

# JIFA 2013

**Dr Bruno ANASTASIE**

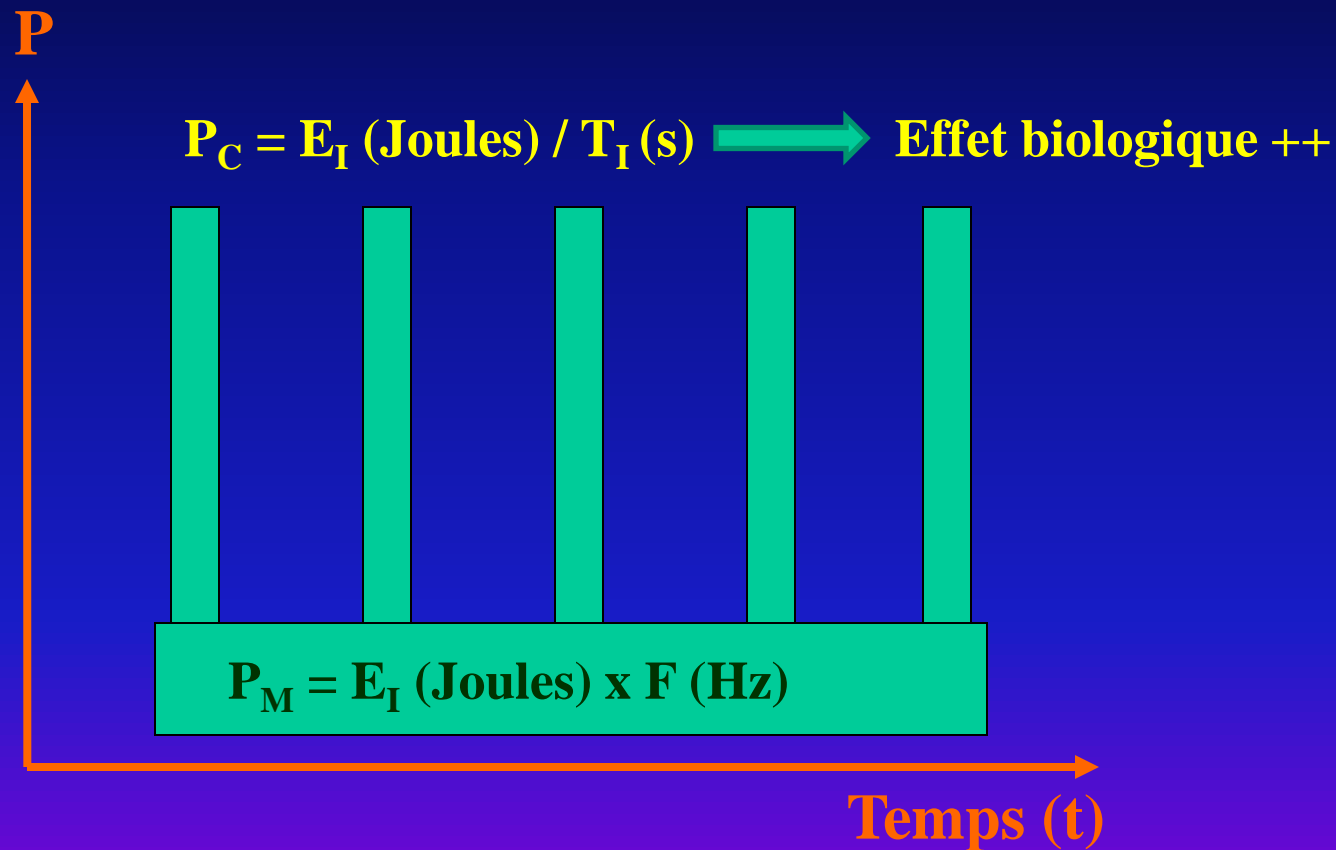
Résidence « Le Domaine du Bois Fleuri »  
11 Chemin des vieilles postes  
91000 Evry

Société Francophone des Lasers Médicaux



**dr-brunoana@wanadoo.fr**

# Laser : puissances ( $P_M - P_C$ )



# Laser : calcul de puissances

$P_M$

$P_C$

$E_I$  (Joules) x  $F$  (Hz)     $E_I$  (Joules) /  $T_I$  (s)

## Vasculaire

10 J, 20 ms, 8Hz

$$10 \times 8 = 80 \text{ W}$$

$$10 / 20 \cdot 10^{-3} = 500 \text{ W}$$

## Electro-mécanique

15 mJ, 150 ns, 5 KHz

$$15 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^3 = 75 \text{ W}$$

$$15 \cdot 10^{-3} / 150 \cdot 10^{-9} = 100 \text{ KW}$$

# Temps d'impulsion (Ti)

## Temps de Relaxation Thermique (TrT)

**Ti / TrT < 10**  **Pression tissulaire**  
→ **Effet thermomécanique**  
(Lithotritie, photodisruption, détatouage..)

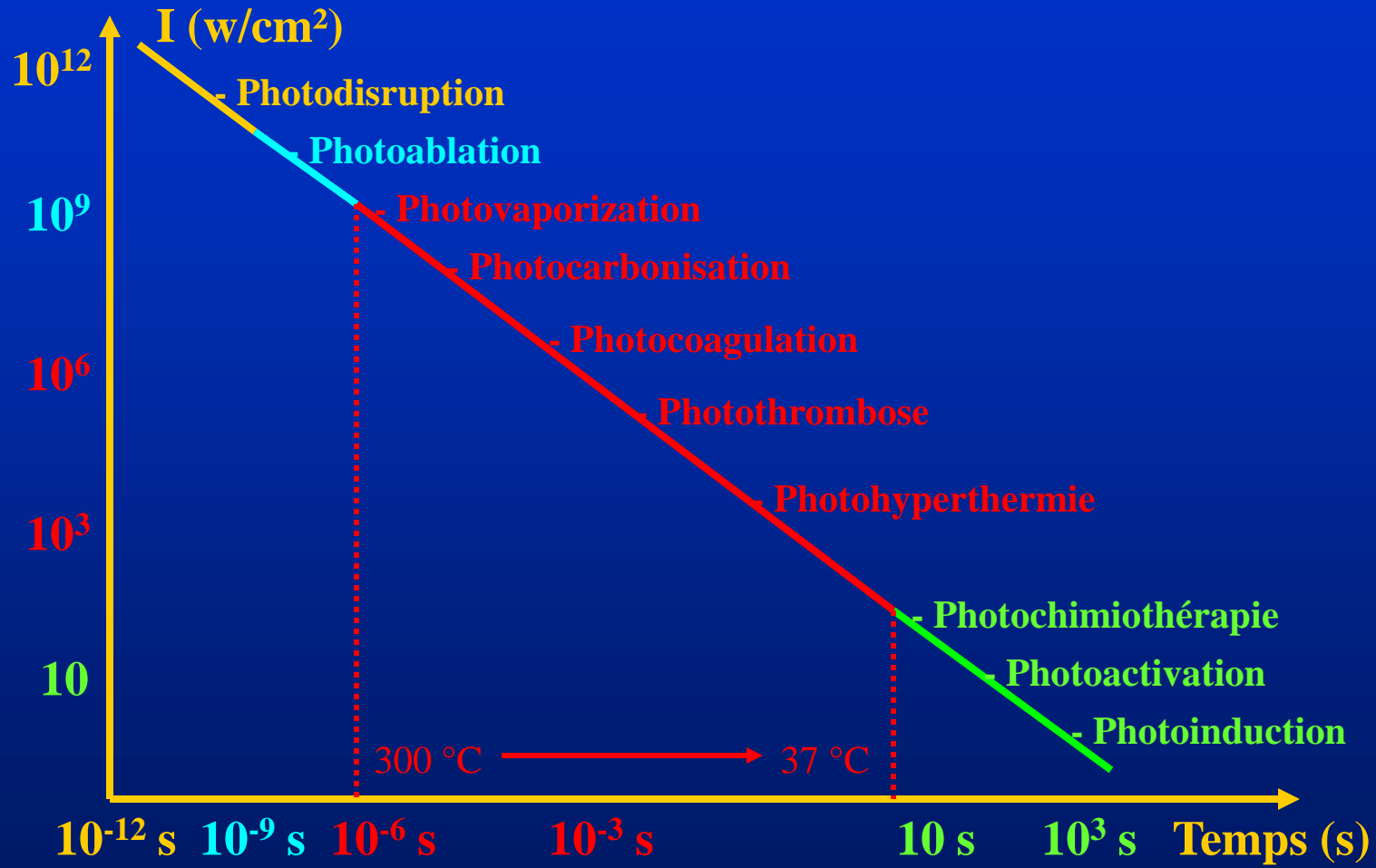
**Ti ≈ TrT** **Vol θ = Vol source de θ x 3**  
(Fluence++)  
**Vasculaire**  
(Photothrombose, coagulation ...)

**Ti / TrT > 10** **Sélectivité optique = 0**  
**Transfert de θ à distance**  
**Chauffage tissulaire**  
(PTD, HBP ...)

# TRT : temps de relaxation thermique

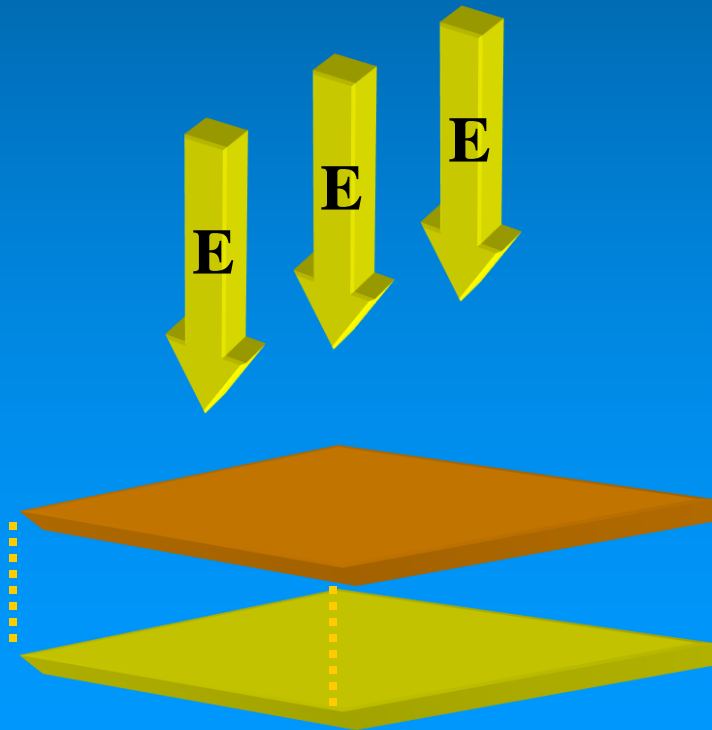
Mélanosome	1 $\mu\text{m}$	1 - 10 $\mu\text{s}$
Cellule	10 $\mu\text{m}$	10 - 100 $\mu\text{s}$
Follicule pileux	100 $\mu\text{m}$	1 - 10 ms
Vaisseau	50 $\mu\text{m}$	1 ms
//	100 $\mu\text{m}$	4 ms
//	200 $\mu\text{m}$	15 ms
//	500 $\mu\text{m}$	100 ms
//	1 mm	400 ms
//	2 mm	1,5 s

# Applications médicales



# Laser : Fluence

Exposition énergétique : « énergie totale reçue par le tissu »

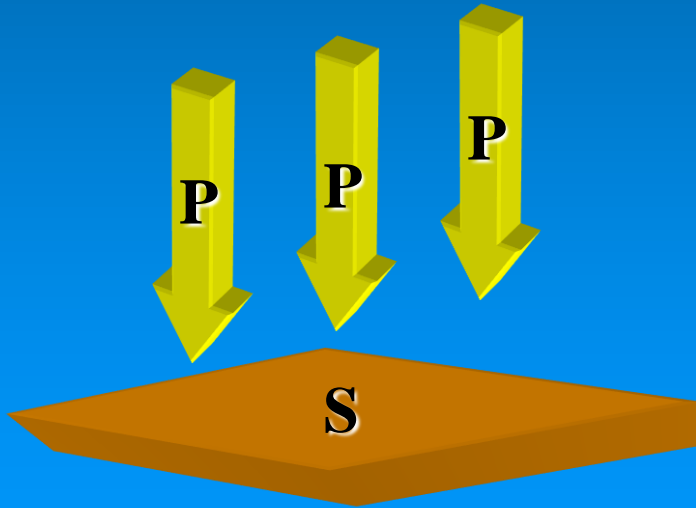


$$F = E / S$$

# Laser : Irradiance

## (Eclairement énergétique)

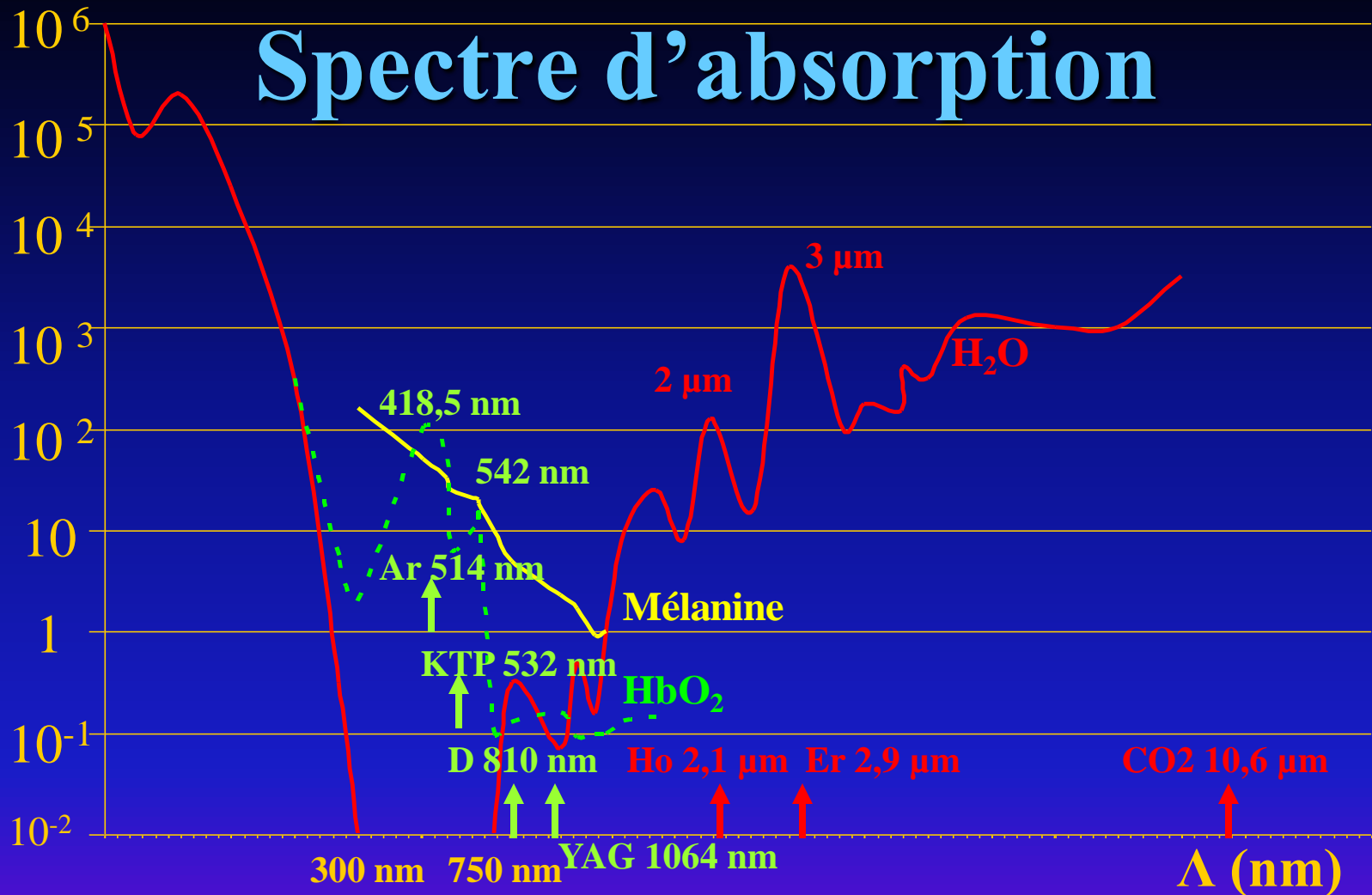
« Vitesse à laquelle on délivre l'énergie au tissu »



