cancer diffus et infiltrant



L'élastographie

prostatique Adénocarcinome en SWE

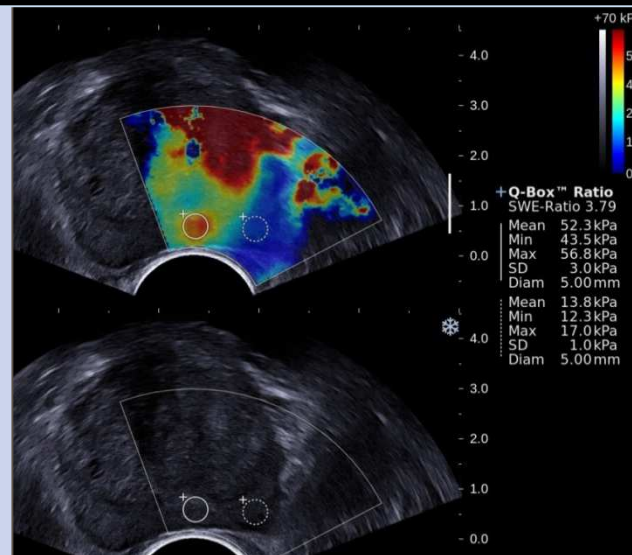
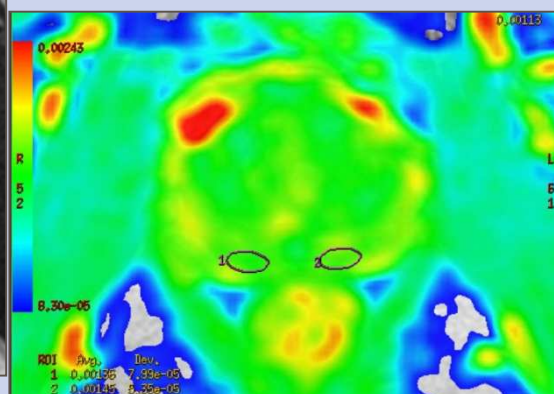
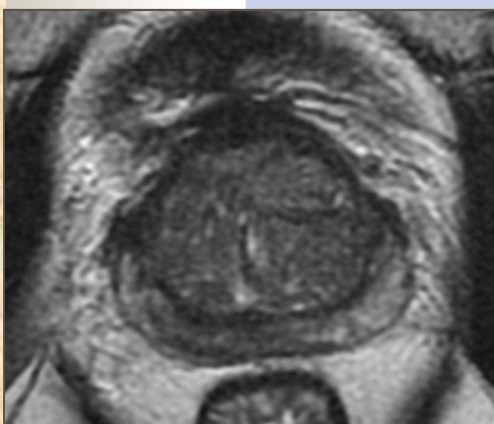
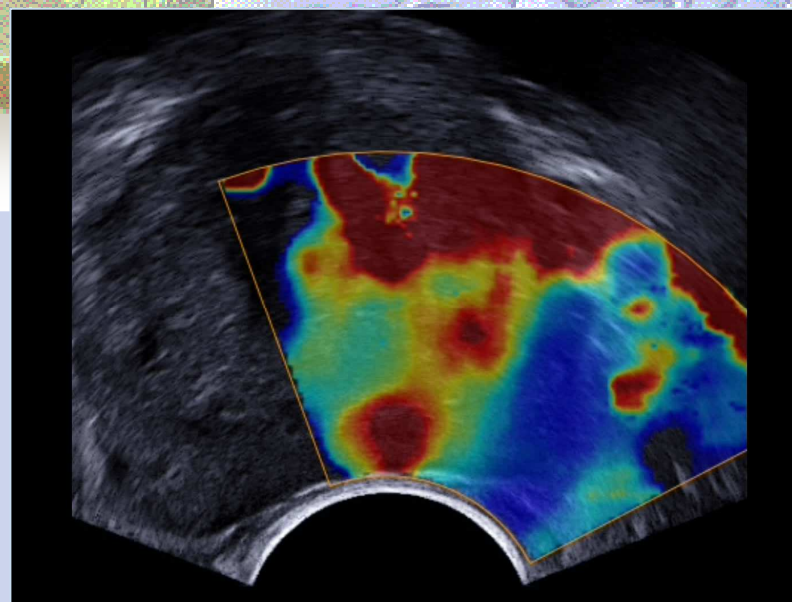
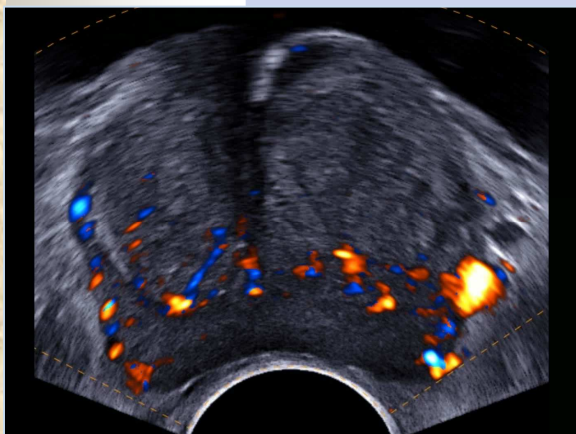
- **Elastographie SW: K antérieur**
 - zone dure et hétérogène codée en rouge
 - après stabilisation du signal et sans pression de la sonde



L'élastographie

élastographie statique

Adénocarcinome non visualisé en mode B, détecté en SWE



Ana-path: inflammation diffuse sauf pour le nodule biopsié ADK 8 mm Gleason 7



Bibliographie

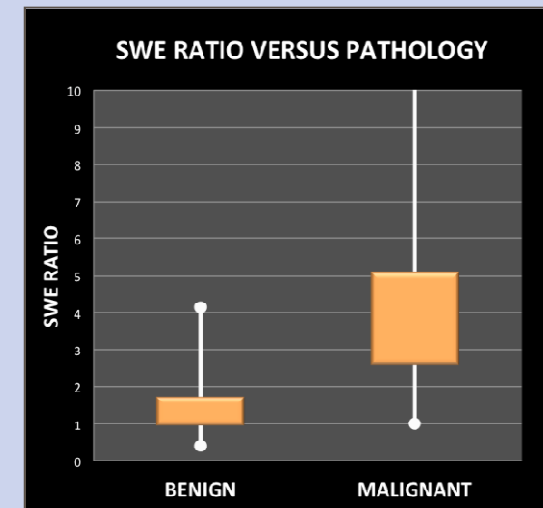
- Elastography+prostate : 386,83 depuis 2015
- Elastography+prostate+cancer : 31
- J Urol : Bohem et al : SWE detection des cancers
 - Nodules de 26 mm en moyenne >50 Kpa (sens 81 spe 69 VPP 67, VPN 82)
 - Biais de l'étude par pression de la sonde

Elastographie prostatique

Performances du SWE

Evaluation de l'élastographie ShearWave:

- Etude bicentrique (Dr Barr Youngstown USA)
- 184 H (66 ± 7 ans) - PSA 7.4 ± 6.5 ng/ml
- 132 nodules dont 56 ADK (GS ≥ 6)
- 1709 biopsies systématiques (213 + / 12%)
- 275 biopsies ciblées (110 + / 40%)
- Elasticité: ZP 20 ± 14 kPa / K 41 ± 43 kPa / nodules bénins 29 ± 19 kPa



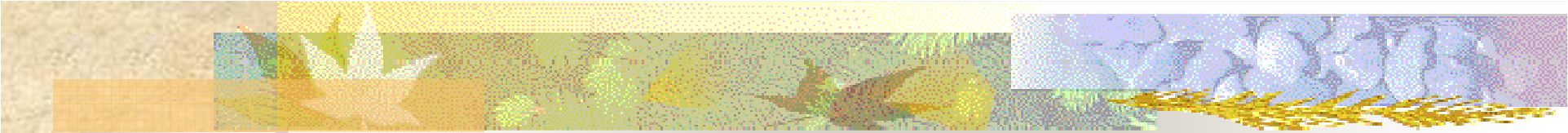
	Se	Spe	VPP	VPN	Précision	ROC AUC
SWE values (Seuil: 37KPa)	89%	89%	54%	99%	89%	0.95
SWE ratio (Seuil: 1,5)	98%	70%	71%	98%	82%	0.87



Elastographie prostatique

Amélioration du guidage des biopsies

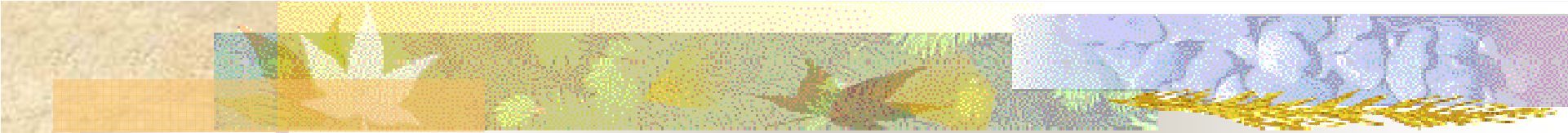
- **Ana-path: 12 biopsies systematiques + 2-6 biopsies ciblées**
Cancer significatif défini si longueur ≥ 3 mm et Gleason ≥ 6
 - Lésions: 132 cancer détectés
 - 56 cancers / 76 lésions bénignes (hyperplasie/ prostatite focale)
- **Taux de détection du cancer:**
 - Biopsies systématiques: 1709 avec 213 prélèvements + (12%)
 - Biopsies ciblées: 275 avec 110 prélèvements + (40%)



BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

■ Historique

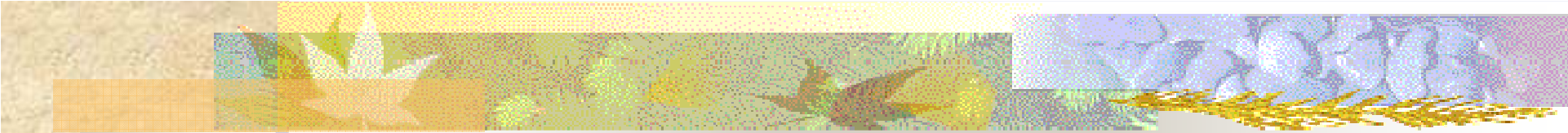
- Méthode d'imagerie atraumatique
- Nécessité de réhaussement du contraste
 - Amélioration technique
 - Développement de l'imagerie doppler
- Premiers essais en 1989 (Ophir)
 - Bulles de gaz libres
 - Produites par agitation, cavitation ou sonification d'une solution porteuse
 - Bulles de gaz encapsulées
 - Solutions colloïdales



BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

■ Historique

- Nécessité d'augmenter la stabilité
 - Emprisonnement du gaz (matrices)
 - Premières émulsions : lipidiques
 - Mauvaise tolérance, mauvaise stabilité
 - Nécessité d'utiliser des volumes importants
 - Solutions aqueuses
 - Citrate de Na, EDTA
 - Relative inefficacité

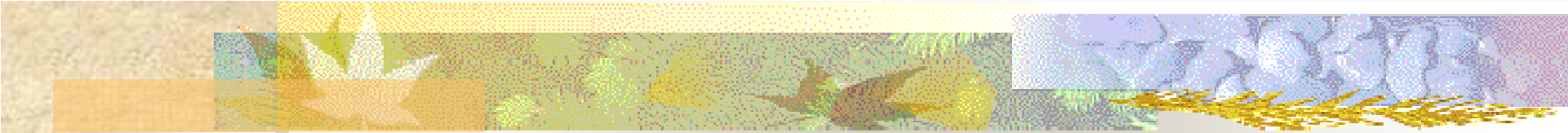


BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

■ Historique

■ Premières approches :

- Augmenter la réflectivité du sang (intravasculaire)
- Pas de spécificité d'organe mais capté par le SRE
- Mécanisme d'action complexe :
 - Augmentation de l'intensité de faisceau US rétrodiffusé
 - Atténuation du faisceau transmis
 - Diminution de la vitesse des US

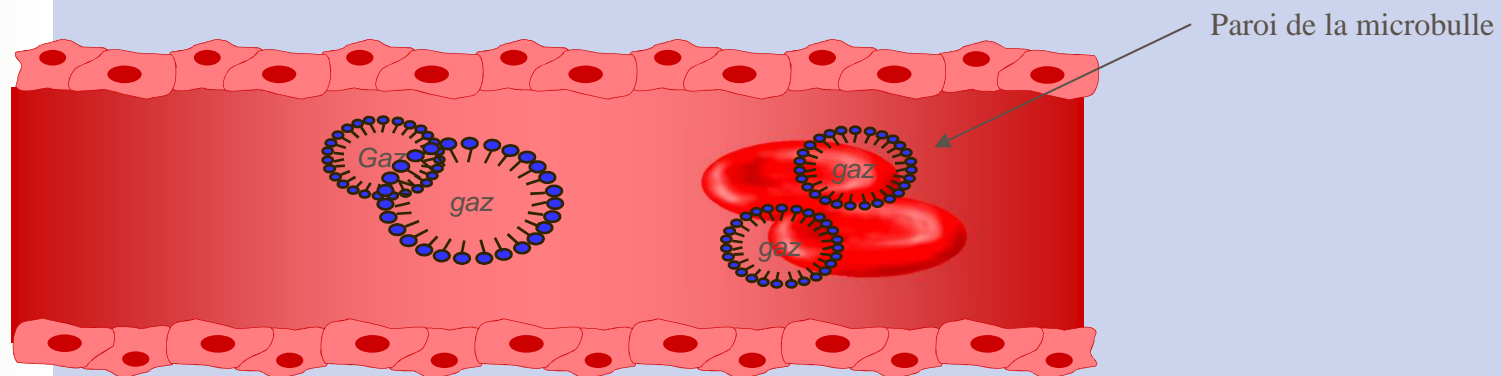


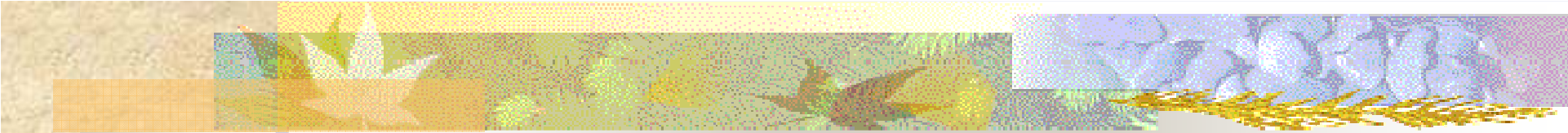
BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

- Caractéristiques idéales
 - Peu ou pas toxique
 - Injectable par voie IV
 - Capable de traverser le lit capillaire pulmonaire
 - Stabilité suffisante (plusieurs recirculations)
 - Réhaussement du contraste quelque soit le mode
 - Facile à utiliser
 - Cout raisonnable

BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

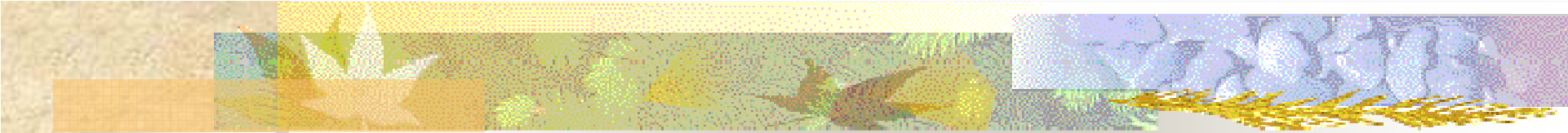
- Caractéristiques des PC US : les agents
 - intra-vasculaire pur
 - Diamètre : 2-15 μm
 - Contenant un gaz (air ou gaz HPM)
 - Paroi : albumine/lipide/polymère (10 nm)





BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

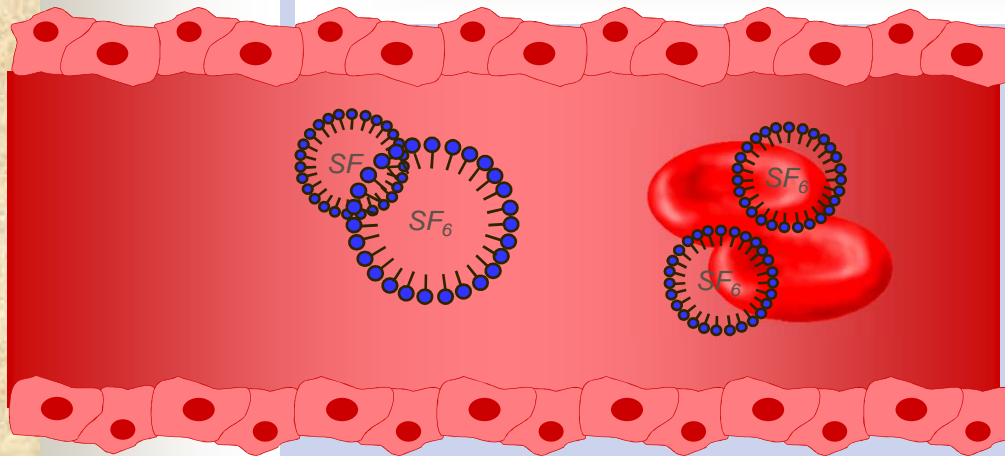
- Pharmacocinétique des agents de contraste
 - Concerne les μ bulles de dernière génération
 - SONOVUE®, OPTISON®
 - Passent la barrière pulmonaire :
 - circulation artérielle (phases vasculaires)
 - Restent intravasculaire :
 - distribution unicompartimentale



BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

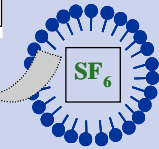
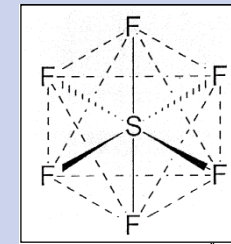
- Les différents agents
 - Première génération
 - Levovist® (Schering) : air/galactose
 - Depuis mai 2003
 - Sonovue® (Bracco)
 - Definity® (Dupon Pharma)
 - optison® (Alliance)
 - Sonazoid® (Nyomed)

Caractéristiques du SonoVue®



- SonoVue® est un agent purement vasculaire, il ne diffuse pas dans les espaces interstitiels.
- Les microbulles de SonoVue® (2,5 microns) passent la barrière pulmonaire et sont donc présentes dans la vascularisation artérielle.

Structure des microbulles



Phospholipides

Pôle hydrophile

Chaîne hydrophobe

Réf : M.Schneider, M.Arditi, M.B.Barrau, J.Brochot, A.Broillet, R.Ventrone, and F.Yan. BR1 : A new ultrasonographic contrast agent based on sulfur hexafluoride-filled microbubbles. Investigative Radiology 1995 ; 30 (8) : 451-457.