$$I = P / S$$



# Spectre d'absorption



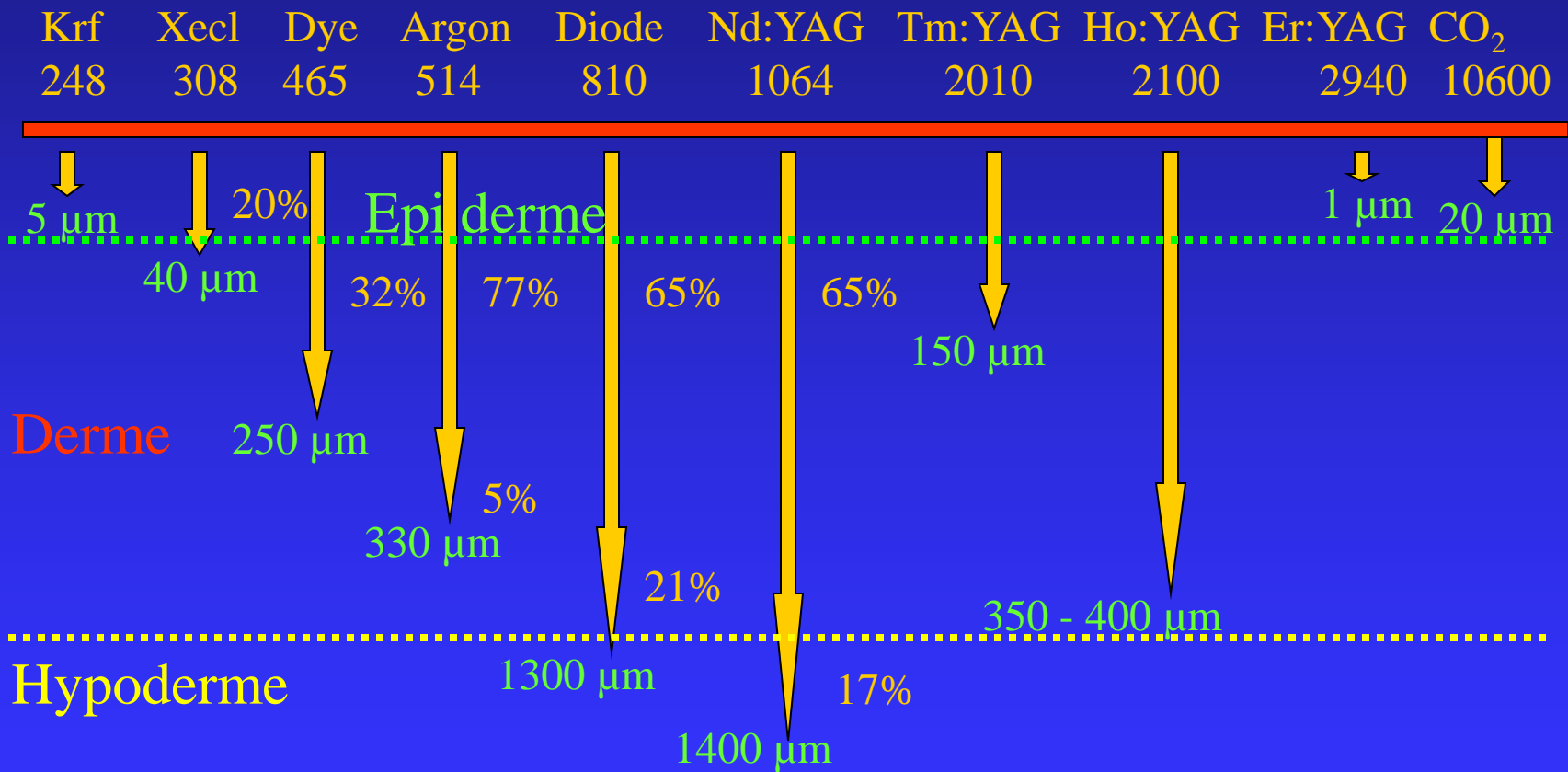
# Lasers vasculaires

- **KTP** 532 nm 340  $\mu\text{m}$
- **Colorant** 585-605 nm 550  $\mu\text{m}$
- **Alexandrite** 755 nm 1000  $\mu\text{m}$
- **Diode** 810, 940, 980 nm 1300  $\mu\text{m}$
- **Nd:YAG** 1064 nm 1400  $\mu\text{m}$
- **Diode 1450** 1500, 1560 nm 1400  $\mu\text{m}$

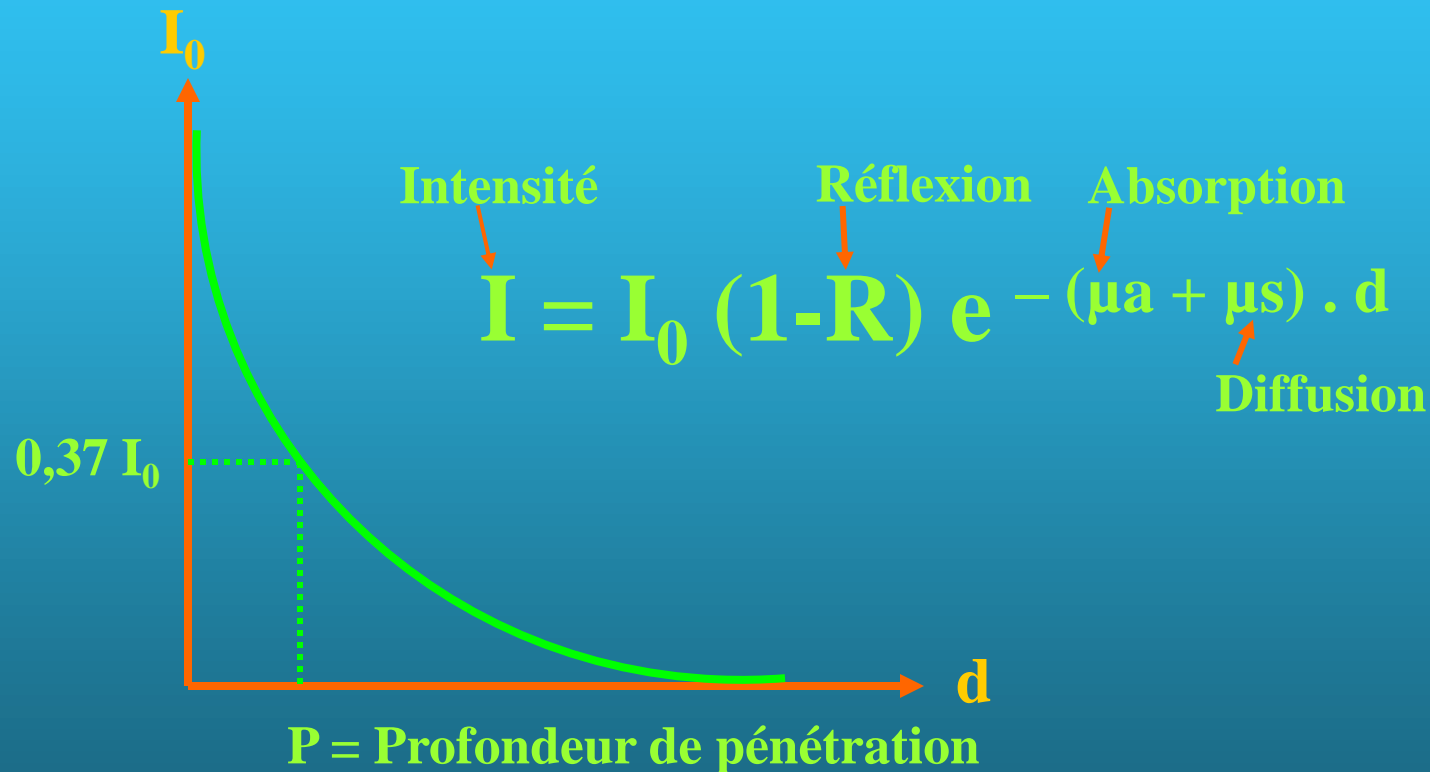
# CHROMOPHORES

- Eau 980, 2000 (Th 2,01  $\mu\text{m}$  - Ho 2,12  $\mu\text{m}$ )  
3000 (Er 2,94  $\mu\text{m}$ )  
10600 nm (CO<sub>2</sub> 10,6  $\mu\text{m}$ )
- Hb O<sub>2</sub> 418,5 - 542 - 577 nm
- Hb 555 nm
- Mélanine: Ultra-violet (10 - 400nm) +++  
Infra-rouge (800 - 15 000 nm) +
- Caroténoïdes: Ultra-violet  
Spectre Visible  
(400 - 800 nm)

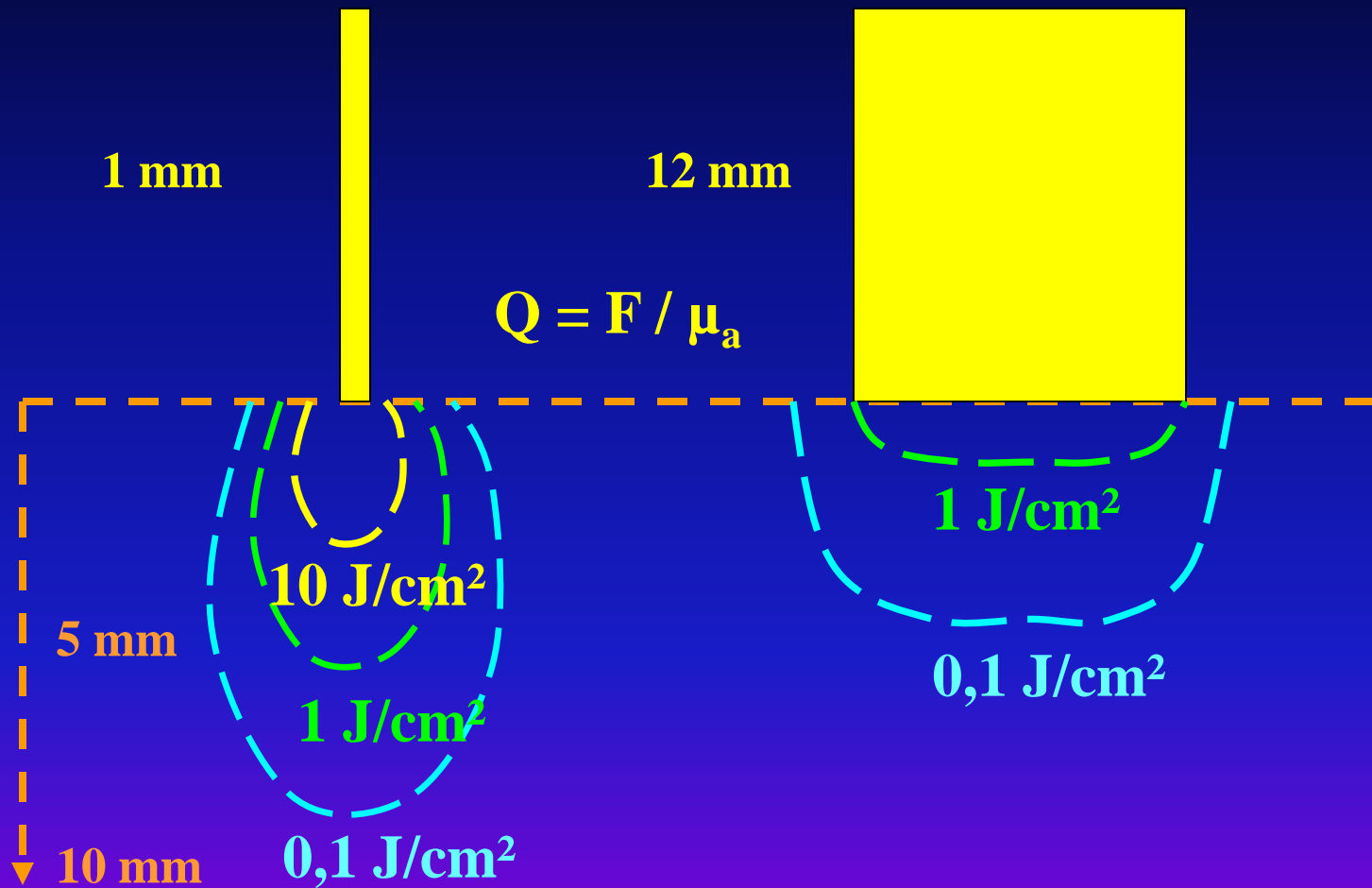
# Profondeurs de pénétration % d'énergie traversant la peau



# Loi de Beer-Lambert



# Taille du spot ou de la fibre



# Diamètre du spot

## 16 W / 100 ms / 100 ms

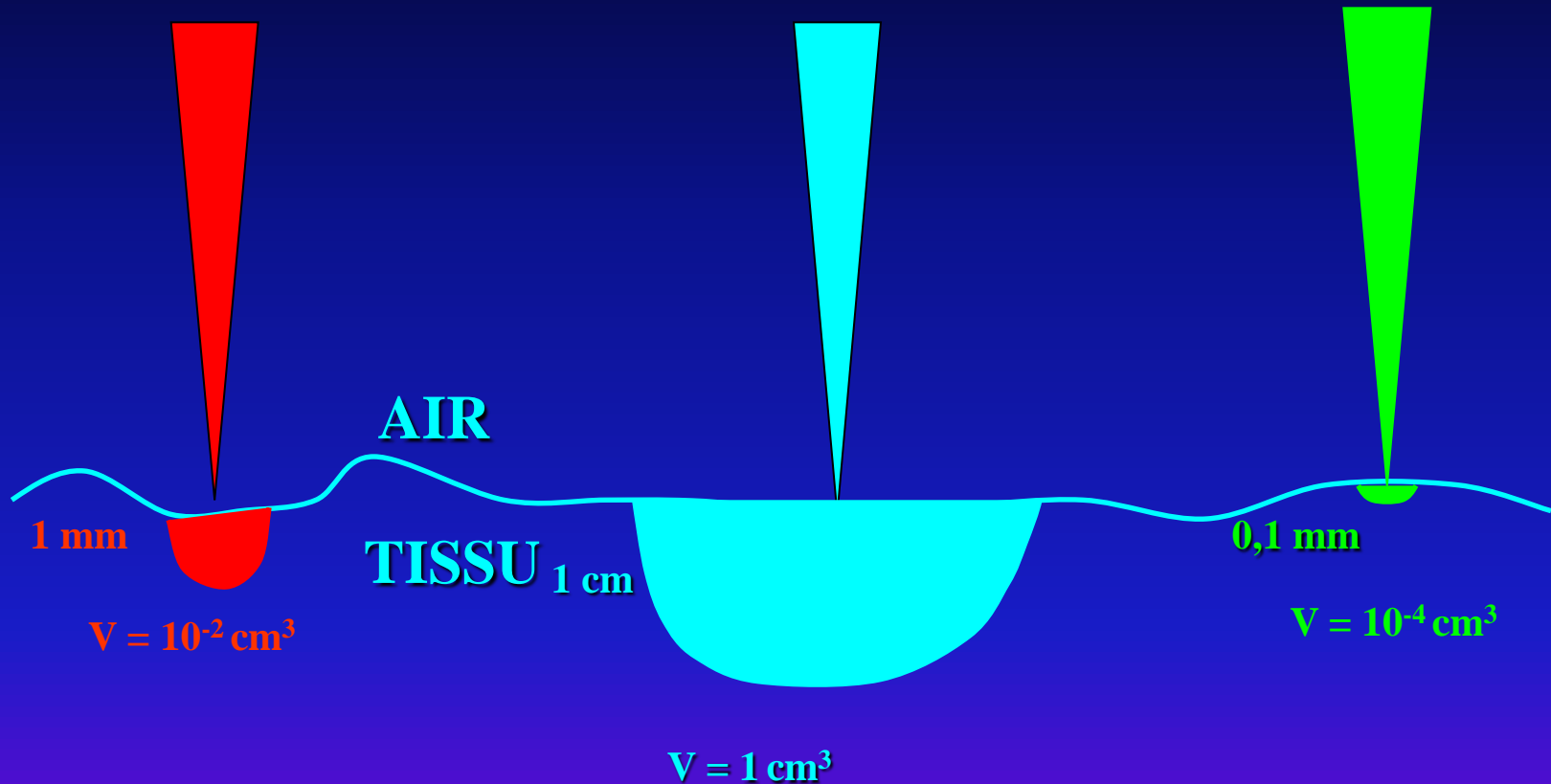
Diamètre mm	Surface Cm <sup>2</sup>	Rapport surface	Fluence E/S J/cm <sup>2</sup>	Irradiance P/S W/cm <sup>2</sup>
0,7	0,00384	1	416,6	4166
1,3	0,0132	3,43	121,4	1214
2	0,0314	8,18	50,9	509
3	0,07065	18,43	22,6	226

# Laser : volume de pénétration

Argon 514 nm

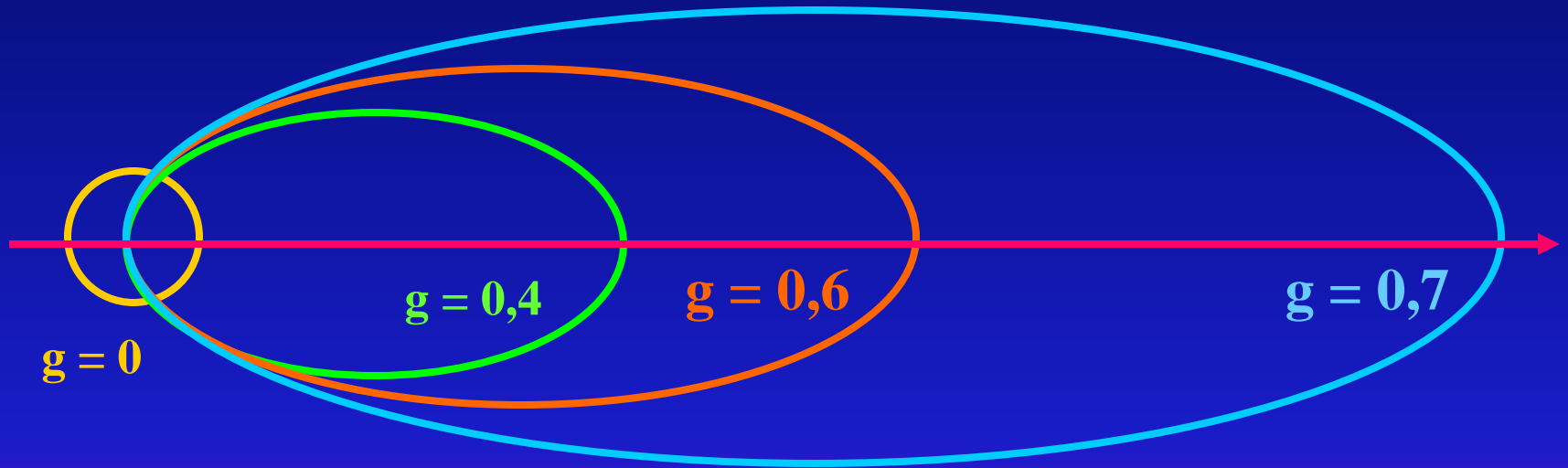
Nd:YAG 1064 nm

CO<sub>2</sub> 10,6 μm





# Laser : facteur d'isotropie $g$

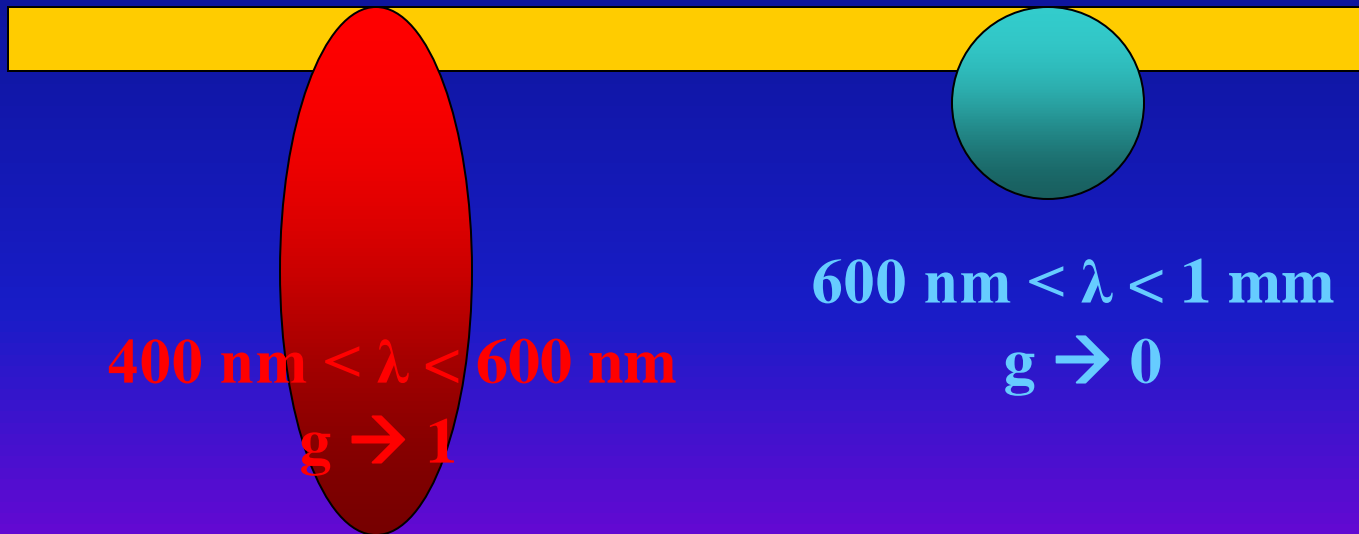


$$g = \langle \cos \theta \rangle \quad (0 < g < 1)$$

# Laser : facteur d'anisotropie $g$

**KTP 532 nm**  
**Absorption +++**

**Diode 810 nm**  
**Diffusion +++**



# Conversion thermique de la lumière

## Caractéristiques optiques

1. Réflexion
2. Absorption
3. Diffusion

## Paramètres thermiques

1. Diffusivité
2. Conductivité

## Coefficients de dénaturation

1. Susceptibilité thermique
2. Energie d'activation

## Conversion thermique

## Transfert de chaleur

## Processus de dénaturation



# Transfert de chaleur

- **Convection (vaisseaux)**

- **Conduction**

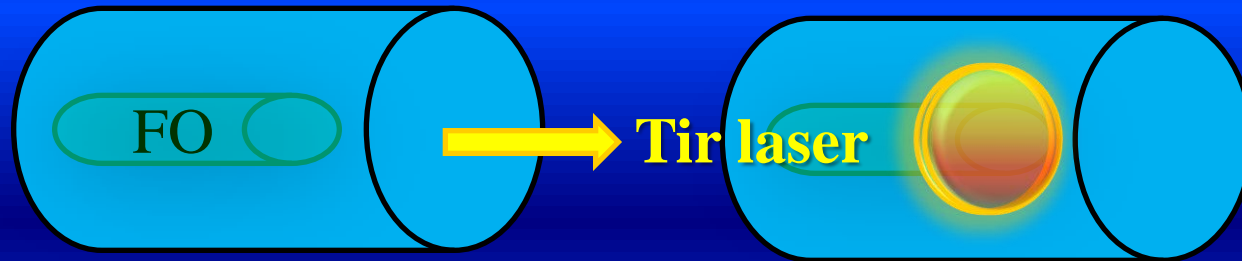
1. **Conductivité thermique (constante)**
2. **Diffusivité thermique (transitoire)**
3. **Temps de relaxation thermique (TrT)**

$$\text{TrT} = D^2 / C \times K$$

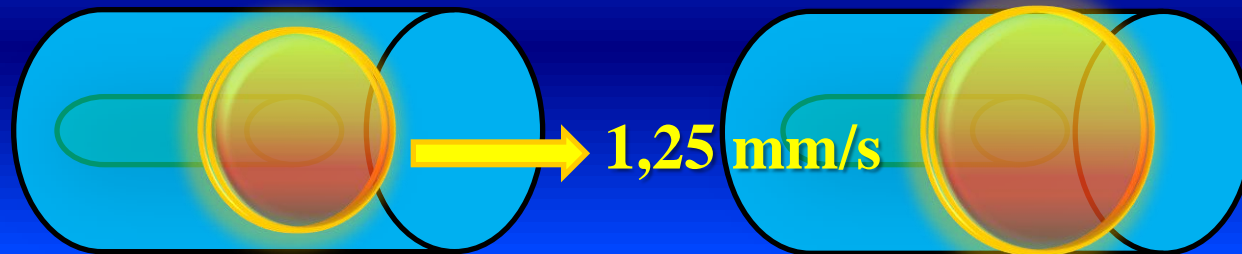
(T max / 2)

$$K = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ (cellule)}$$
$$1,7 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ (sang)}$$





**Etape optique : volume primaire**




**Etape Thermique: volume secondaire**

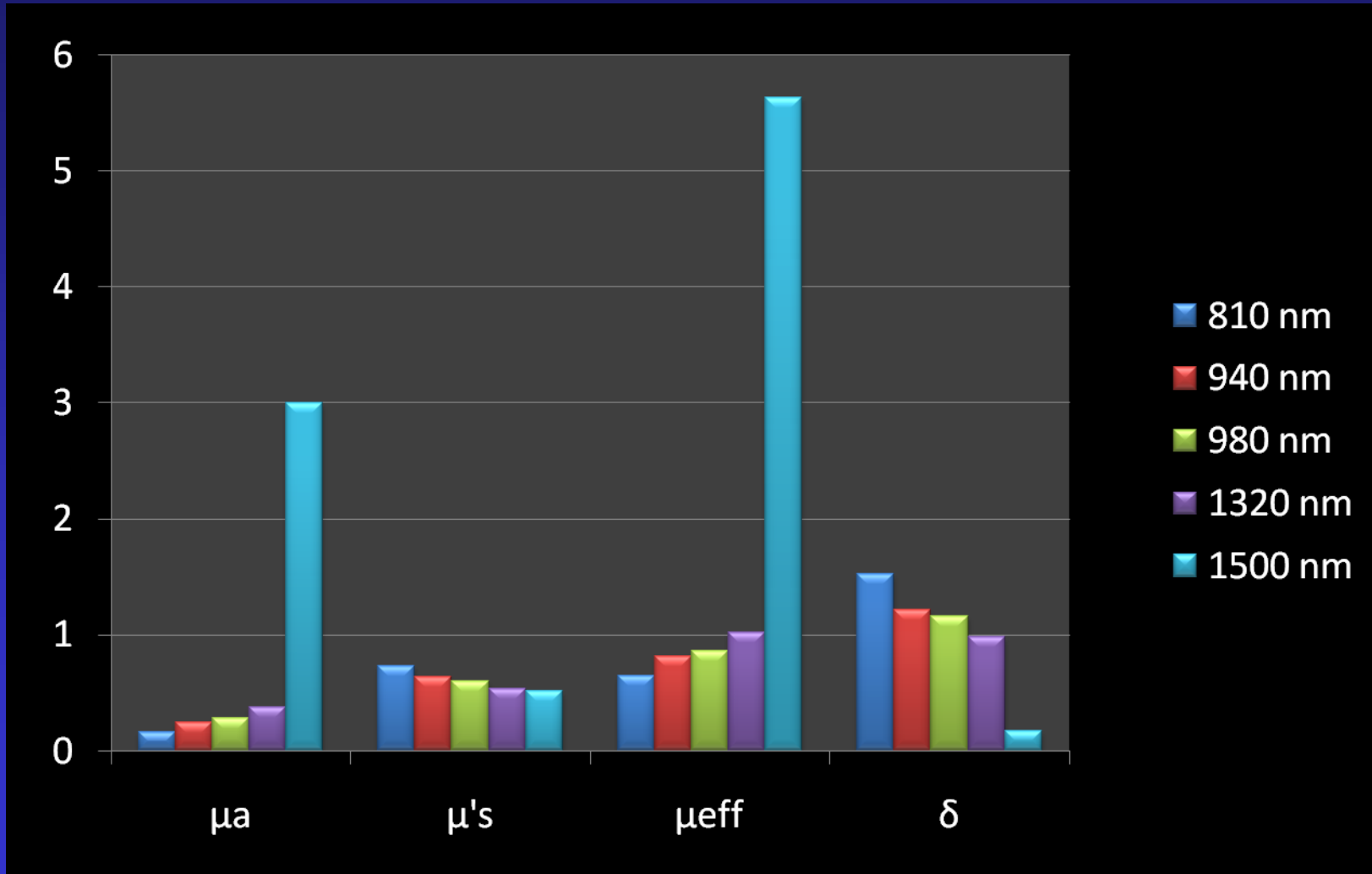
*Une irradiation à 2,7 fois le temps de relaxation thermique ( $TrT$ ) permet d'atteindre la paroi*

# LEV Modèle théorique

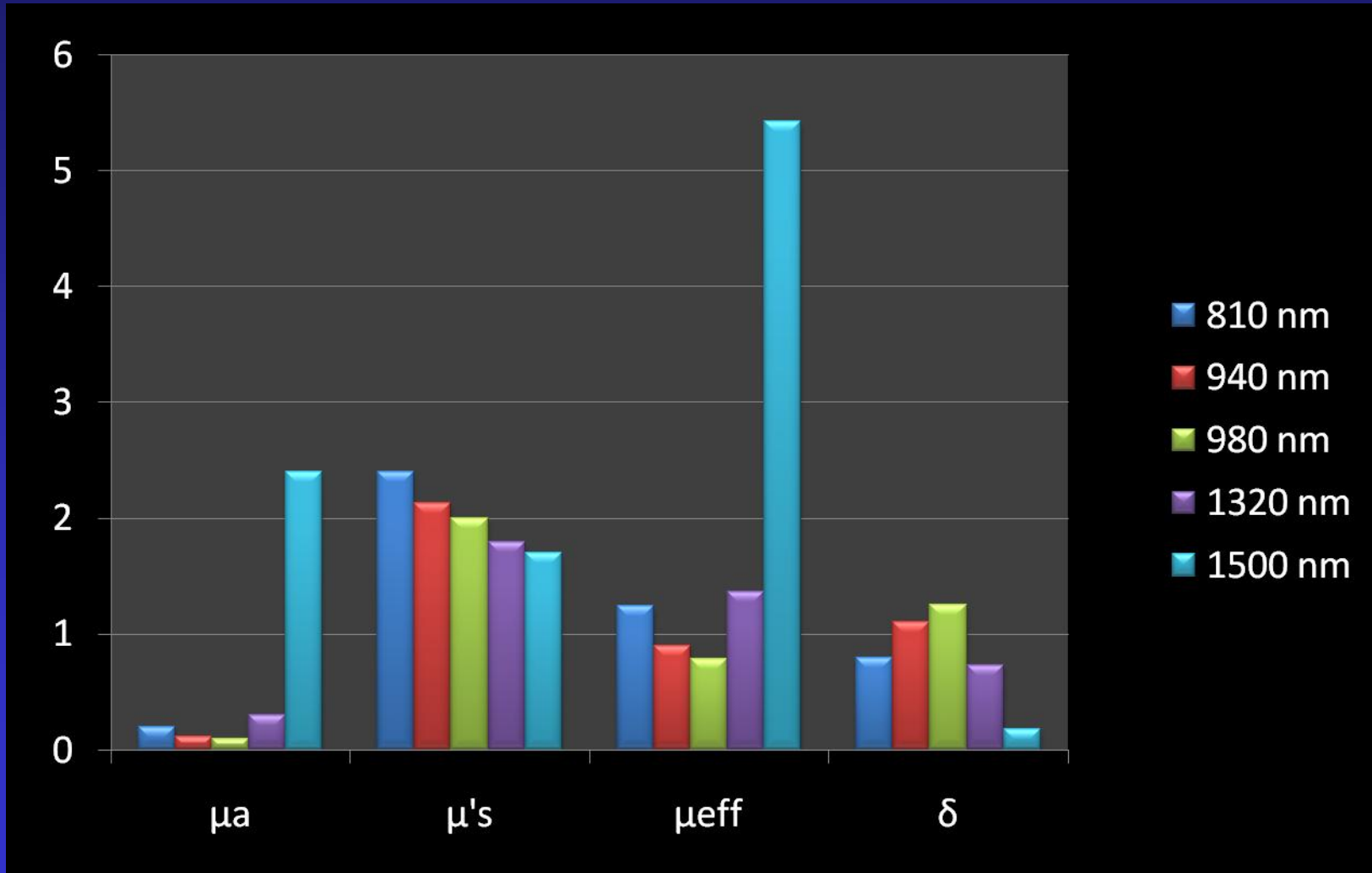
## Conversion de la lumière en chaleur

- Coefficient d'absorption  $\mu_a$  et diffusion  $\mu_s$  ( $\text{cm}^{-1}$ )
- $\delta$  (cm) =  $1 / [ \sqrt{3} \mu_a (\mu_a + \mu'_s) ]$   
 $\{ \mu'_s = \mu_s (1-g) \}$
- Conversion de la lumière en chaleur sur 1,4 à 2 mm
- Définition d'un « volume primaire »
-  Transfert de chaleur