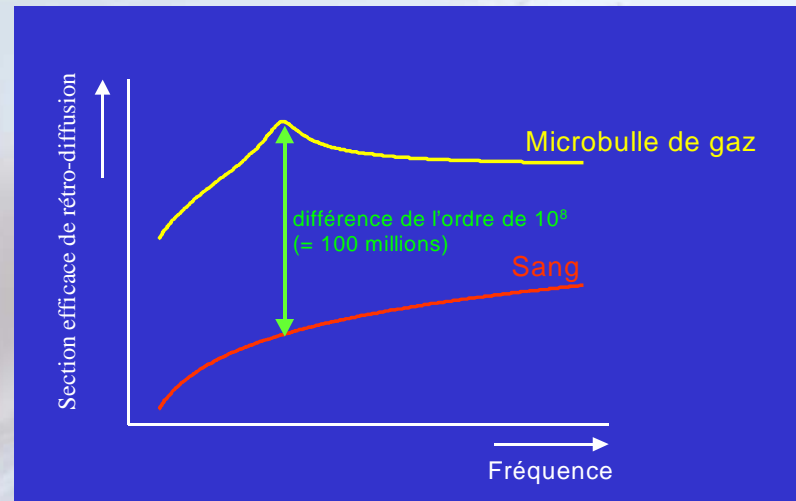
M.Schneider. Characteristics of SonoVue®. Echocardiography 1999 ; 16 (7) Part 2 : 743-746.

BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

■ Propriétés acoustiques des microbulles

SONOVue[®]
Sulphur Hexafluoride

Rétro-diffusion du signal ultrasonore



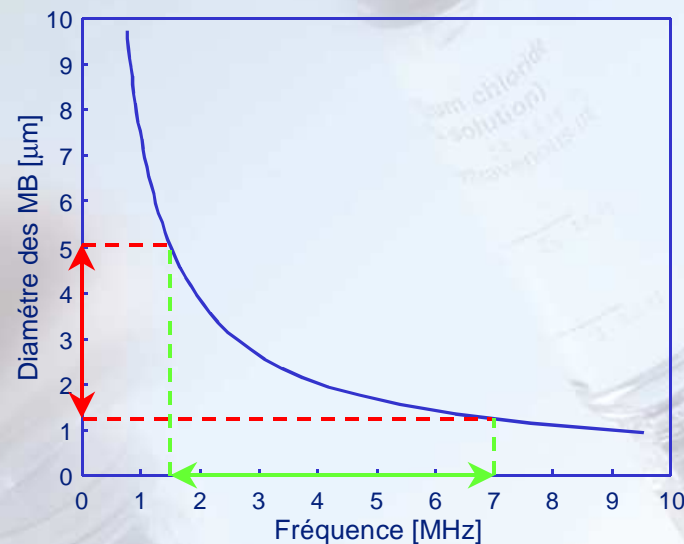
BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

■ Propriétés acoustiques des microbulles

Propriétés acoustiques des microbulles

SONOVue[®]
Sulphur Hexafluoride

Les fréquences de résonance des MB de SonoVue



BRACCO
THE IMAGE OF INNOVATION

ALTANA
PHARMA

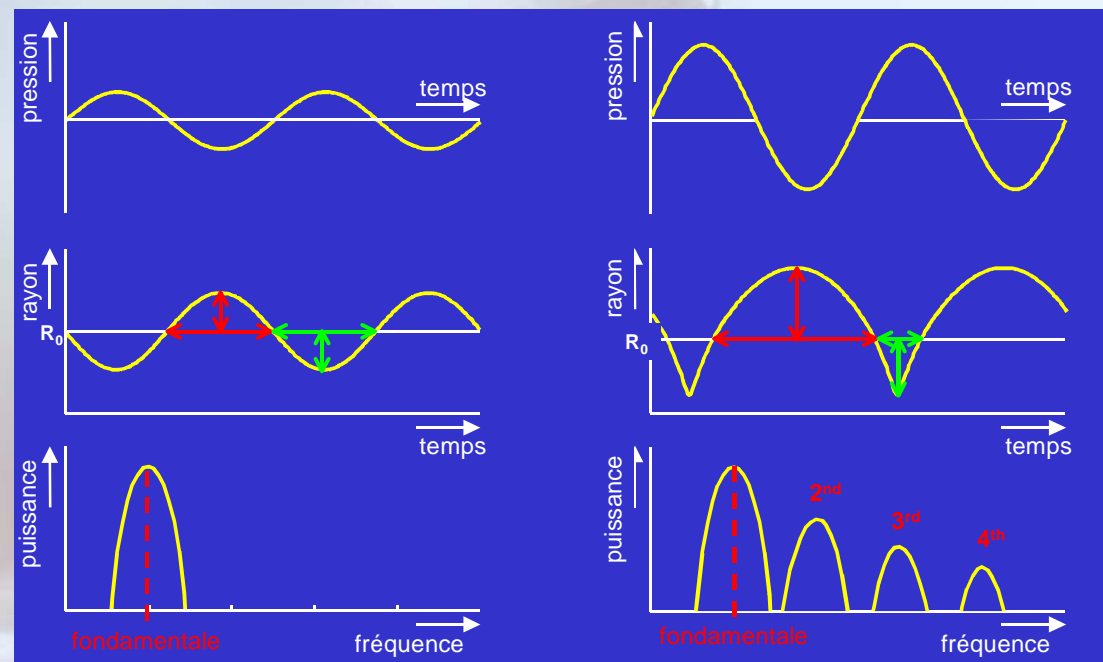
Réf : M.Schneider, M.Arditi, M.B.Barrau, J.Brochot, A.Broillet, R.Ventronne, and F.Yan. BR1 : A new ultrasonographic contrast agent based on sulfur hexafluoride-filled microbubbles. Investigative Radiology 1995 ; 30 (8) : 451-457.
M.Schneider. Characteristics of SonoVue®. Echocardiography 1999 ; 16 (7) Part 2 : 743-746.

BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

■ Propriétés acoustiques des microbulles

Propriétés acoustiques des microbulles

SONOVue[®]
Sulphur Hexafluoride



BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

- Propriétés acoustiques des microbulles
 - Caractéristiques de la réflexion



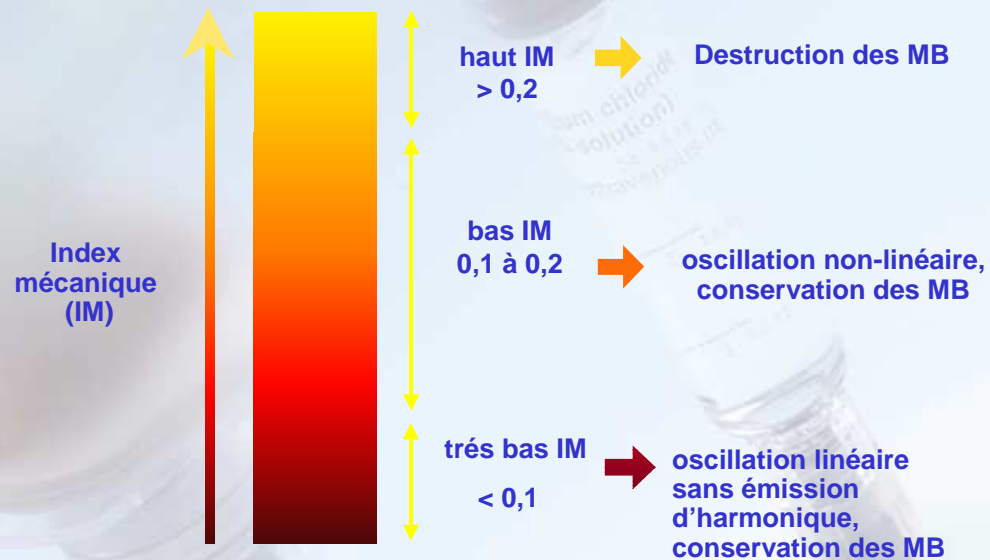
BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

■ Comportement des microbulles / IM

Propriétés acoustiques des microbulles

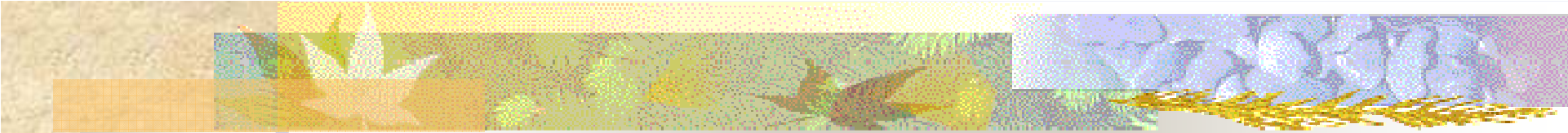
SONOVue
Sulphur Hexafluoride

Comportement des MB soumises aux US en fonction de l'index mécanique (IM)



Réf : K.Wei, D.M.Skyba, C.Firschke, A.R.Jayawera, J.Lindner, S.Kaul. Interactions between microbubbles by ultrasound and its local effects on tissue. Circulation 1998 ; 98 : 290-293.

P.N.Burns, J.E.Powers, D.H.Simpson, et al : Harmonic imaging with ultrasound contrast agents. Clin Radiol 1996 ; 51 (Suppl 1) : 50 -55.



BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

- Propriétés acoustiques des microbulles
 - Cas de la réflexion linéaire
 - Relation équivalente pulse/fréquence
 - Pas de distorsion du signal
 - Principe de l'imagerie B conventionnelle
 - Impulsion du signal US = résonance des molécules biologiques avec faible expansion

BASES PHYSIQUES DES PRODUITS

D Propriétés acoustiques des microbulles

SONOVue[®]
Sulphur Hexafluoride

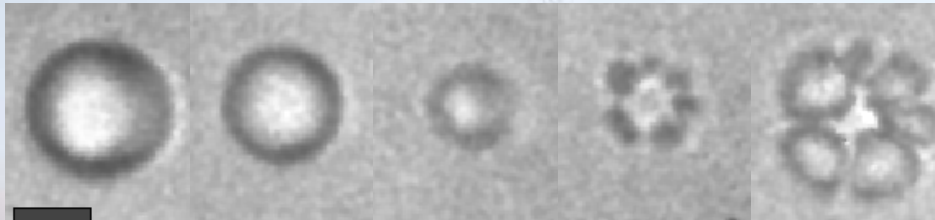
ES



Technique haut index mécanique (IM)

Enregistrement réalisé avec une caméra
haute vitesse
(12.500.000 images/s)

Méthode
destructive



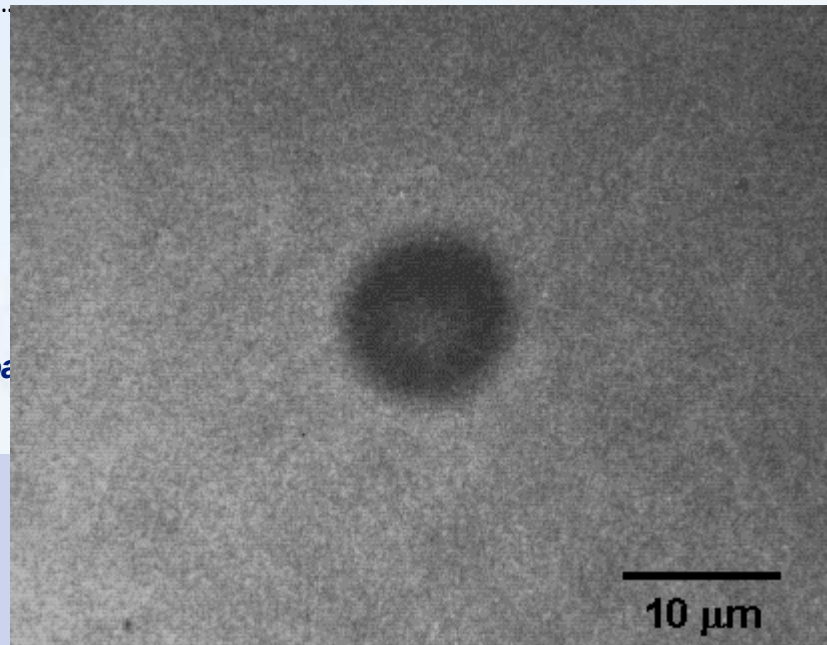
<math>< 0,2</math>

Méthode
conservative

IM

Technique ba

BRACCO ALTANA
PHARMA
THE IMAGE OF INNOVATION



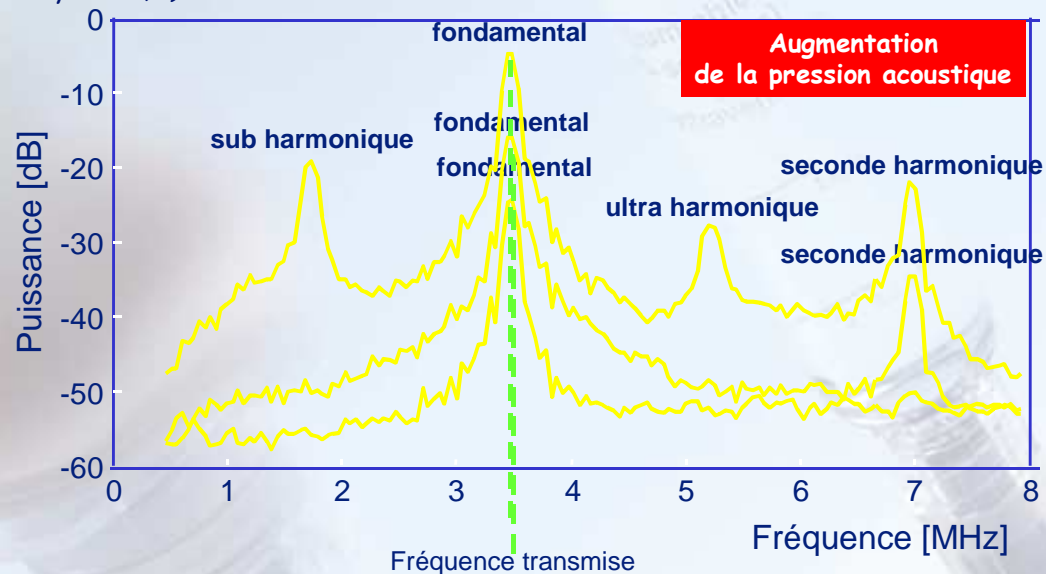
ple de la

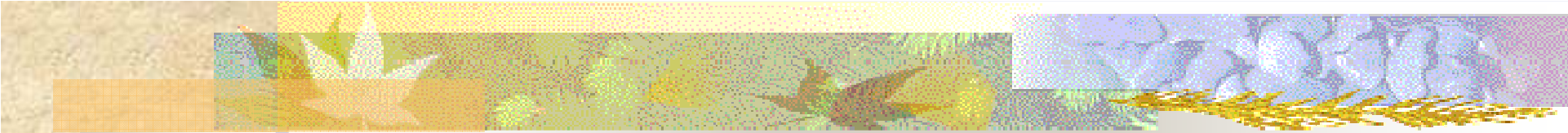
BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

Propriétés acoustiques des microbulles

SONOVUE®
Sulphur Hexafluoride

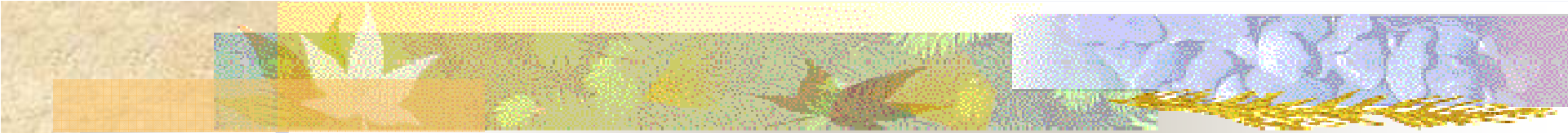
• Les microbulles de SonoVue®, grâce à leurs propriétés (forte résistance à la pression, stabilité), génèrent des harmoniques (rétro-diffusion de fréquences harmoniques, multiples de la fréquence d'émission) même à de faibles puissances acoustiques (index mécanique < 0,2).





BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

- Applications aux explorations en imagerie
 - Variation de l'indice mécanique
 - Fonction de la puissance acoustique et de la fréquence ; $IM = P/F^{1/2}$
 - Relation : profondeur, milieu, focale
 - $< 0,2$: μ bulles en oscillation
 - $> 0,6$: μ bulles éclatées
 - Examen abdominal standard : $IM = 1,7$
 - Examen obstétrical : $IM = 0,7$



BASES PHYSIQUES DES PRODUITS DE CONTRASTE ULTRASONORES

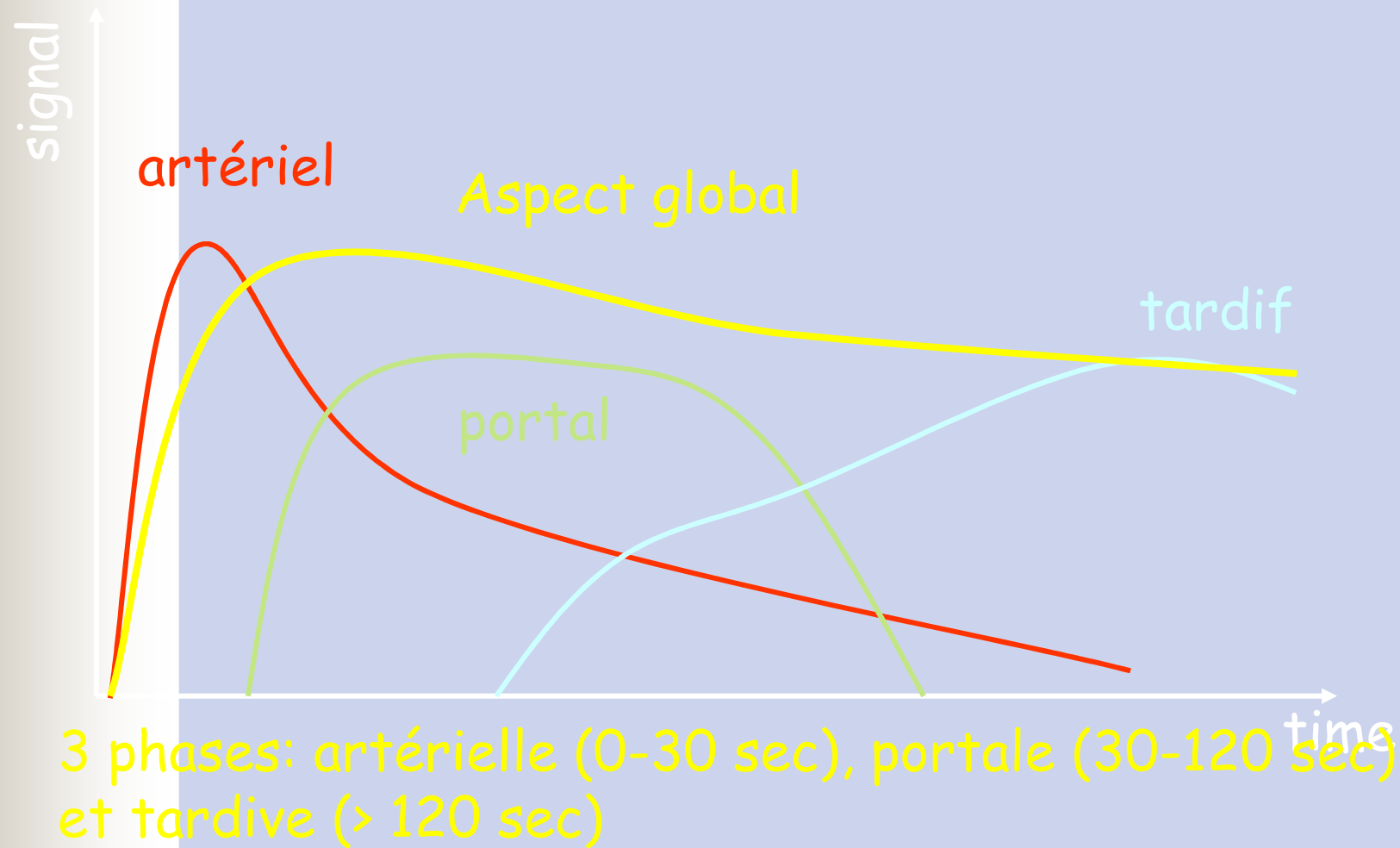
- Applications aux explorations en Imagerie
 - Méthode monopulse : filtrage de la fondamentale
 - Imagerie harmonique « standard »
 - Méthode dite multipulse
 - Négativation du signal tissulaire
 - Annulation de phase
 - Cas du CPS® (*Siemens Séquoia*®)