# $\mu_a$ , $\mu'_s$ , $\mu_{eff}$ , $\delta$ - Sang

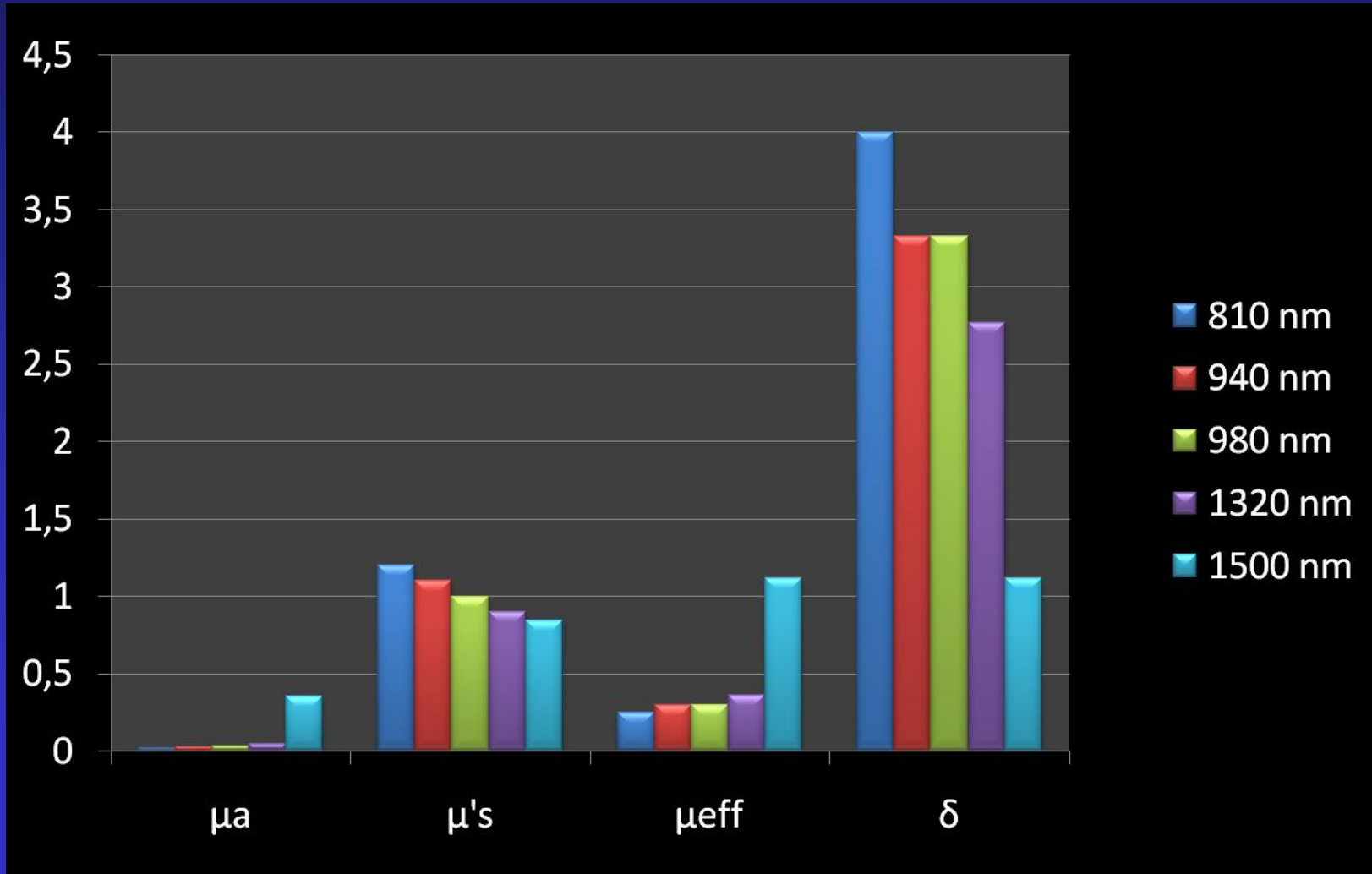


# $\mu_a$ , $\mu'_s$ , $\mu_{eff}$ , $\delta$ - Paroi veineuse

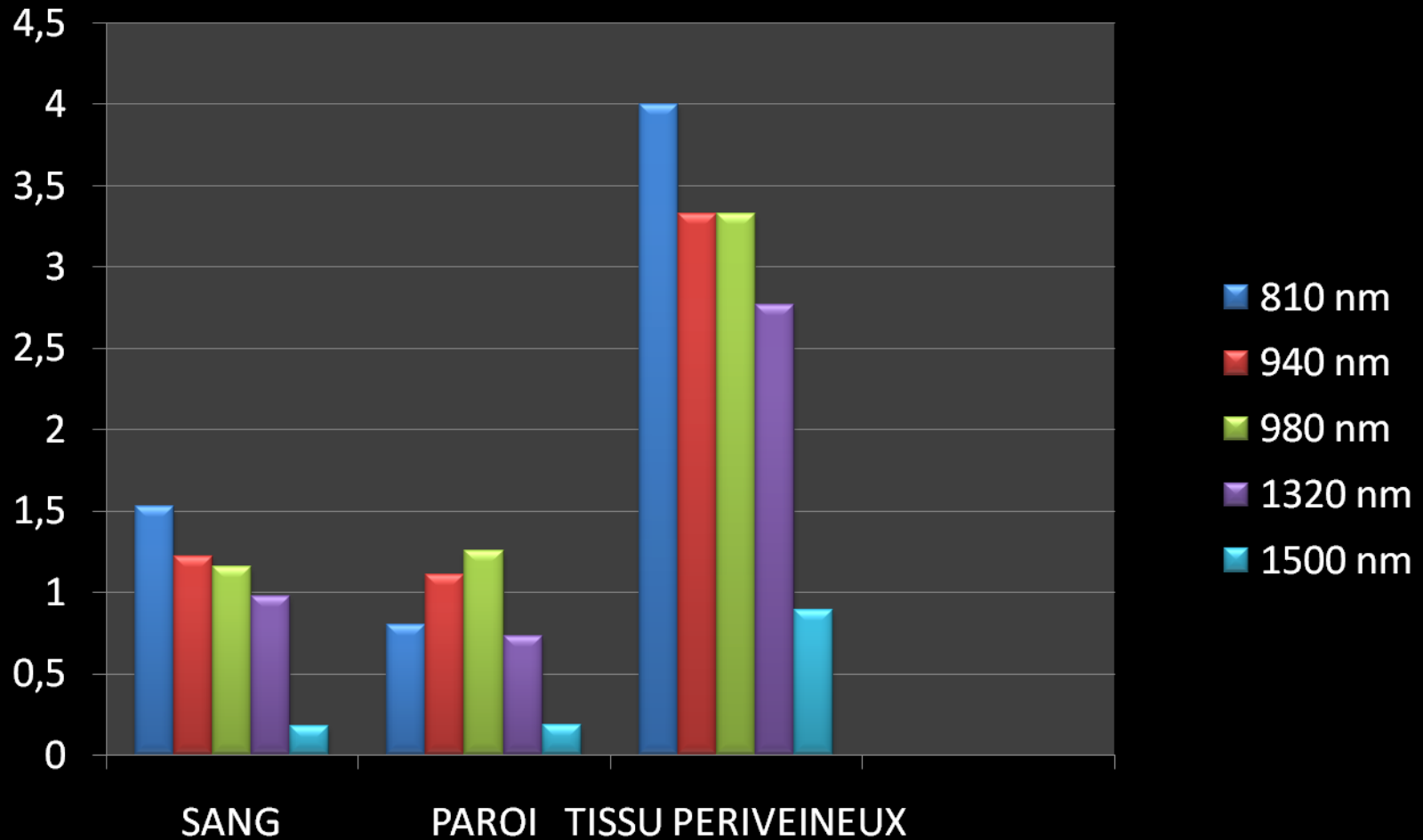




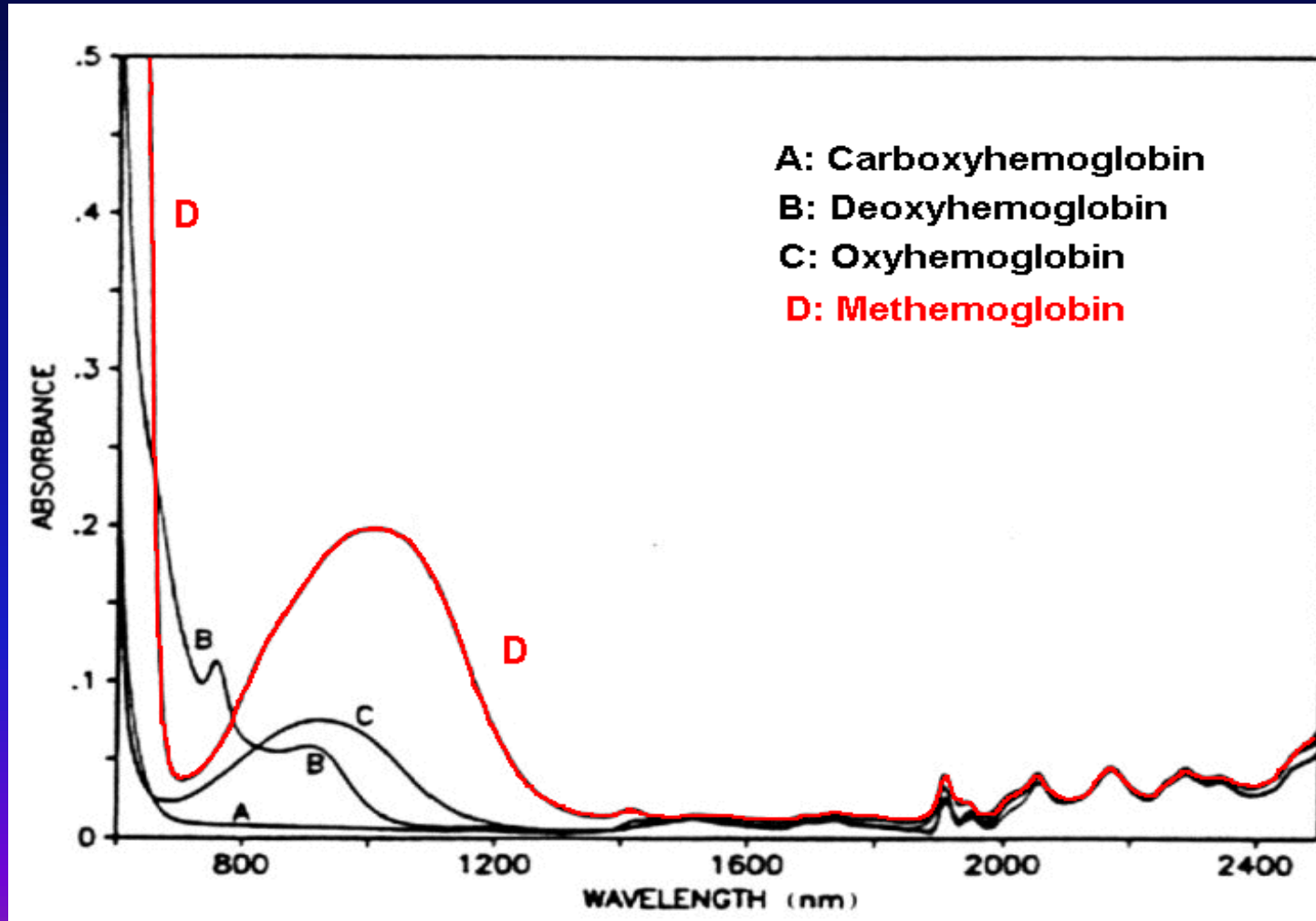
# $\mu_a$ , $\mu'_s$ , $\mu_{eff}$ , $\delta$ - Tissu Périveineux



$$\delta = 1 / \mu_{\text{eff}} = 1 / \sqrt{3} \mu_a (\mu_a + \mu'_s)$$



# Modification des propriétés optiques de la cible (S Mordon)



# **Dommages thermiques**

- 45 °C Vasodilatation, lésion endothéliale → mort Ce.**
- 50 °C Perte de l'activité enzymatique**
- 60 °C Membranes cellulaires, dénaturation protéique**
- 70 °C Dénaturation collagène, ↗ Perméabilité membr.**
- 80 °C Contraction collagène, nécrose de coagulation**
- 100 °C Vaporisation liquides, déshydratation**
- 130 °C Volatilisation cellulaire**
- 150 °C Disparition de l'eau, fragmentation cellulaire**
- 200 °C Carbonisation**
- 300 °C Fumée**
- 500-600 °C Incandescence**

# Lev modèle théorique

## Troisième étape : dommage tissulaire

### Loi d'Arrhénius

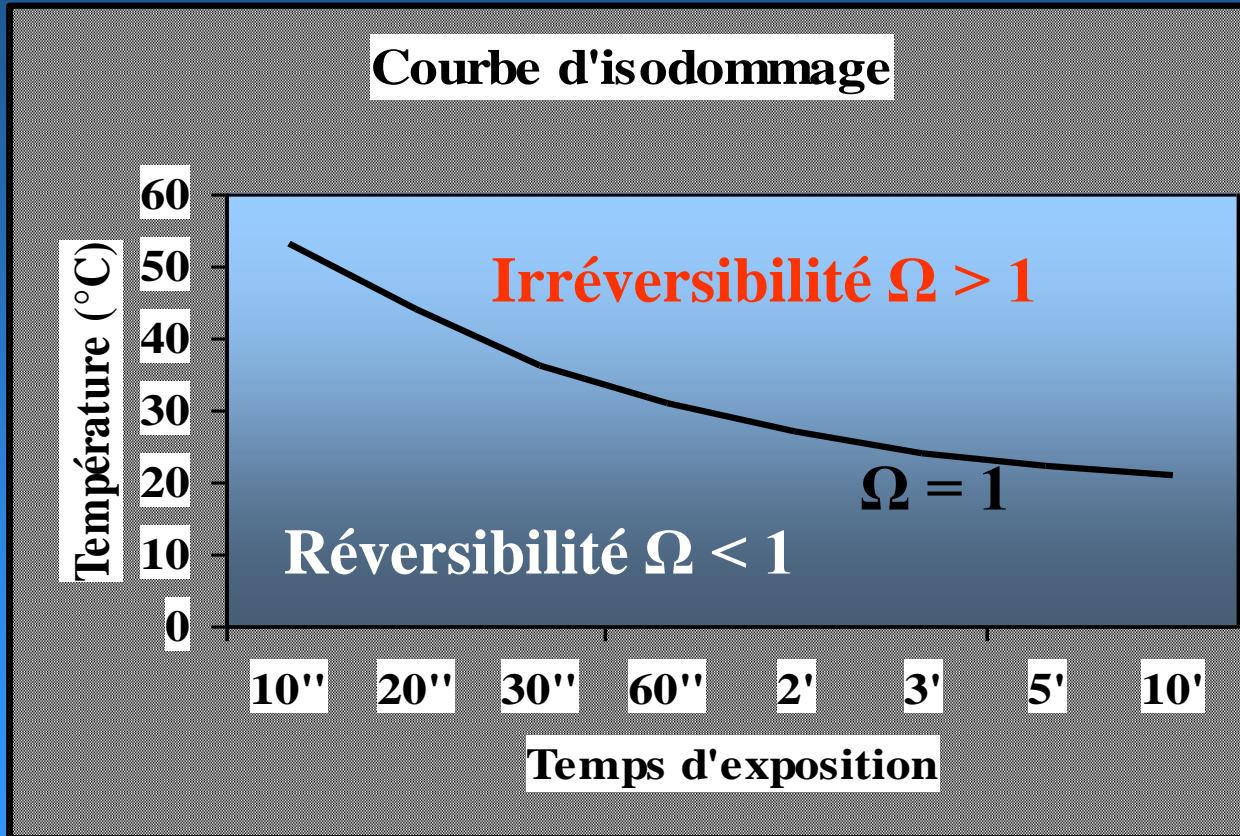
- $\Omega (r,t) = Af \int \exp (-E_a/R.T(t)).dt = \int d/dt.dt$
- $d/dt$ : cinétique de la dénaturation thermique
- $R$ : constante des gaz parfaits:  $8,3144 \text{ J.}^\circ\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
- $T(t)$ : température du tissu en  $^\circ\text{K}$  (Kelvin), au temps  $t$
- $Af$  (l/s) et  $E_a$ (J/mole) : constantes évaluées expérimentalement  
pour chaque tissu.
- $Af$ : susceptibilité thermique du tissu en  $\text{s}^{-1}$   
ou facteur de fréquence

# *Lev modèle théorique*

- Courbes d'isodommages  $\Omega = 1 \Rightarrow$  coagulation tissulaire
- Equation  $\Rightarrow$  Quantification du dommage  
 $\Rightarrow$  Représentation : courbes de dommage
- Corrélation avec histologie

Tissu cible	A (s <sup>-1</sup> )	E <sub>a</sub> (KJ.mole <sup>-1</sup> )
Sang	7,6 10 <sup>66</sup>	448
Paroi vasculaire	5,6 10 <sup>63</sup>	430

# *Lev modèle théorique*

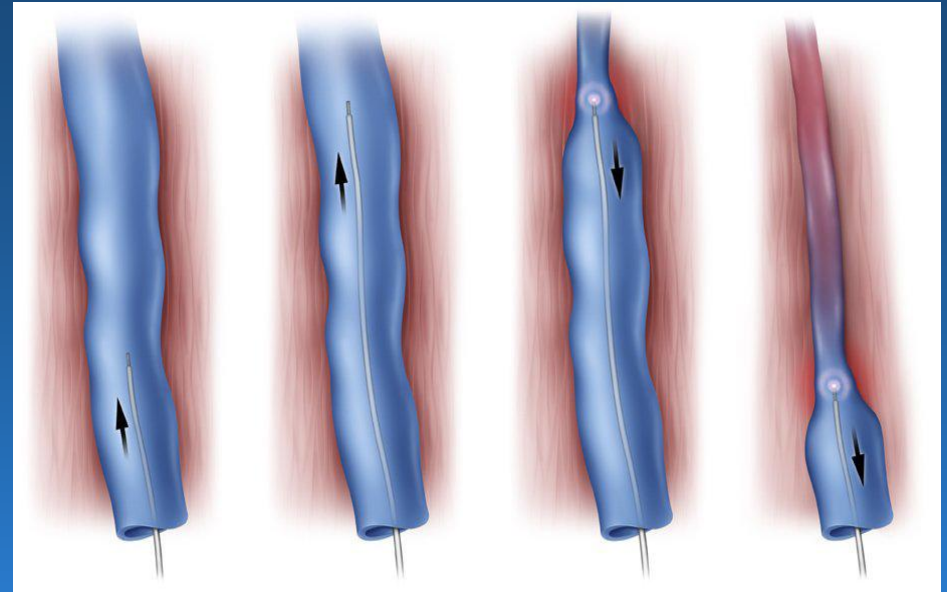
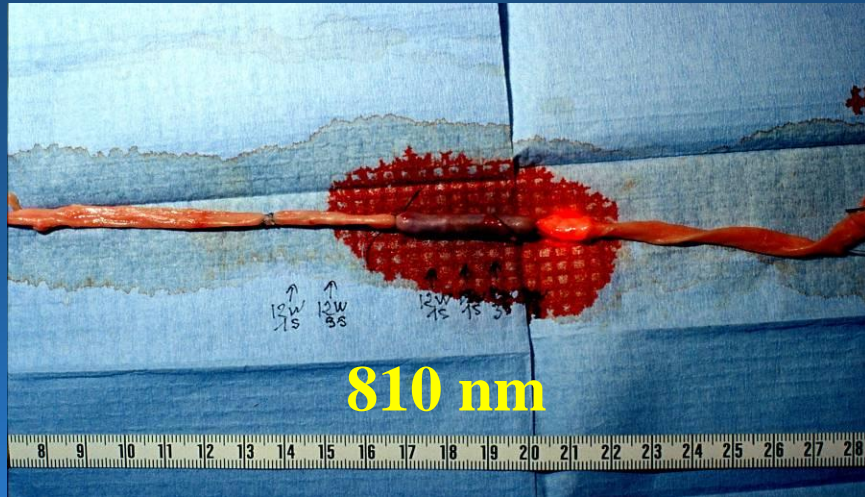


# *Lev modèle théorique*

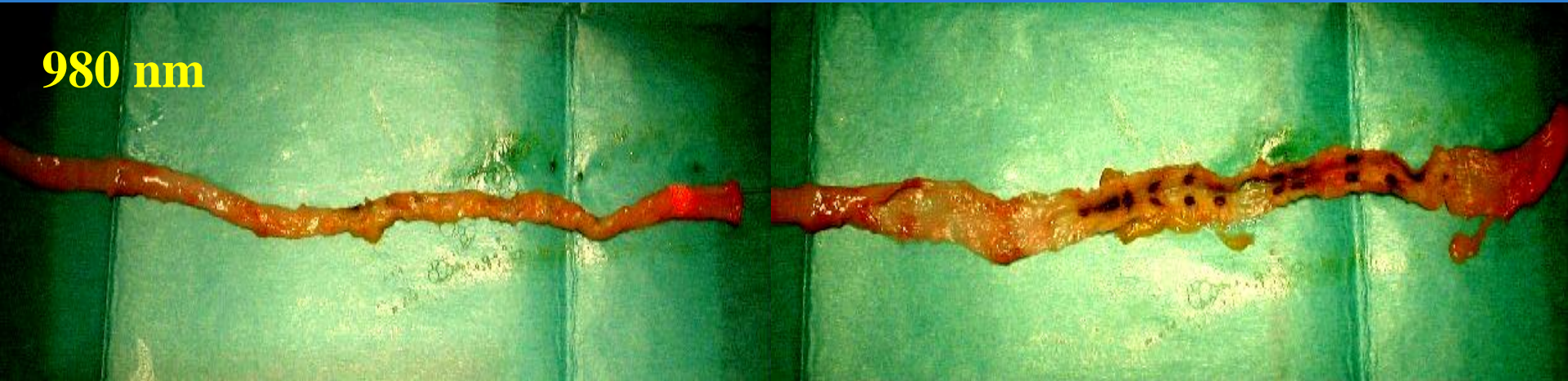
- **A et  $E_a$  sont plus faibles pour la paroi que pour le sang**
- **Prolonger le temps de chauffage donc d'émission**
- **$75^\circ\text{C} \Rightarrow \times$  du temps par 2,7 pour atteindre la paroi**
- **TrT  $\Rightarrow$  Coagulation du sang  $\Rightarrow$  Volume primaire**
- **Volume secondaire de diffusion  $\Rightarrow$  Paroi**
- **Multiplication du temps de tir d'un facteur 2,9 pour coaguler la paroi**
- **$E \text{ (J)} = 0,6 e^{0,5 \times d \text{ (mm)}}$**
- **LEED :  $d \text{ (mm)} \times 10 \text{ (J/cm)} - 980 \text{ nm} ++$**





# Expérimentation



**980 nm**

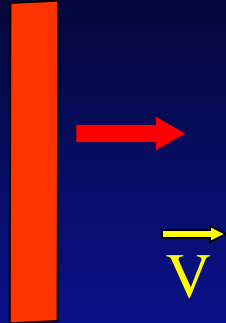


# Températures (6)

<b>Weiss 2002</b>	810 nm Temp interne	Moyenne 729 °C Pic 1334 °C	Thermocouple en sortie de fibre
<b>Lahl 2006</b>	980 nm (jugulaire chèvre) 15 W . 1,5 s . 1,5 s Temp externe	93 °C - 4 mm 307 °C - 2 mm 729 °C - extrémité	25%  Intumescence
<b>Zimmet 2008</b>	810 nm (porc) 8-15W et 1-2s Temp externe	40.8°C - 49,1 °C	30%  Intumescence
<b>Disselhof 2008</b>	980 nm Mode continu et discontinu (résidus carbonnés)	300 °c (tir) 30 °c (10s > tir) 128 +/- 7°C 75 +/- 4 °C	Continu Discontinu
<b>Fan 2008</b>	980 nm	1000 °C (tir) 300 °C (tir)	
<b>Van den Bos 2009</b>	980 nm Volume primaire = Ø Fibre	Ø Veine = 3 mm Ø Veine = 5 mm	Retrait < 3 mm/s Retrait < 1 mm/s

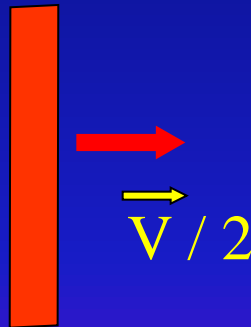
# Vitesse de passage à fréquence de tir constante

Pièce à main



\* \* \* \* \* N = 12

Pièce à main



\*\*\*\*\* N = 24

Energie/unité de longueur  
Multipliée par deux

# LEED Linear Endovascular Energy Delivered (8)

<b>Timpermann 2005</b>	<b>980 nm</b>	<b>111 veines 5 mois</b>	<b>80 J/cm</b>
<b>Proebstle 2004, 2006</b>	<b>940 nm</b>	<b>114 GVS (15W) 149 GVS (20 W) 1 an</b>	<b>82,7 % occlusion 97 % occlusion 20 J/Cm</b>
<b>Mordon 2006</b>	<b>980 nm 810 nm 1320 nm</b>	<b>Continu (1-3 mm/s) Discontinu (3-7 mm) Ø 3-5 mm</b>	<b>65-100 J/cm 15-50 J/cm Idem ≠ λ (nm)</b>
<b>Kaspar 2007</b>	<b>980 nm 5,8,12,15 W</b>	<b>279 veines strippées</b>	<b>Perforations Disruption pariétale 15W</b>
<b>Desmyttère 2007</b>	<b>980 nm 511 GVS - 1 an</b>	<b>Ø 3 mm Ø 15 mm</b>	<b>50 J/cm 120 J/cm</b>
<b>Theivacumar 2008</b>	<b>980 nm</b>	<b>644 GVS 3 mois</b>	<b>599 occlus - 48 J/cm 45 échecs - 37 J/cm</b>
<b>Elmore 2008</b>	<b>810 nm</b>	<b>516 GVS 3-65 mois</b>	<b>99,7 % occlus &gt; 50 J/cm</b>
<b>Vuylsteke 2008</b>	<b>980 nm</b>	<b>129 GVS 6 mois</b>	<b>occlus &gt; 52 J/cm échecs &lt; 43,7 J/cm</b>

# Analogie sclérose et laser ?

**VOLUME**

**EPAISSEUR PAROI**

**SCLEROSE**

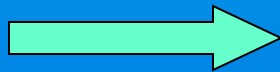
**Volume**

**Concentration**

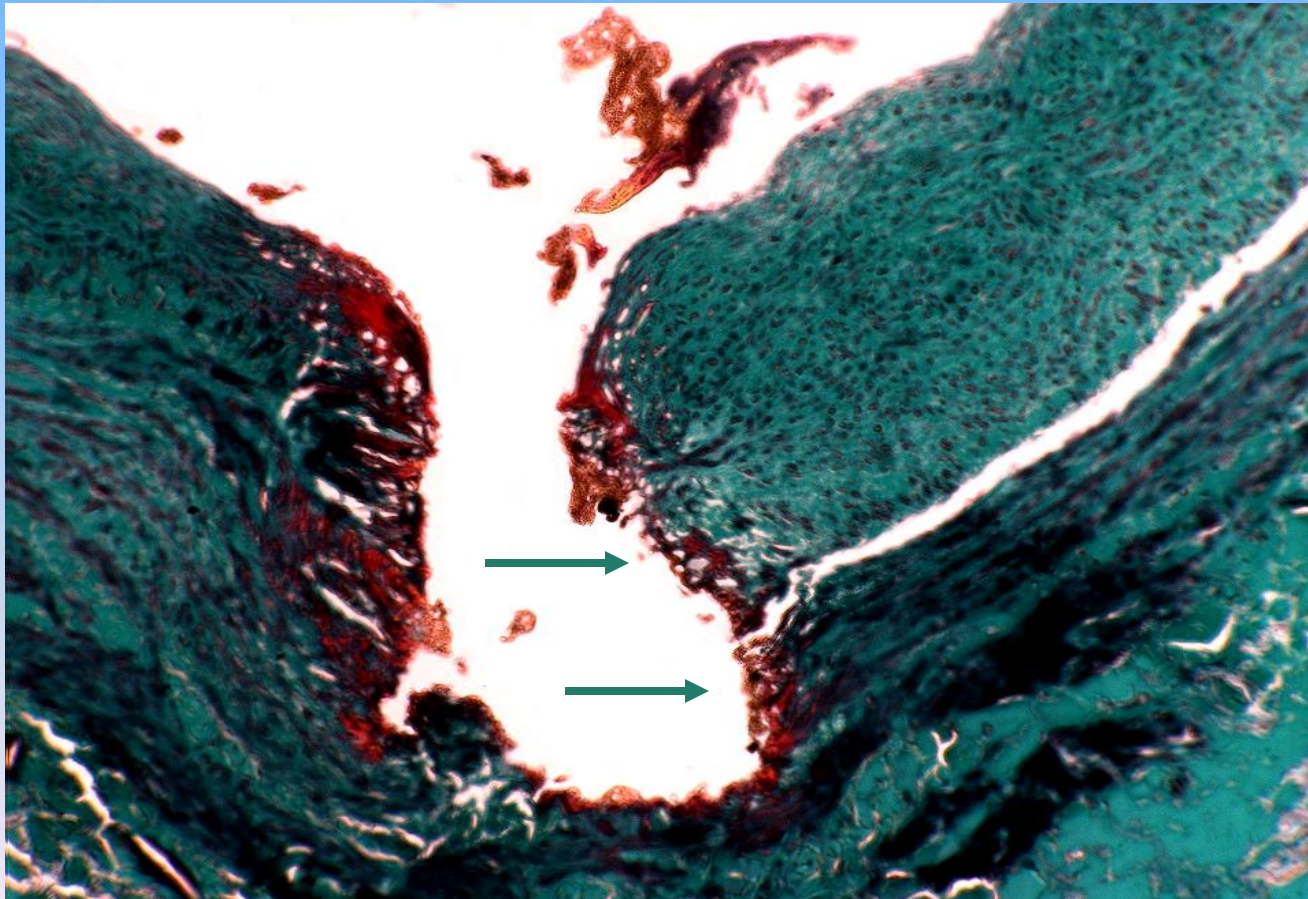
**LASER**

**Temps émission**

**Intensité**

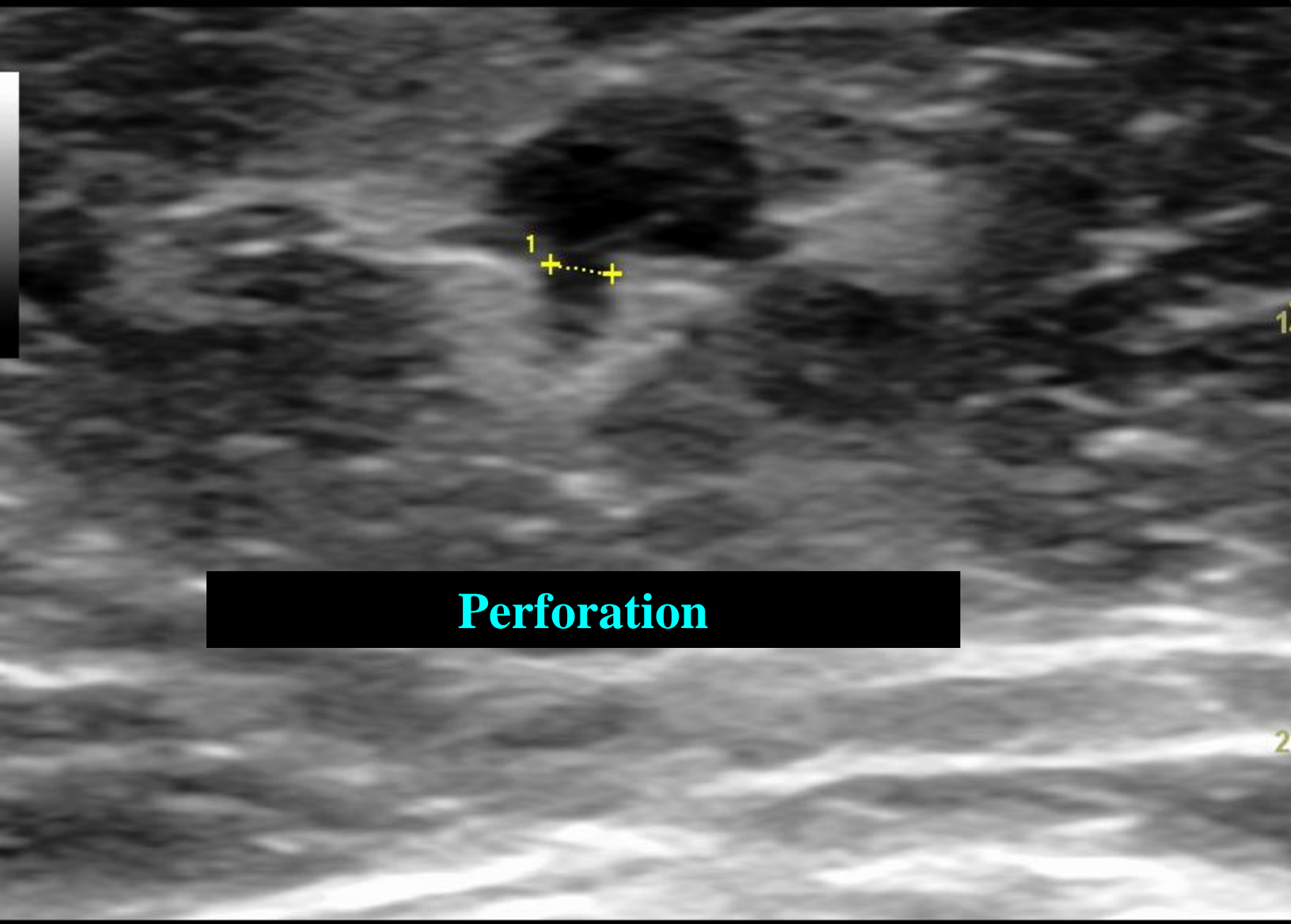


**Vuong PN, Anastasie B, Blanchemaison P, Desoutter P**  
**Laser endo-veineux. Modification histologique in vitro des**  
**varices**  
**GELEV Congrès 19 Octobre 2002 ; Abstract (p 22-23 )**





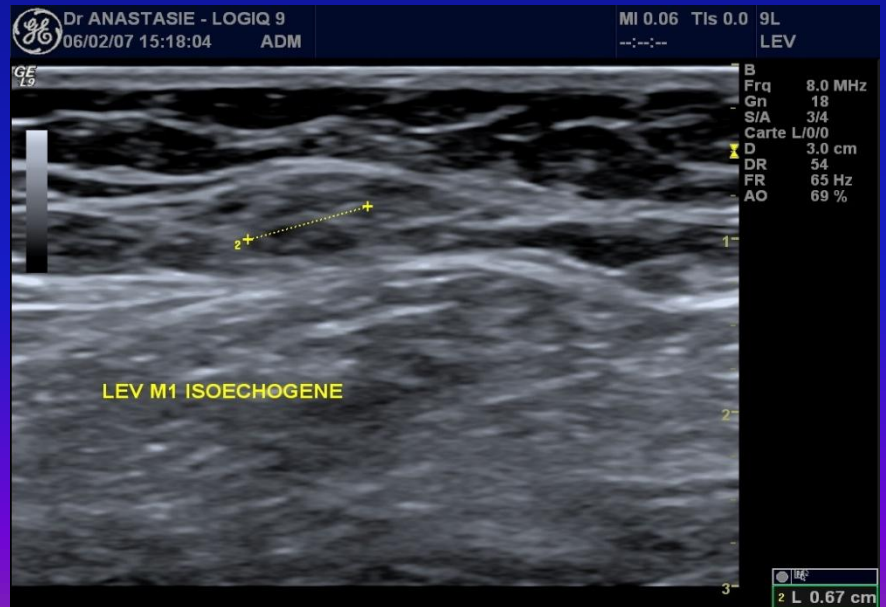
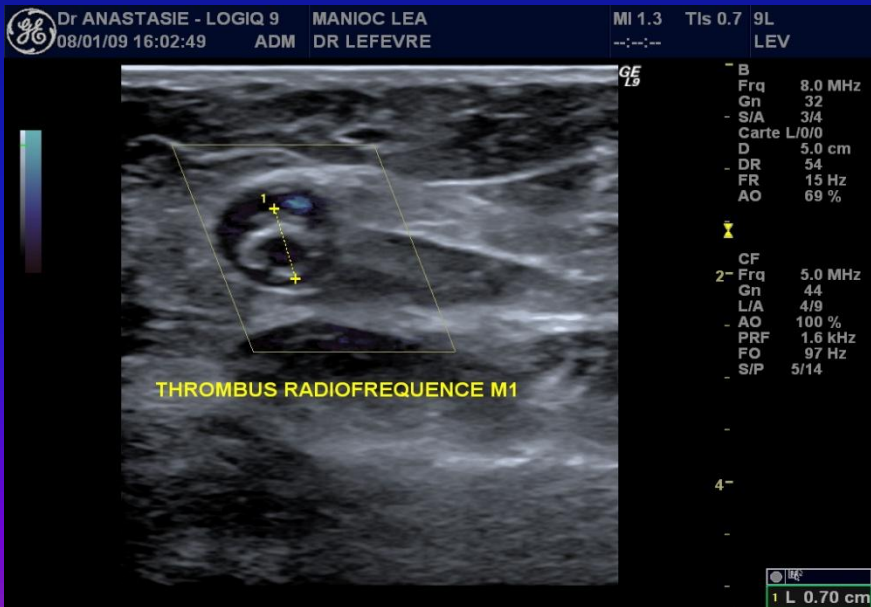
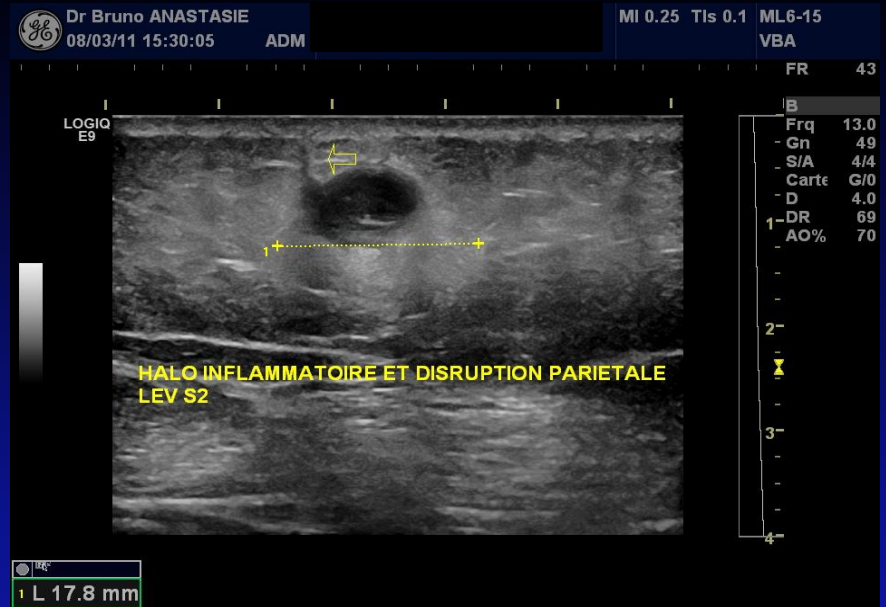
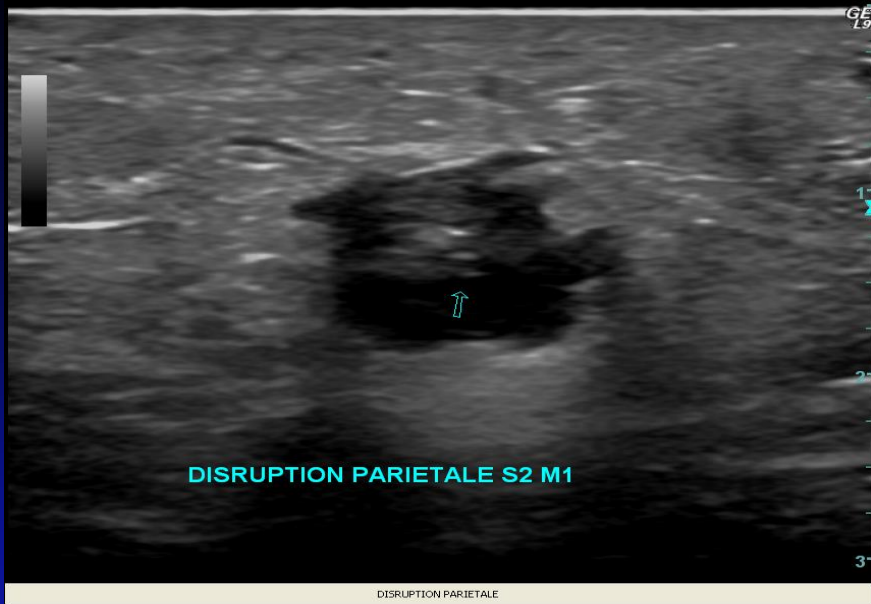
B  
Frq 8.0 MHz  
Gn 33  
S/A 3/4  
Carte 1/0/0  
D 3.0 cm  
DR 69  
FR 65 Hz  
AO 100 %