Applications cliniques

- En imagerie hépatique
 - Caractérisation des tumeurs bénignes
 - Découverte récente
 - Découverte fortuite
 - Caractérisation des tumeurs malignes
 - Bilan de néoplasies (loca II°)
 - Découverte fortuite
 - Détection des tumeurs?

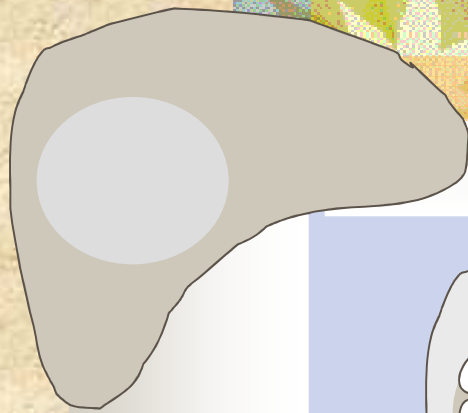
Rehaussement typique du parenchyme hépatique



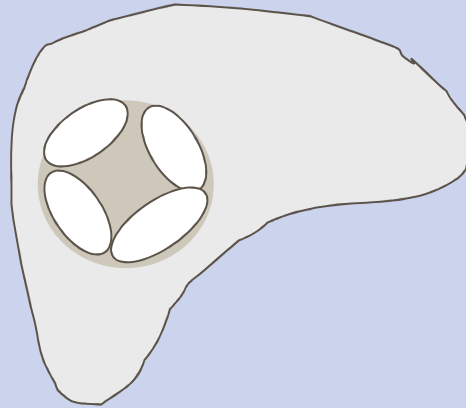
Lésion	Phase artérielle	Phase portale	Phase tardive
Hémangiomes	Rehaussement périphérique nodulaire	Remplissage centripète avec aspect intense ou égal	Rehaussement égal fréquemment incomplet
Hyperplasie nodulaire focale	Rehaussement intense aspect en rayons de roue, remplissage à partir de l'artère centrale	Rehaussement intense ou égal Cicatrice centrale (60%)	Rehaussement intense ou égal Cicatrice centrale(60%)
Adénome Hépatocellulaire	Rehaussement intense Avec capsule	Rehaussement intense	Rehaussement intense ou égal
Stéatose focale	Rehaussement égal	Rehaussement égal	Rehaussement égal
Kystes	Non rehaussé	Non rehaussé	Non rehaussé

(à partir de EFSUMB, Ultraschall, 2004)

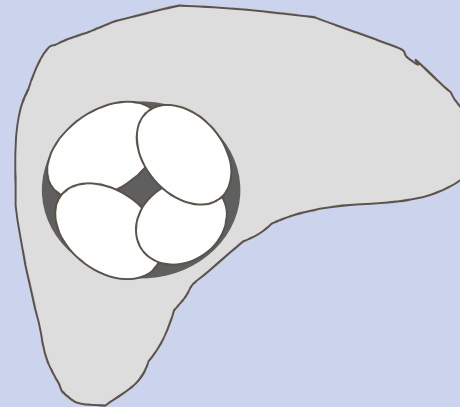
● Hémangiome



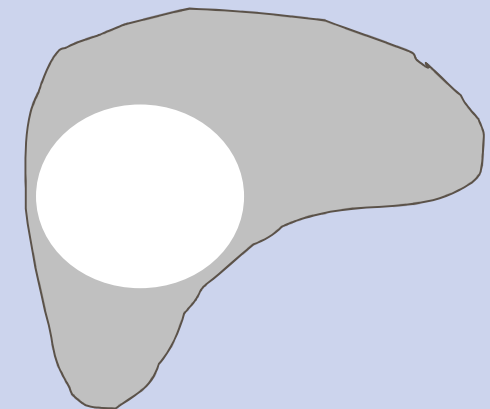
● Base



● Phase
artérielle



● Phase
portale



● Phase
tardive

Remplissage progressif
centripète avec rehaussement
quasi-complet en
phase tardive

• Hyperplasie nodulaire focale

• Base

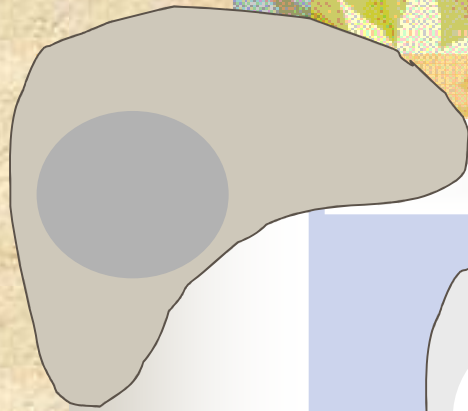
• Phase
artérielle

• Phase
portale

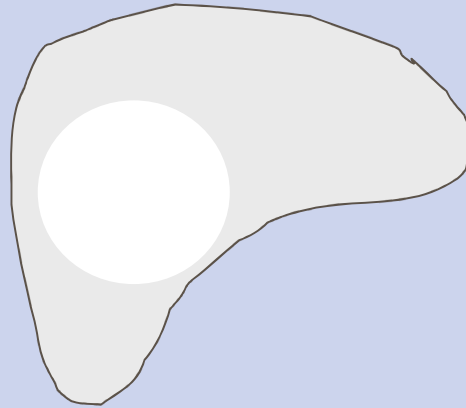
• Phase
tardive

Détection de l'artère centrale
suivie de rehaussement centrifuge stellaire.
Rehaussement égal ou augmenté en phase tardive.
Cicatrice centrale inconstante.