**Perforation**

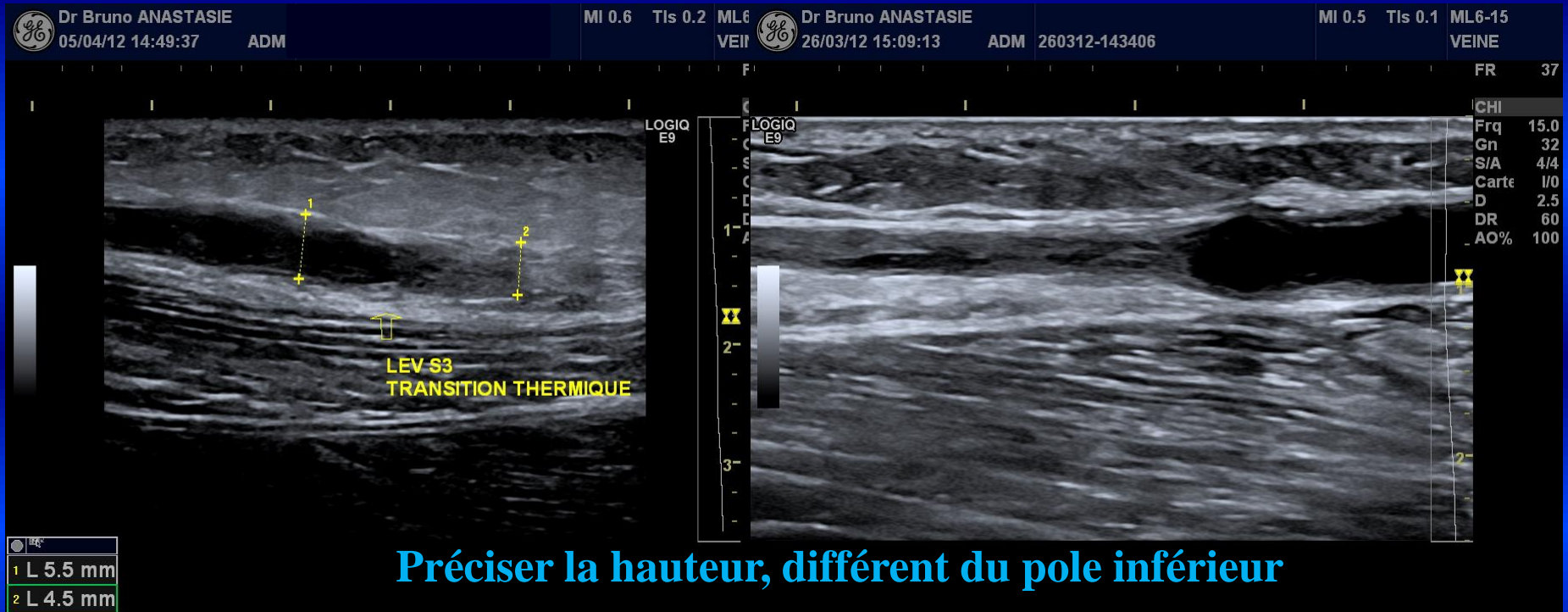
1

2

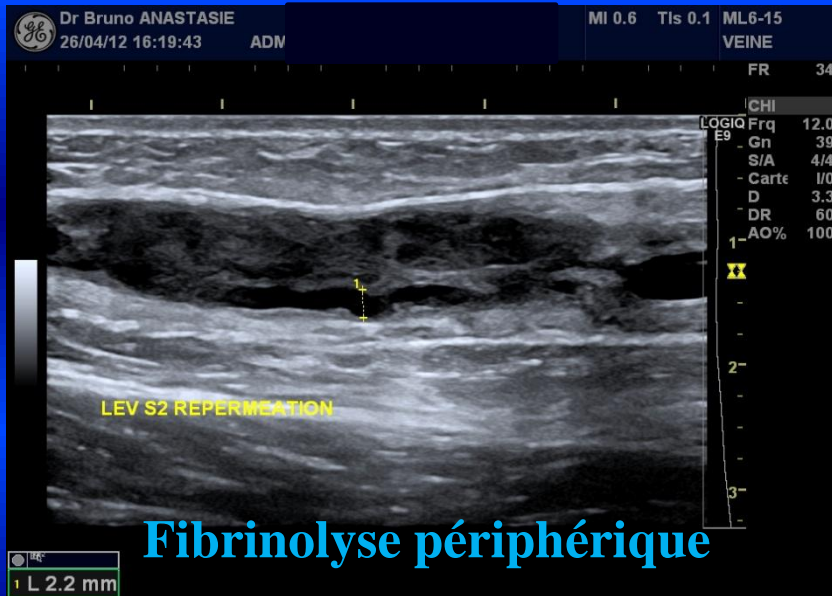




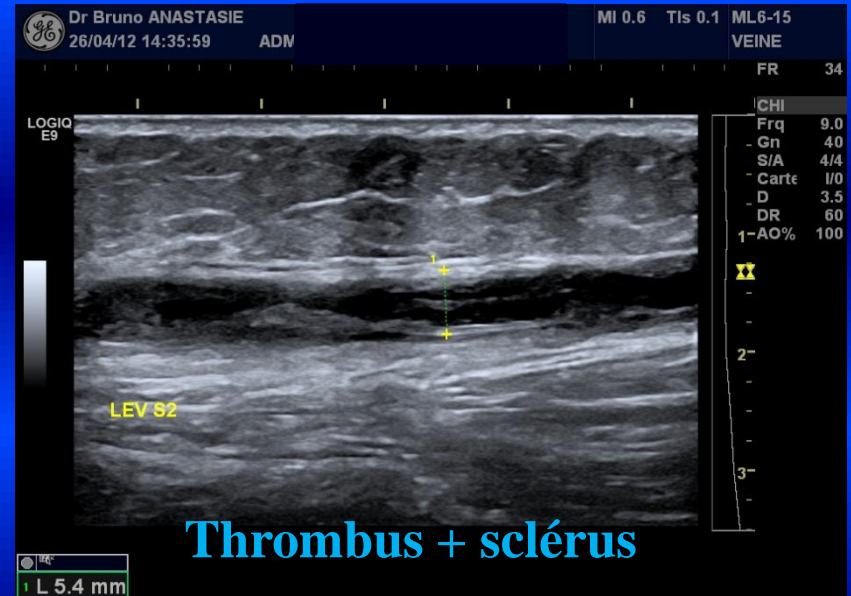
# Zone de transition thermique genou ++



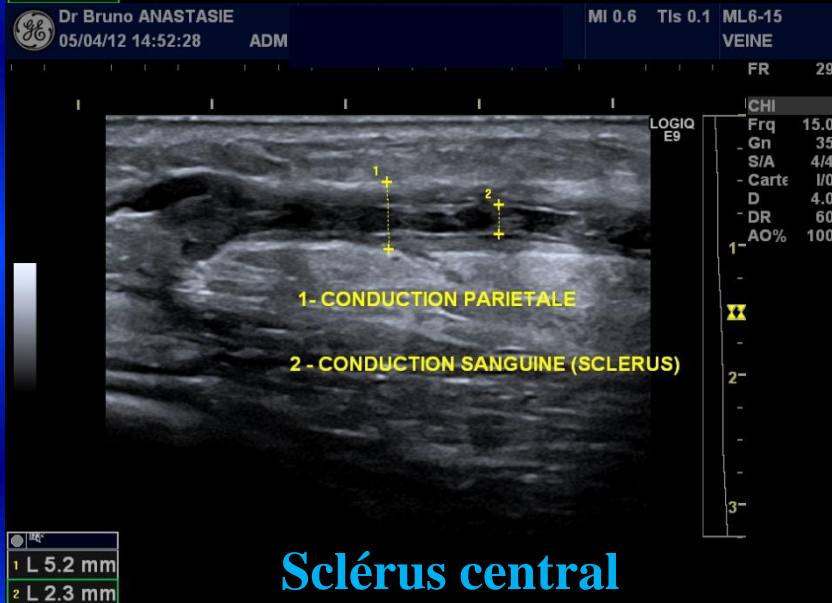
# Reperméation : échographie prédictive ?



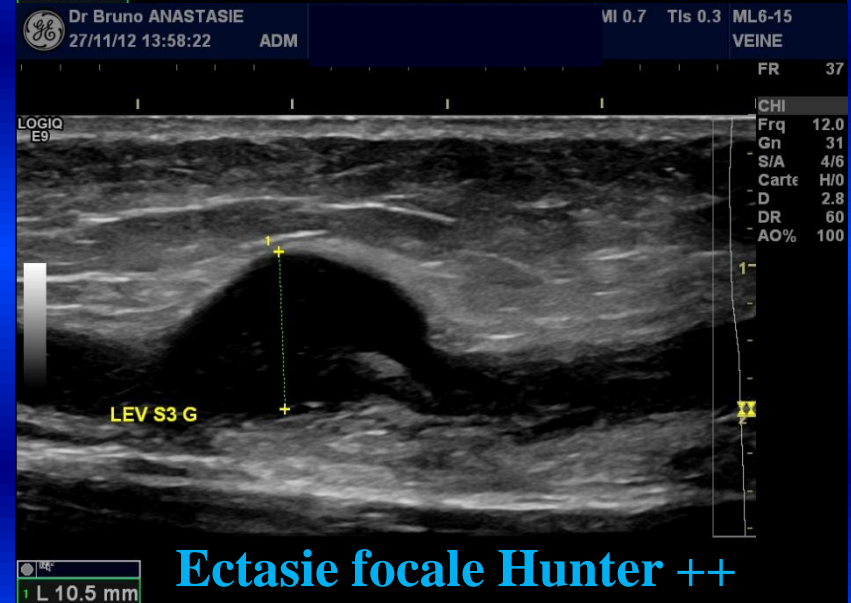
Fibrinolyse périphérique



Thrombus + scléros

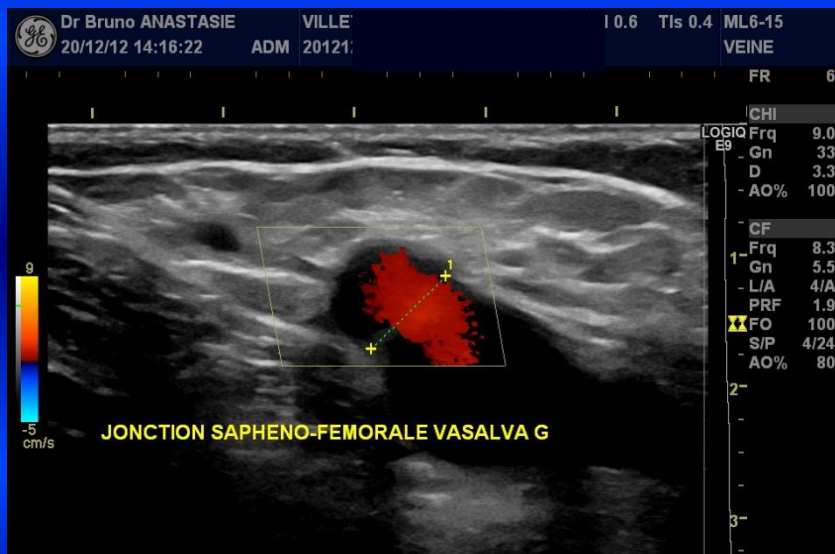


Scléros central

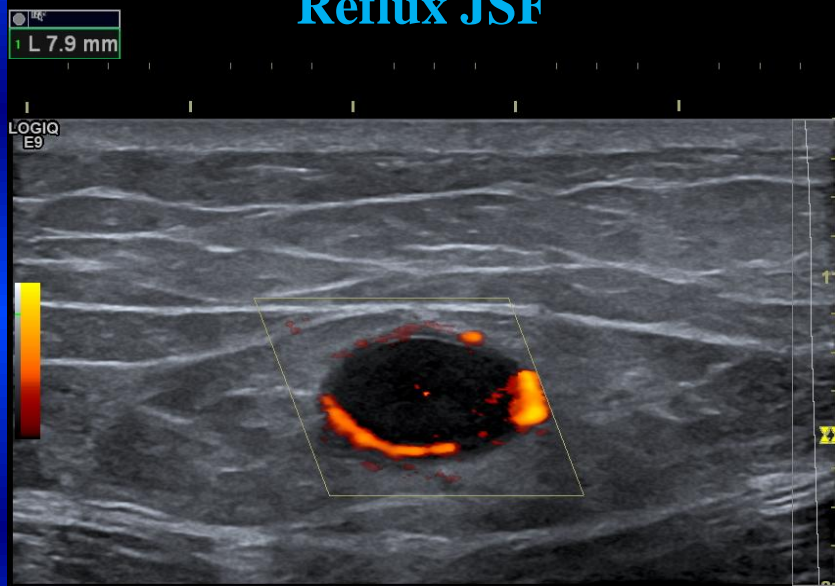


Ectasie focale Hunter ++

# Reperméation : échographie prédictive ?



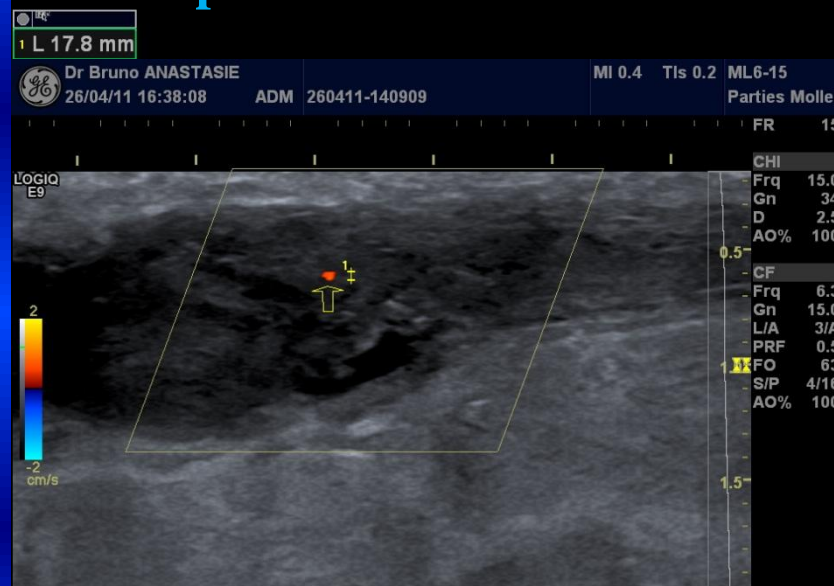
Reflux JSF



FAV périphérique

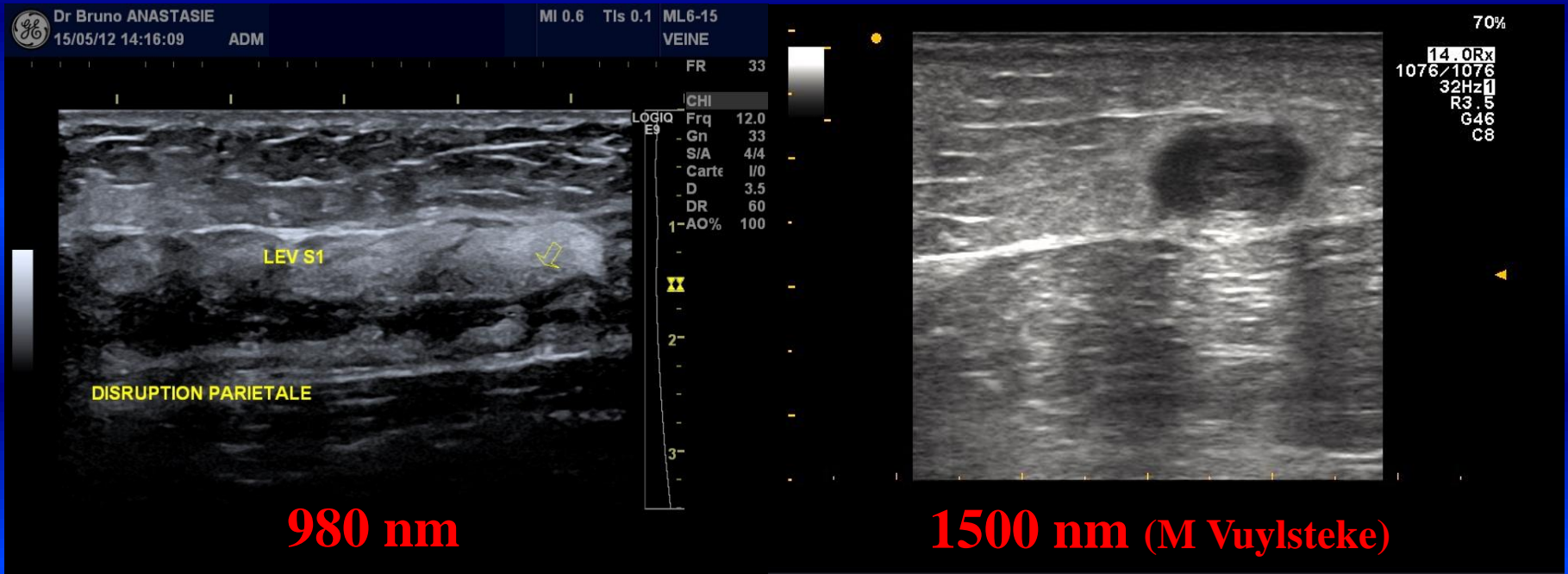


Disruption + halo inflammatoire



FAV centrale

# Longueur d'onde: caractéristique échographique?



# Analyse échographique de l'occlusion 7 segments saphènes (S0-S6) Facteurs prédictifs de reperméation

Pole supérieur : distance de la veine fémorale,  
convexe / concave, thrombus éventuel