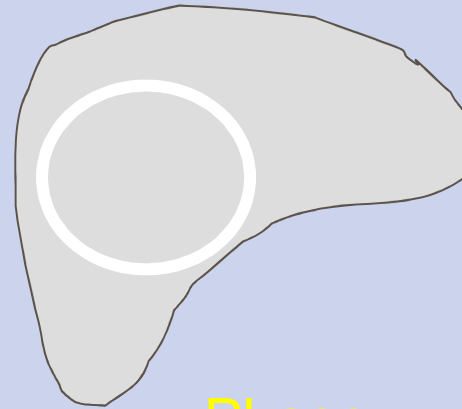
● Adénome hépatocellulaire



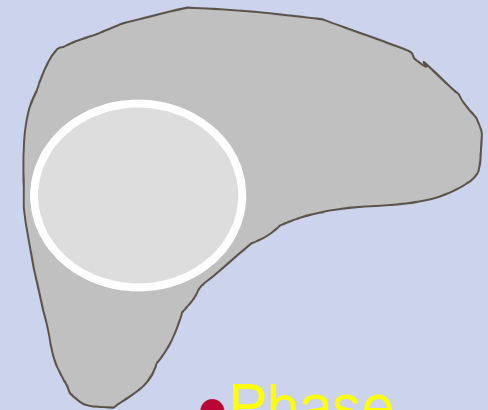
● Base



● Phase
artérielle



● Phase
portale

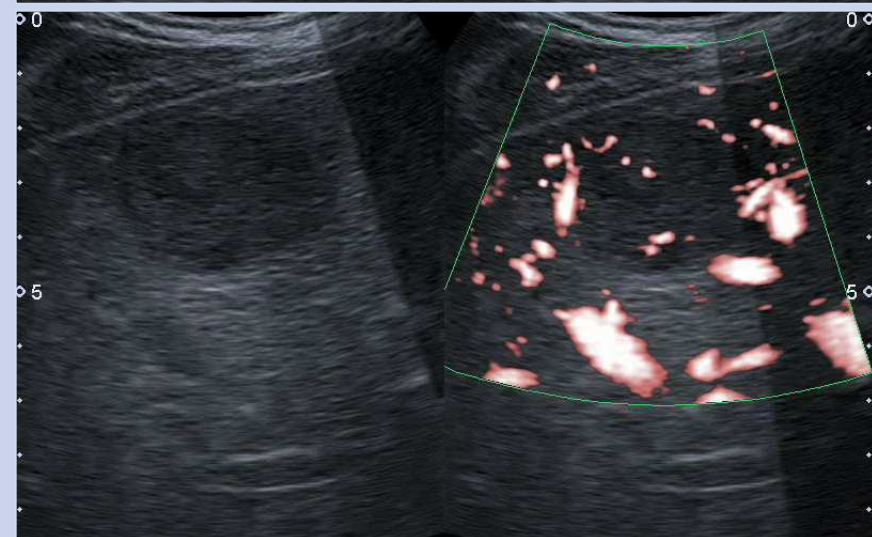
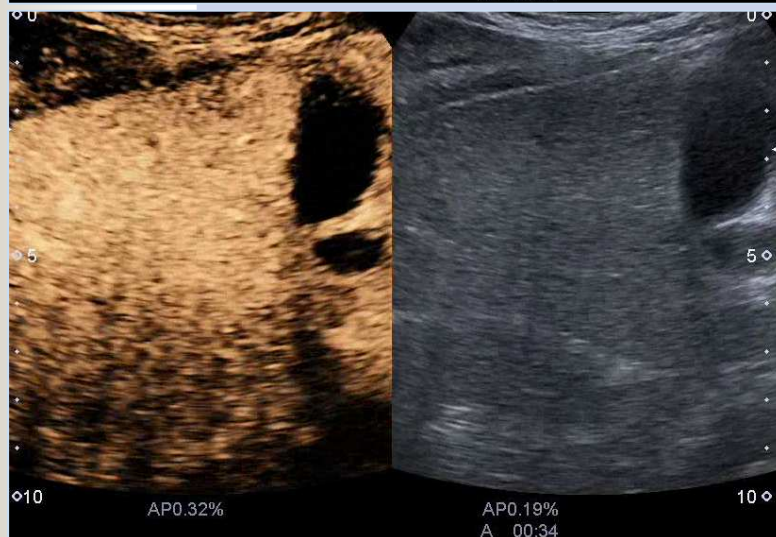
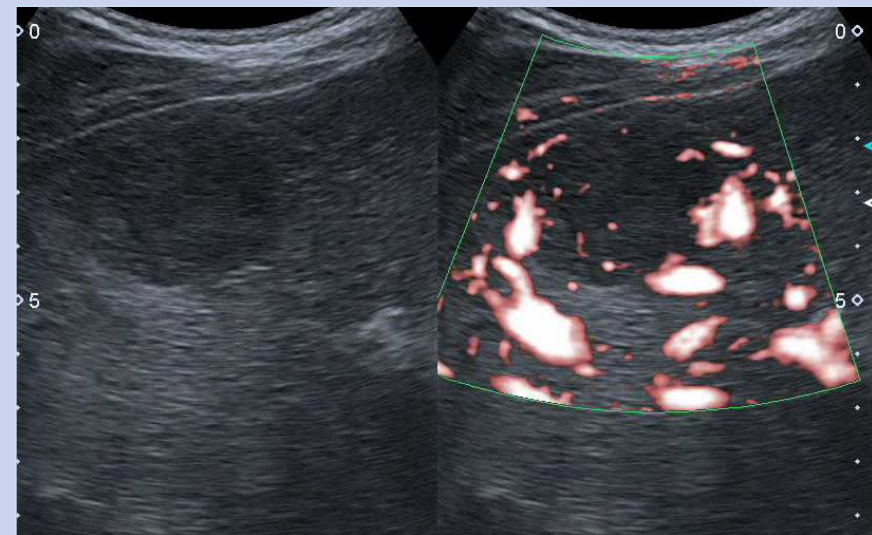
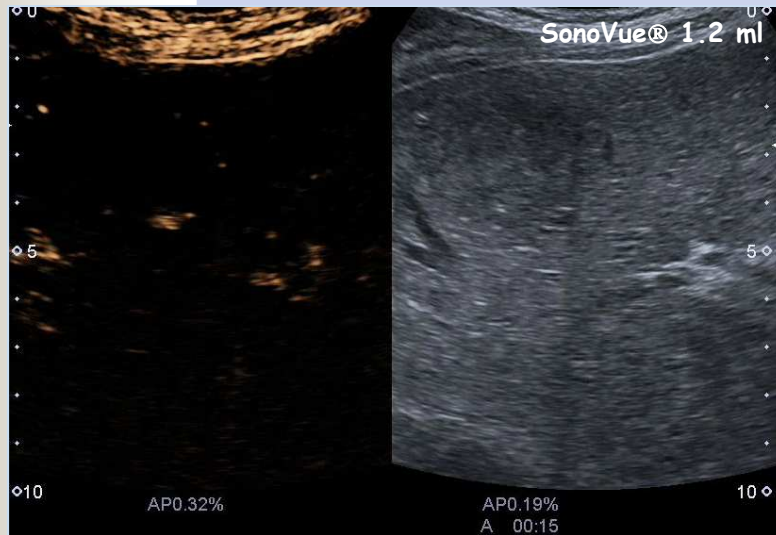


● Phase
tardive

Rehaussement centripète artériel
persistant avec halo hypervasculaire.