Hyperéchogène, isoéchogène, hypoéchogène, anéchogène

Homogène / hétérogène

Diamètre du vaisseau (comparatif sur les mêmes segments)

Différentiation paroi et tissu péri-veineux

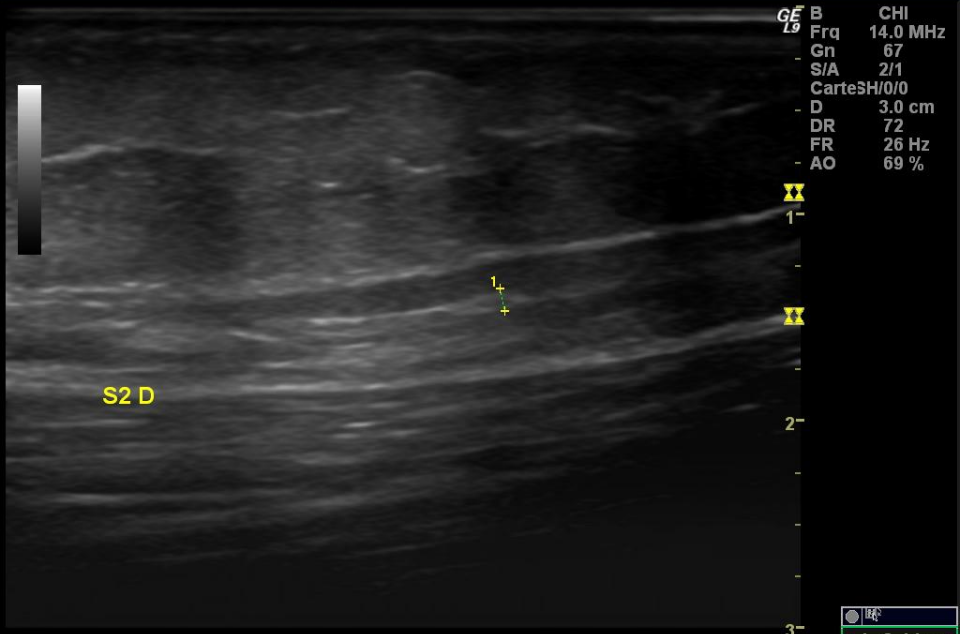
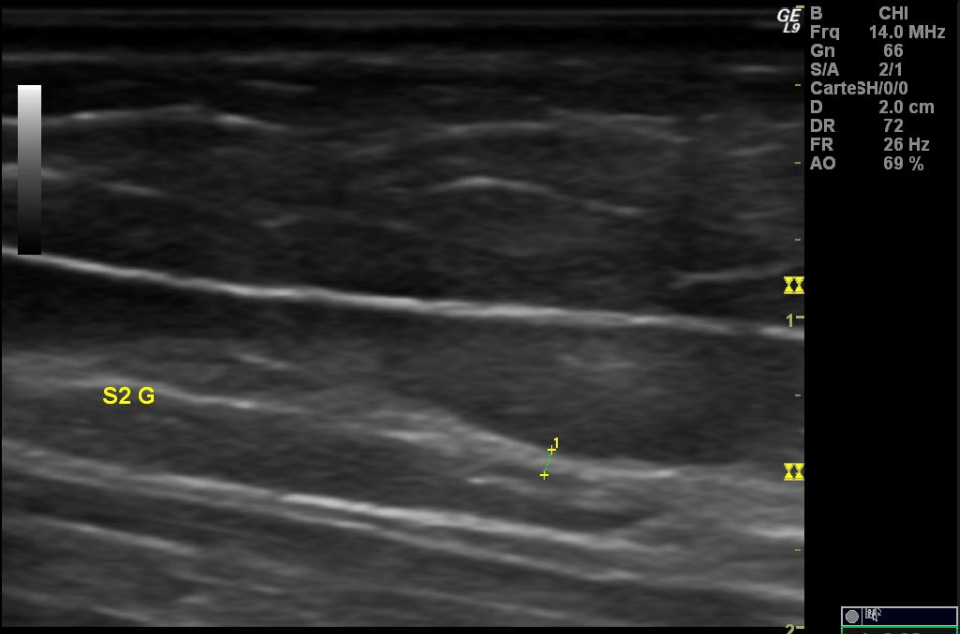
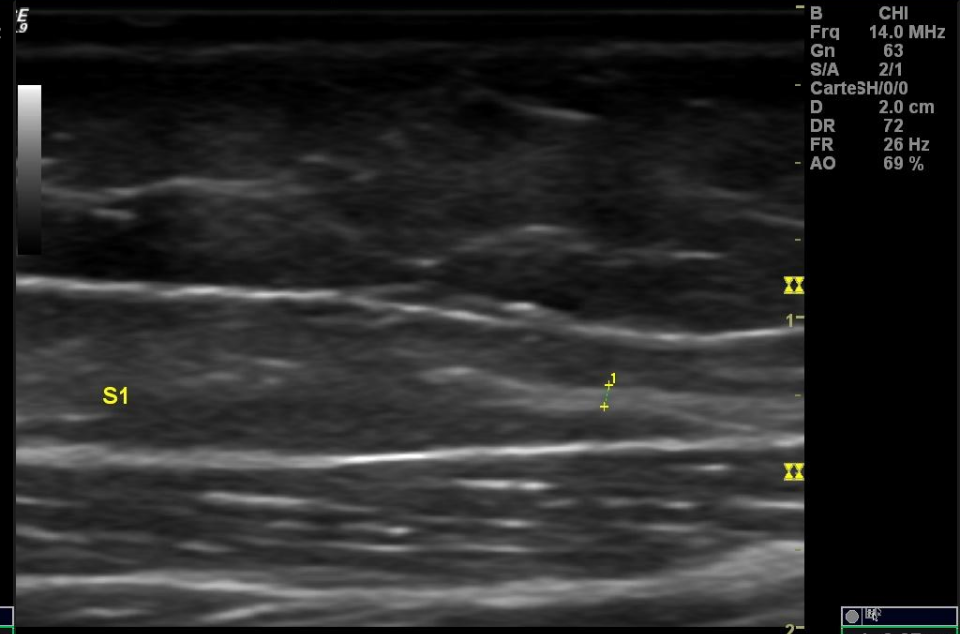
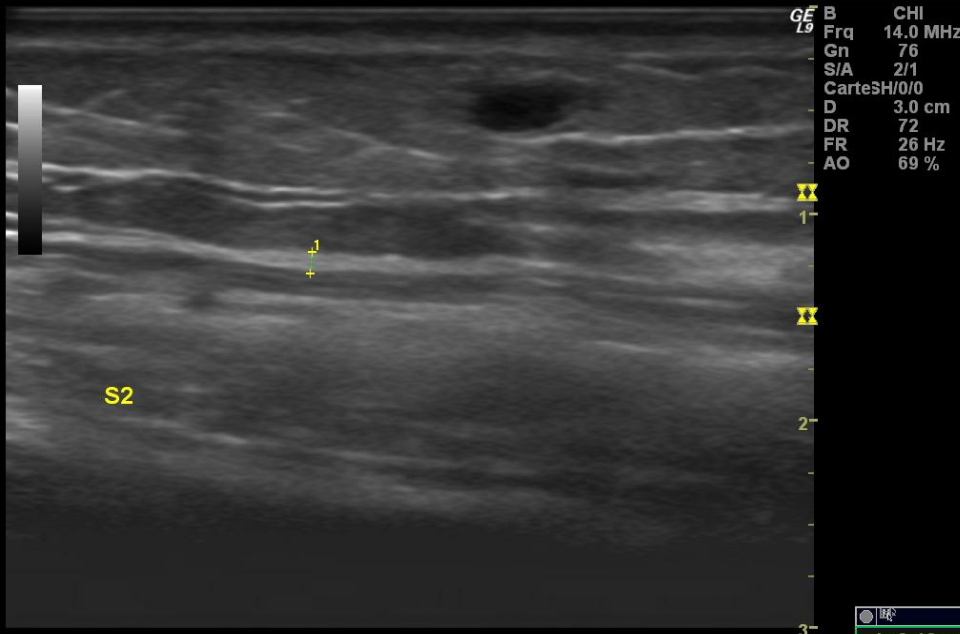
Complication : disruption pariétale, hématome périveineux,  
halo inflammatoire,

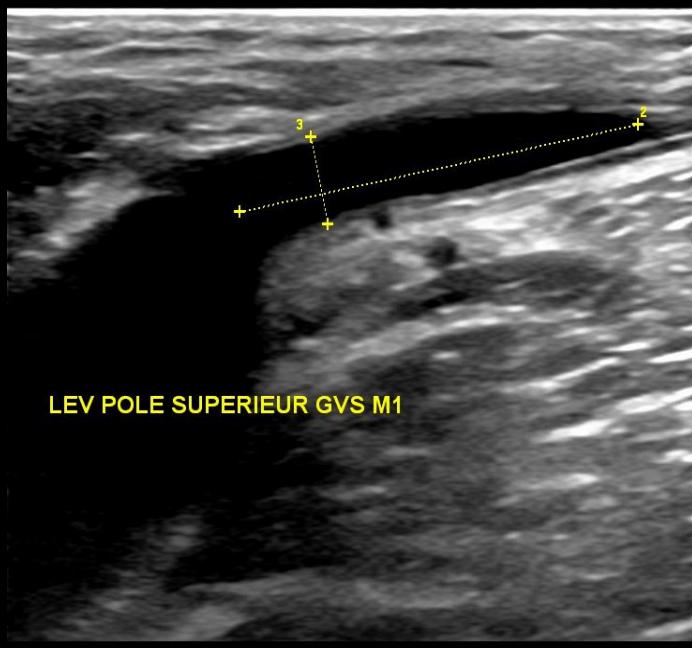
Facteurs de reperméation avant procédure: diamètre, épaisseur pariétale  
reflux JSF

Facteurs de reperméation après procédure: fibrinolyse, thrombus, ectasie,  
disruption pariétale,  
reflux de la JSF, FAV

Zone de transition thermique : siège, nette / floue

Pole inférieur : distance du point de ponction



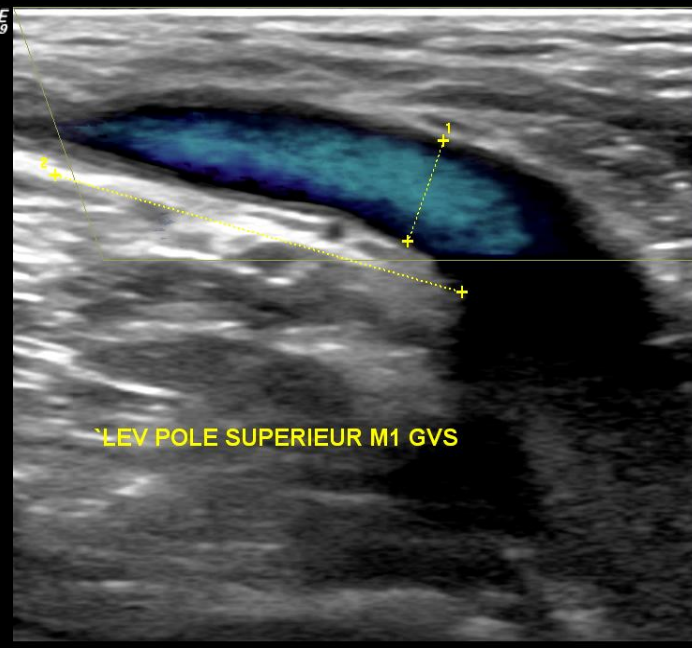


GE 1.5

- B Frq 8.0 MHz
- Gn 36
- S/A 3/4
- Carte I/0/0
- D 4.0 cm
- DR 69
- FR 65 Hz
- AO 100 %

2 L 2.62 cm

3 L 0.56 cm

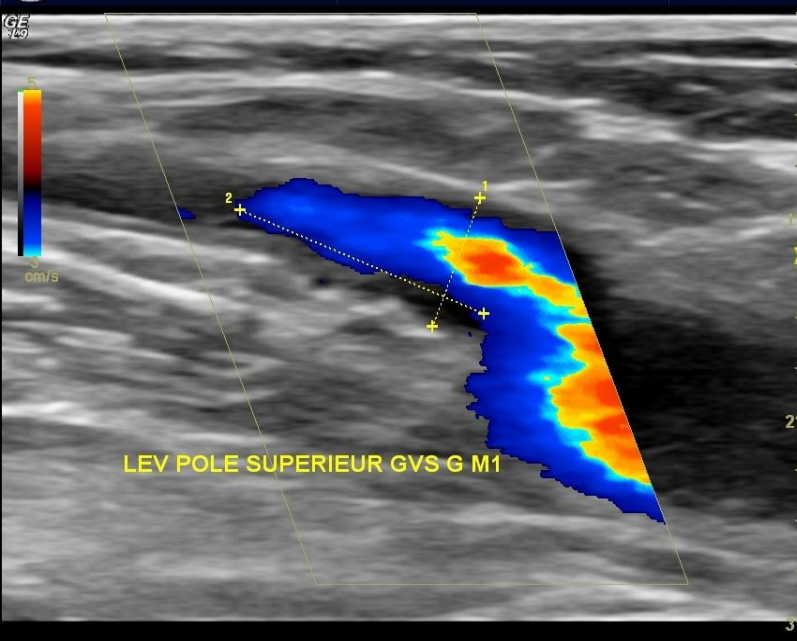


GE 1.5

- B Frq 8.0 MHz
- Gn 36
- S/A 3/4
- Carte I/0/0
- D 4.0 cm
- DR 69
- FR 8 Hz
- AO 100 %

1 L 0.67 cm

2 L 2.72 cm



GE 1.5

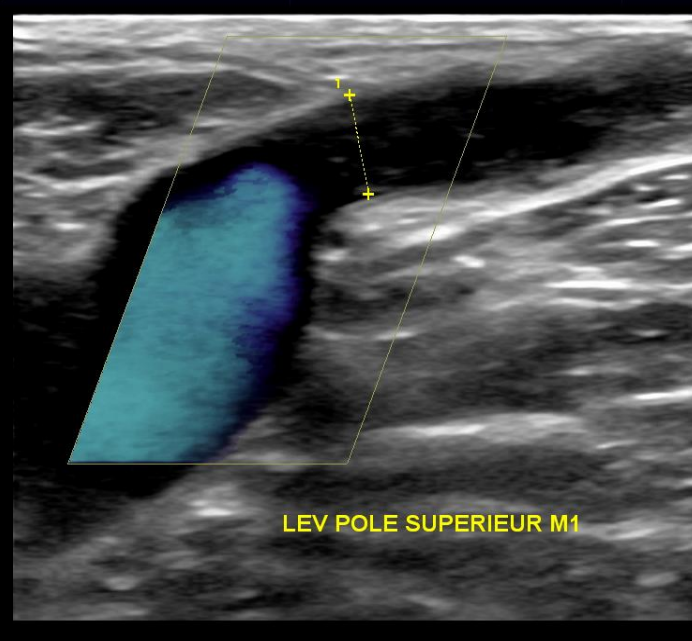
- B Frq 8.0 MHz
- Gn 31
- S/A 3/4
- Carte H/0/0
- D 3.0 cm
- DR 69
- FR 12 Hz
- AO 100 %

CF Frq 5.0 MHz

- Gn 22
- L/A 4/1A
- AO 100 %
- PRF 0.6 kHz
- FO 38 Hz
- S/P 5/14

1 L 0.67 cm

2 L 1.28 cm



GE 1.5

- B Frq 8.0 MHz
- Gn 36
- S/A 3/4
- Carte I/0/0
- D 4.0 cm
- DR 69
- FR 14 Hz
- AO 100 %

CF Frq 5.0 MHz

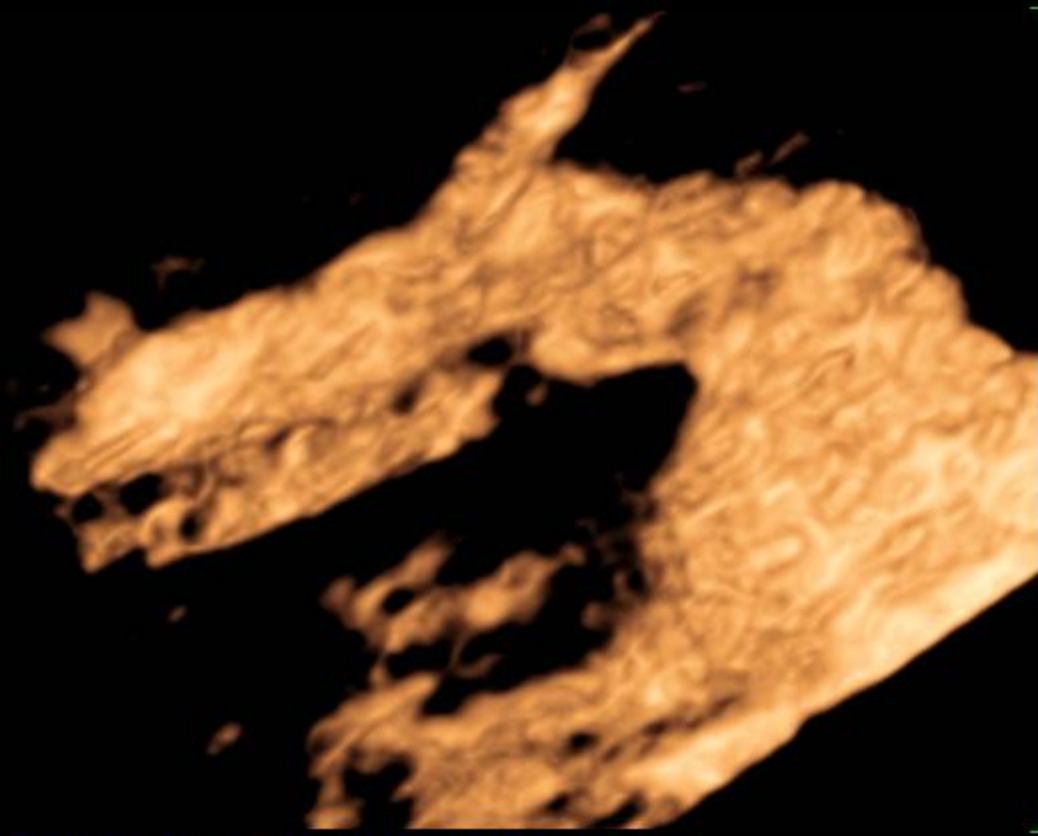
- Gn 44
- L/A 4/9
- AO 100 %
- PRF 1.5 kHz
- FO 93 Hz
- S/P 5/14