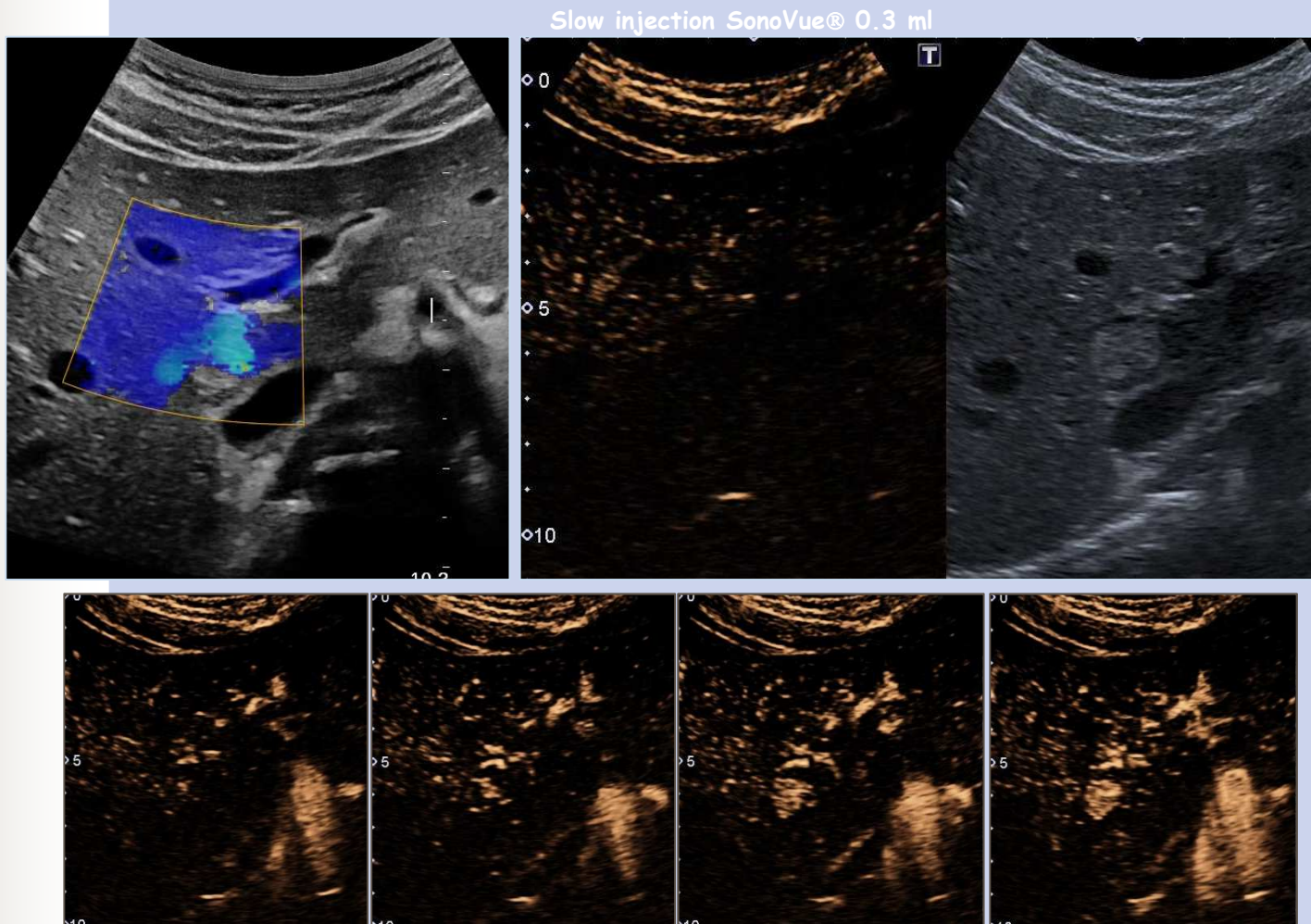
Un nouveau paradigme: mp-US

Caractérisation d'une masse hépatique



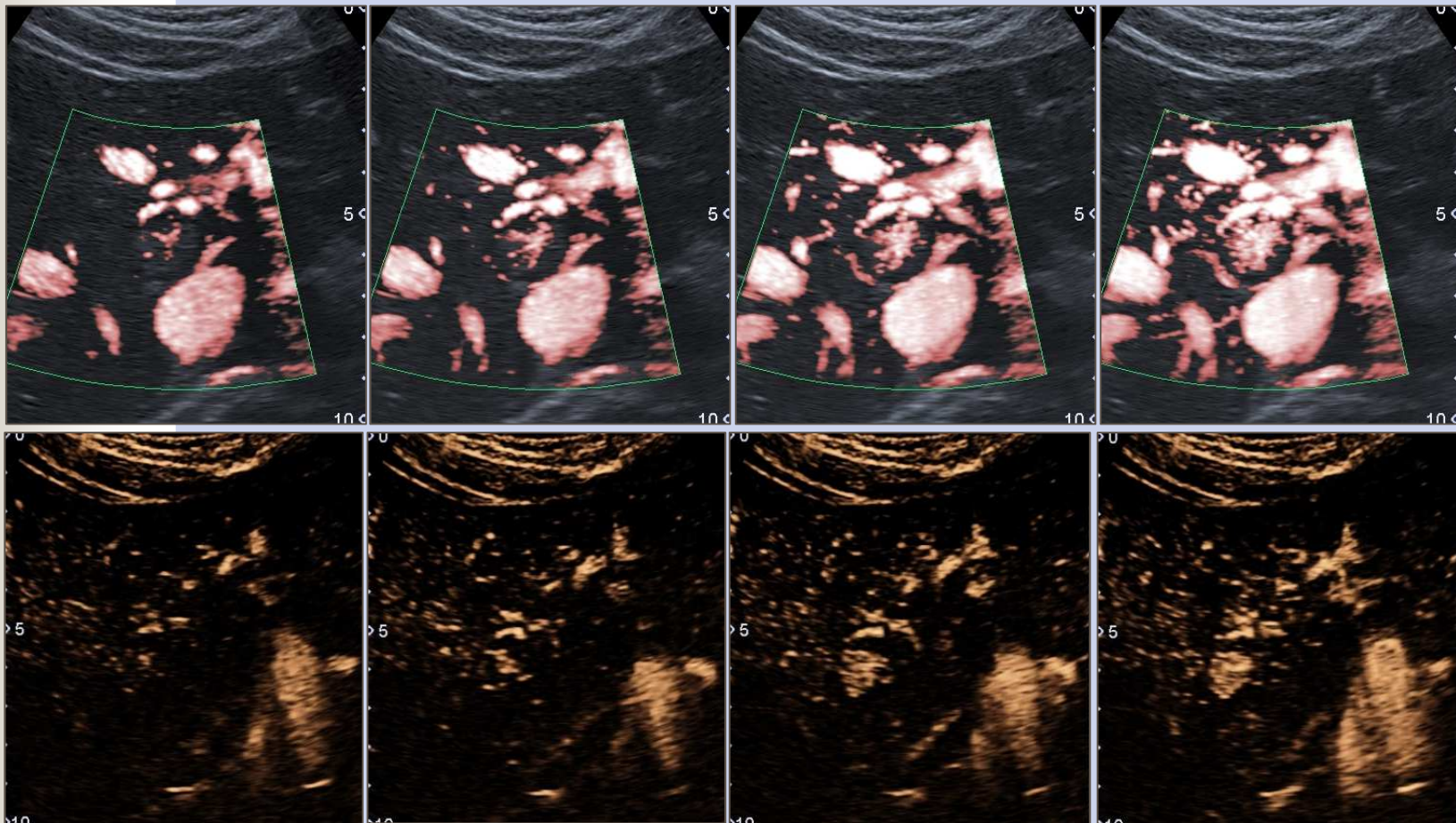
Un nouveau paradigme: mp-US

Caractérisation d'une masse hépatique



Un nouveau paradigme: mp-US

Caractérisation d'une masse hépatique





Exploration des métasases hépatiques

- Indication dans les caractérisations
 - Surveillance bi ou tri-annuelle (conférences de consensus)
 - Dépend des néoplasies
 - Accomagnées de TDM et/ou IRM

Tumeur	Phase artérielle	Phase portale	Phase tardive
Carcinome Hépatocellulaire	Rehaussement intense (CHC hypervasculaire) ou rehaussement égal	Rehaussement égal ou faible	Rehaussement faible
Métastases hypervasculaires	Rehaussement intense (vidange parfois avant la fin de la phase artérielle)	Rehaussement faible Washout rapide	Lacune de contraste
Métastases hypovasculaires	Rehaussement égal	Rehaussement faible	Lacune de contraste

• Métastase hypovasculaire

• Base

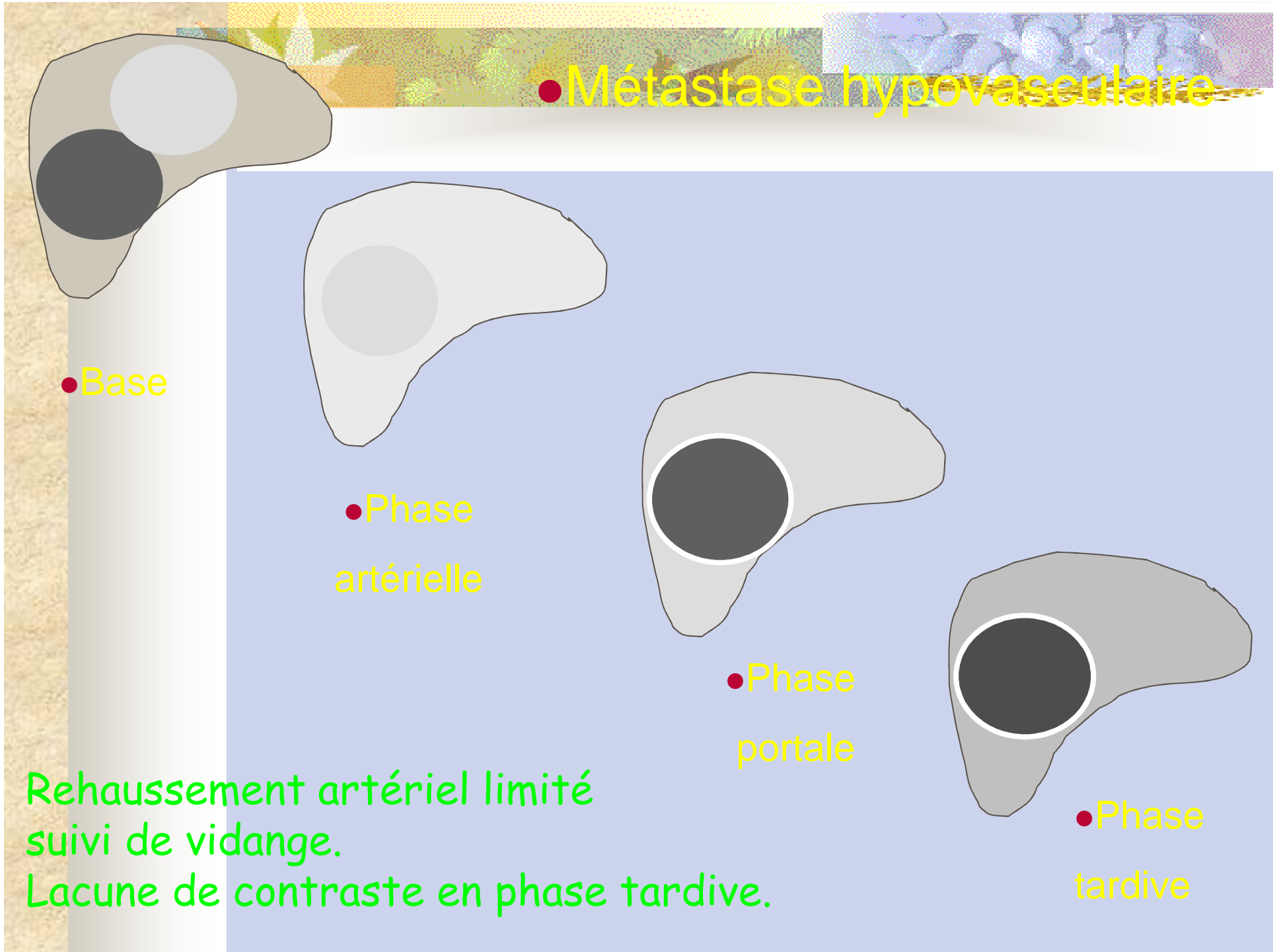
• Phase
artérielle

• Phase
portale

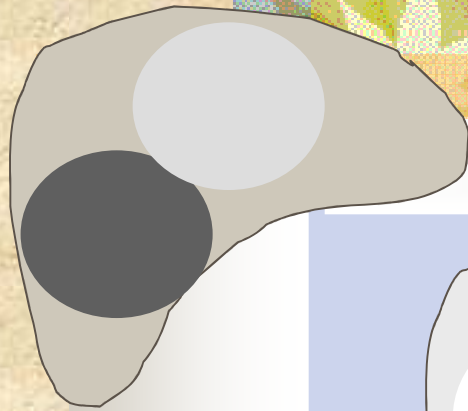
• Phase
tardive

Rehaussement artériel limité
suivi de vidange.

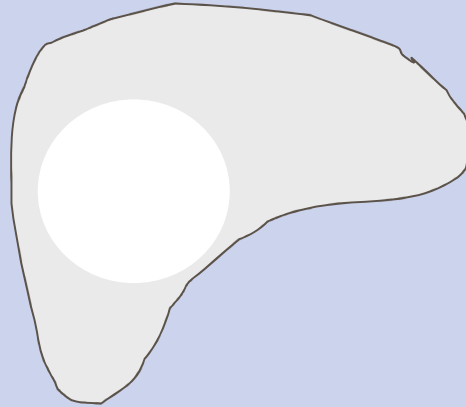
Lacune de contraste en phase tardive.



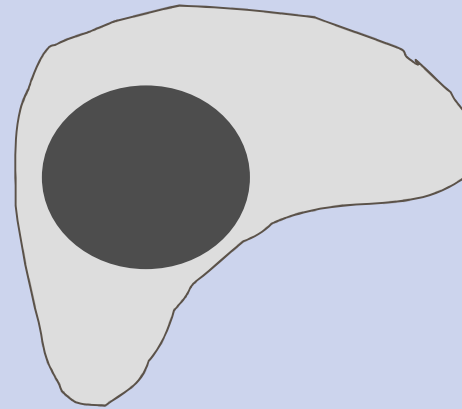
• Métastase hypervasculaire



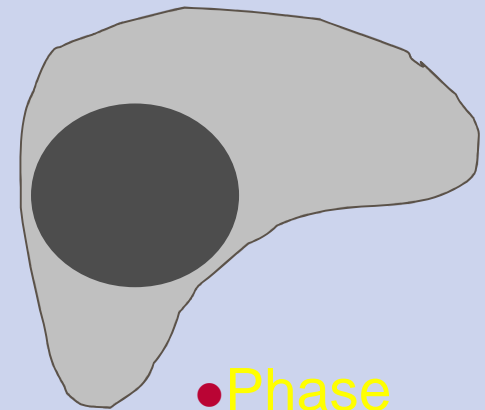
• Base



• Phase
artérielle



• Phase
portale



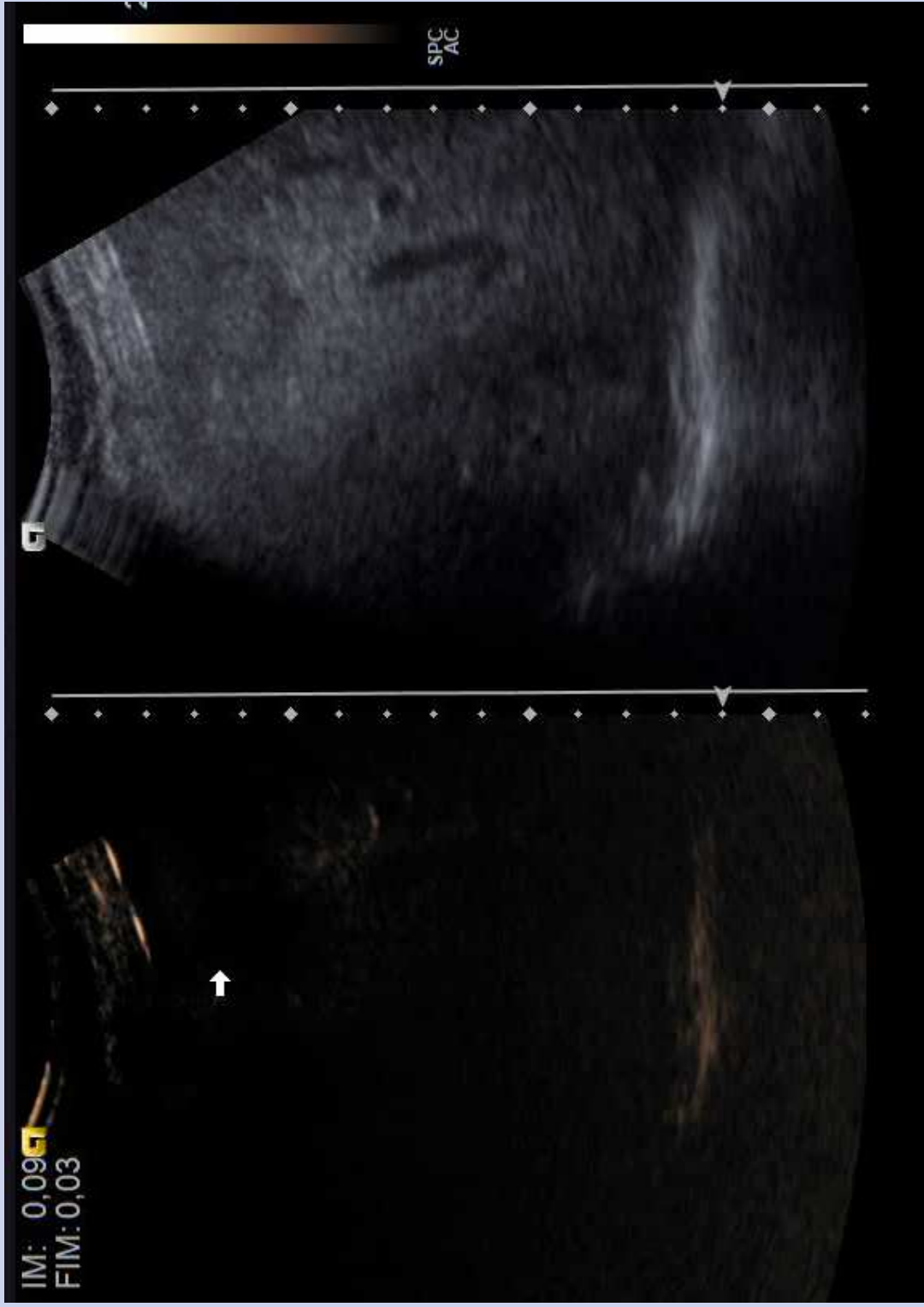
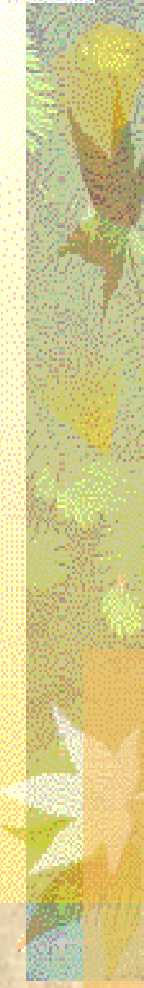
• Phase
tardive

Rehaussement artériel intense suivi
d'une vidange rapide.
Lacune de contraste en phase tardive.



Caractérisation des tumeurs

- Mr M. 58 ans
- traité par RF pour CHC sur cirrhose 1 an auparavant
- Découverte d'un nodule hépatique du seg VII





Applications cliniques

- En imagerie rénale
 - Caractérisation des masses tissulaires
 - Caractérisation des structures liquidiennes
 - Structures kystiques simples
 - Structures mixtes
 - Kystes cloisonnés Bosniak IIF
 - Dépistage des nécroses corticales
 - En transplantation rénale+++
 - Sur reins natifs

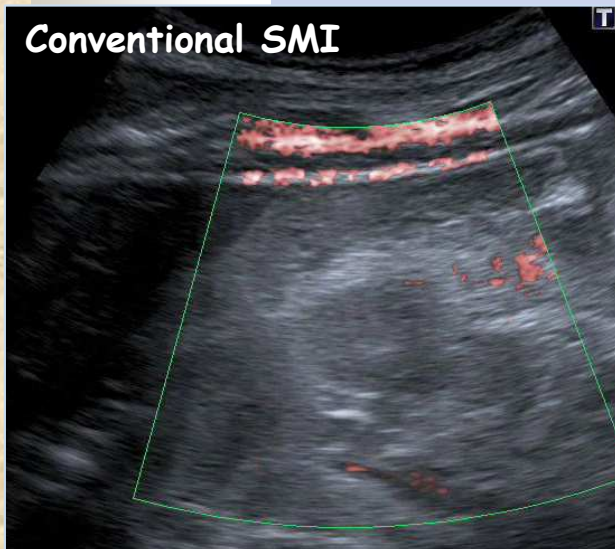
Un nouveau paradigme: mp-US

Caractérisation d'une ischémie rénale

Mrs C., 42 ans

- greffe rénale pré-emptive, donneur vivant
- 2 artères ré-anastomosées durant la chirurgie après saignement aigu per opératoire
- bonne coloration du rein mais pas de diurèse immédiate

Surveillance à J1



SonoVue® 1.2 ml



SIEMENS

6C1 HD

*ABDO VASC

AC

IM: 0,05

FIM: 0,04

9ips

2D -- 0,25%

CCAI

CPS1,50 MHz

0dB PD80

CPS 0 dB

SC Des

CarD/ST3

<| -1 @ >

12

SPC
AC

00:00:16

14cm

IM: 0,05
FILM: 0,05

SIEMENS

6C1 HD / *REINS

AC

2D — 0,25%

CCAI / CPS1,50 MHz

1 dB / PD 80

CPS 0 dB

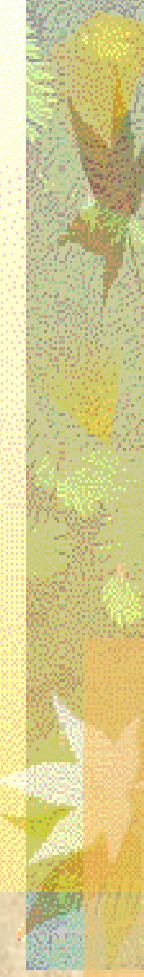
SC Dés

Carte C / ST 3



00:00:14 12ips 10cm







Applications cliniques

- En imagerie digestive
 - MICI
 - Pas en pratique courante
 - Vascularisation de la paroi digestive



Applications cliniques

- En imagerie prostatique (cf. module)
 - Couplée à l'élastographie
 - Intérêt dans la caractérisation des nodules prostatiques
- En imagerie thyroïdienne (cf. module)
 - Caractérisation des nodules \pm
 - Abandon par certaines équipes



CONCLUSION

- les technologies avancées = une nouvelle façon de pratiquer l'échographie
- Développement des algorithmes embarqués
- Équipements spécifiques
- Amélioration des valeurs diagnostiques
- Formation indispensable +++



Merci de votre attention