1 L 0.66 cm

B  
Frq 10.0 MHz  
Gn 43  
S/A 0/4  
Carte 1/0/0

DR 60

AO 100 %  
Q Hi2\$  
A 19  
VR 0.0 Hz

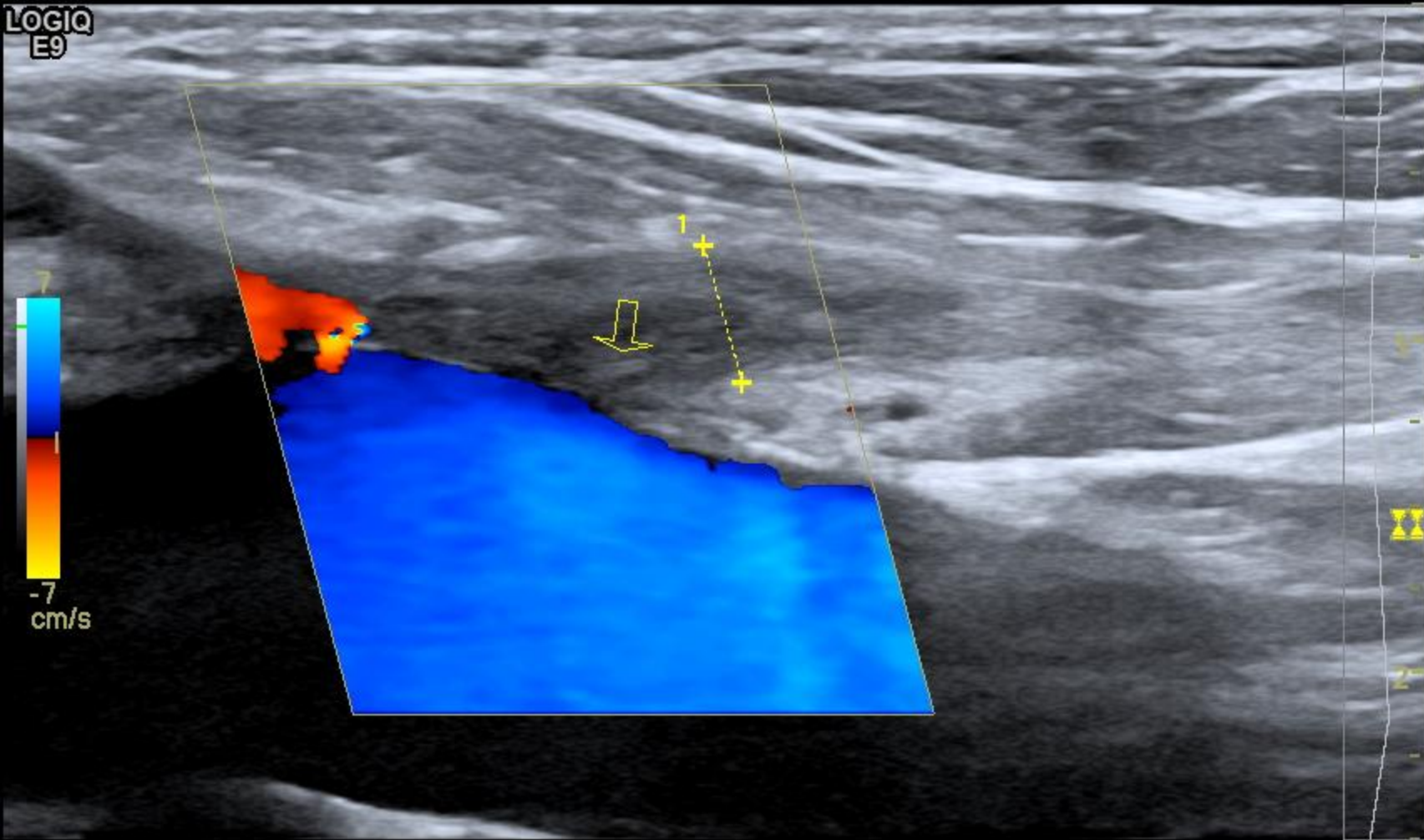


LEV POLE SUPERIEUR GVS G M1





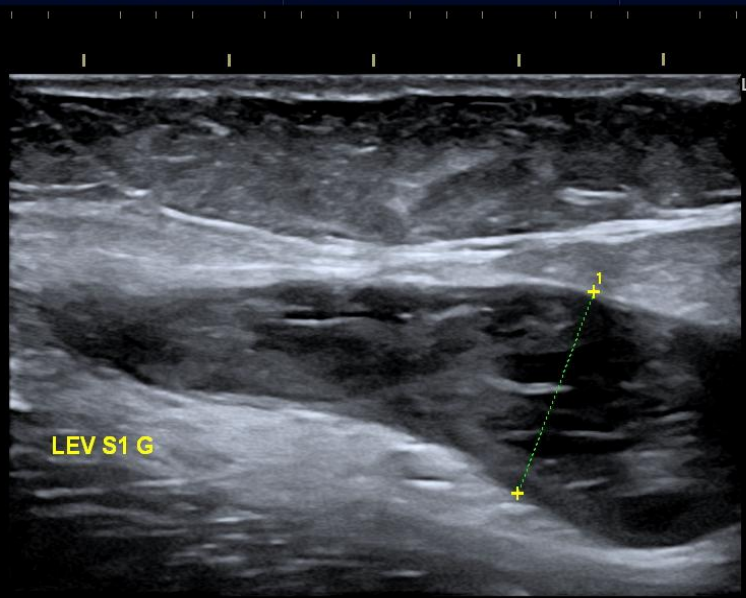
LOGIQ  
E9



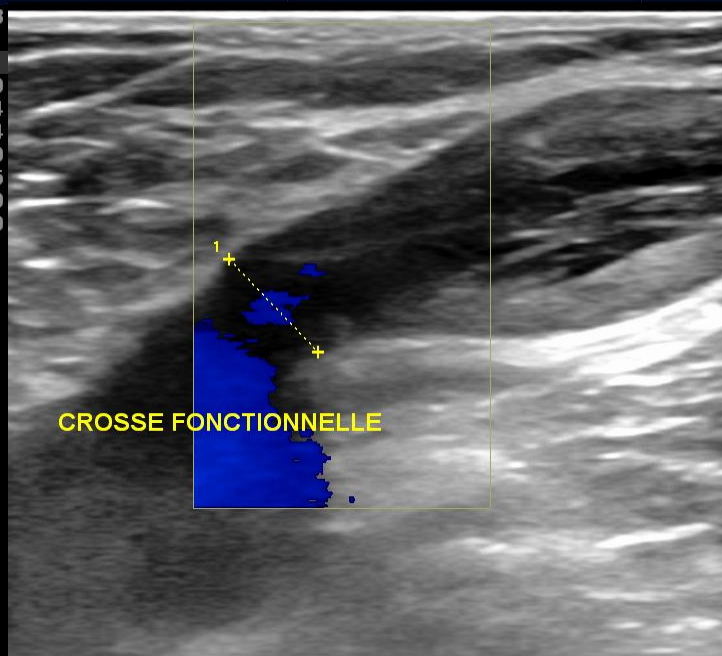
CHI	
Frq	9.0
Gn	40
D	2.5
AO%	100

CF	
Frq	5.0
Gn	5.5
L/A	4/A
PRF	1.0
FO	50
S/P	4/24
AO%	70

● L 4.3 mm



FR 33  
 CHI  
 LOGIQ E9  
 - Frq 12.0  
 - Gn 34  
 - S/A 4/4  
 - Carte I/0  
 - D 3.5  
 - DR 60  
 - AO% 100  
 1-  
 2-  
 3-

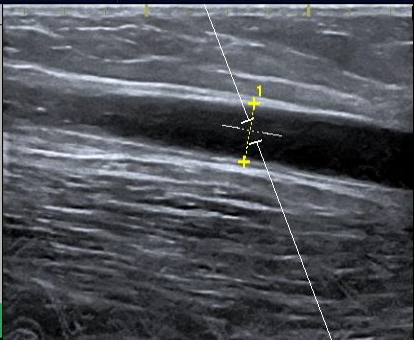


GE L9  
 - B  
 - Frq 8.0 MHz  
 - Gn 36  
 - S/A 3/4  
 - Carte I/0/0  
 - D 4.0 cm  
 - DR 69  
 - FR 12 Hz  
 - AO 100 %  
 - CF  
 - Frq 5.0 MHz  
 - Gn 28  
 - L/A 4/A  
 - AO 100 %  
 - PRF 0.6 kHz  
 - FO 36 Hz  
 - S/P 5/14  
 1-  
 2-  
 3-  
 4-

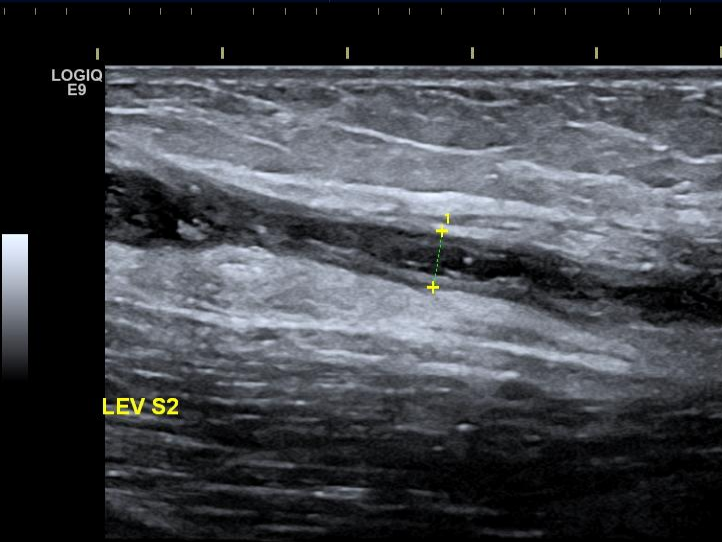
1 L 14.5 mm

1 L 0.79 cm

Syst.  
 Diasto.  
 MD  
 TMMax  
 PI  
 IR  
 TAMEAN  
 Volume Flux  
 FC  
 1 Diam FV 0.76 cm

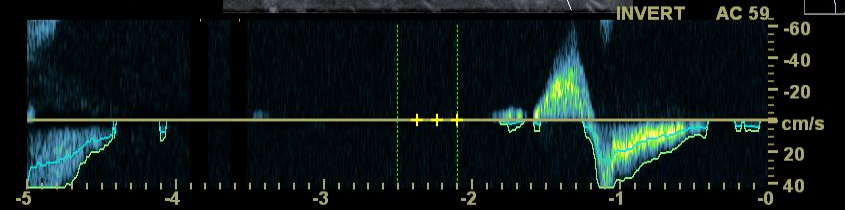


LOGIQ E9  
 - CHI  
 - Frq 9.0  
 - Gn 37  
 - D 5.0  
 - AO% 100  
 2-  
 - DP  
 - Frq 5.0  
 - Gn 44  
 - PRF 3.5  
 - FO 113  
 - Taille 3  
 - SVD 1.6  
 - AO% 100  
 4-

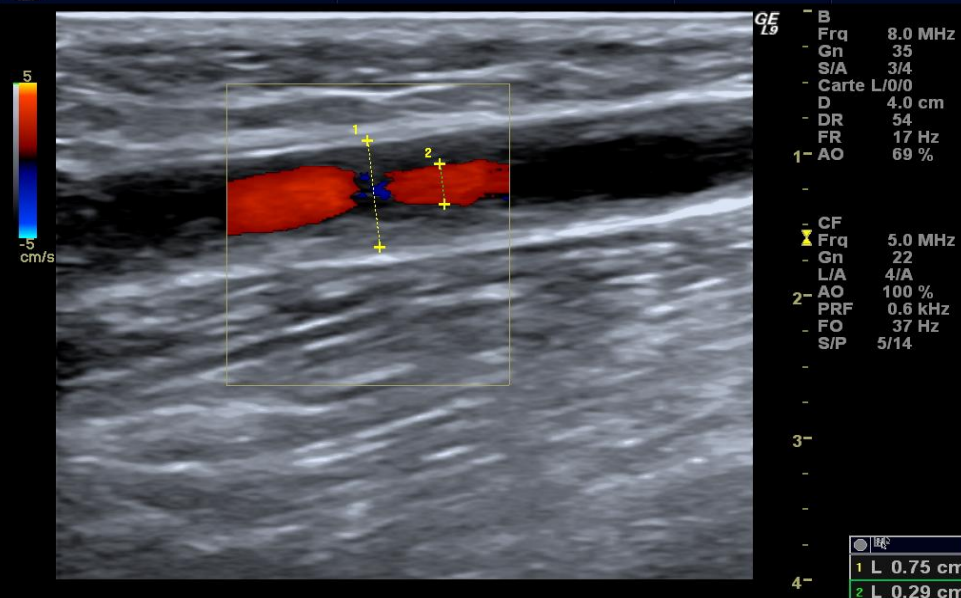
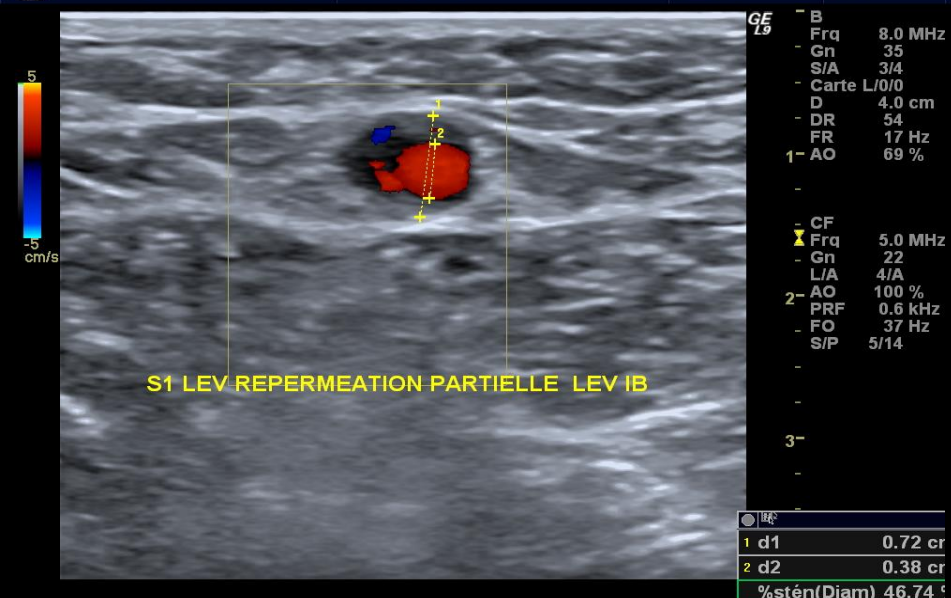
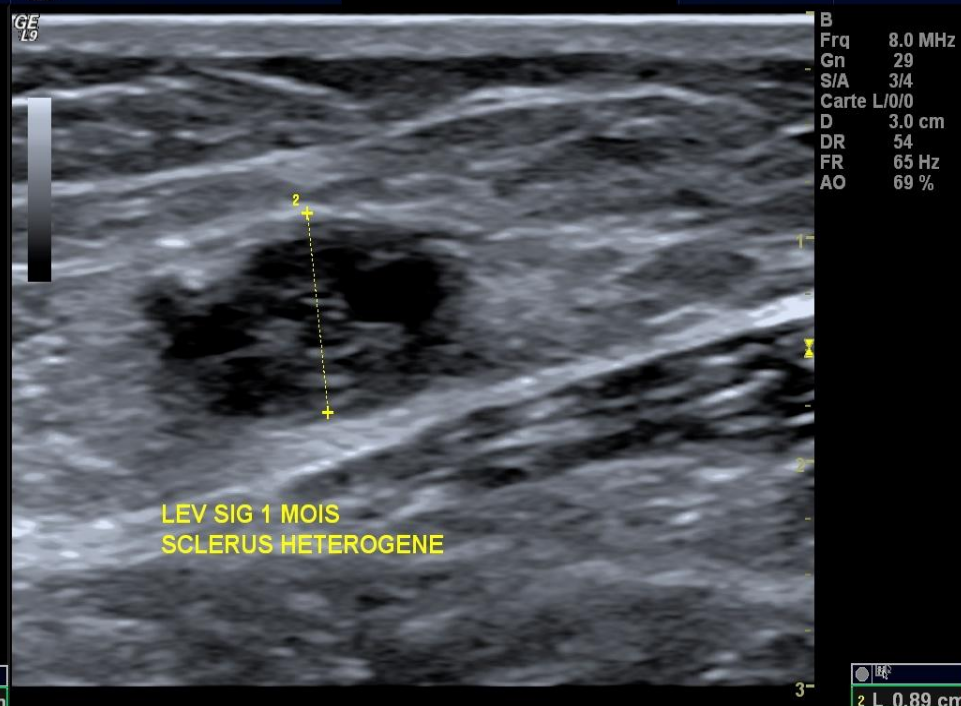
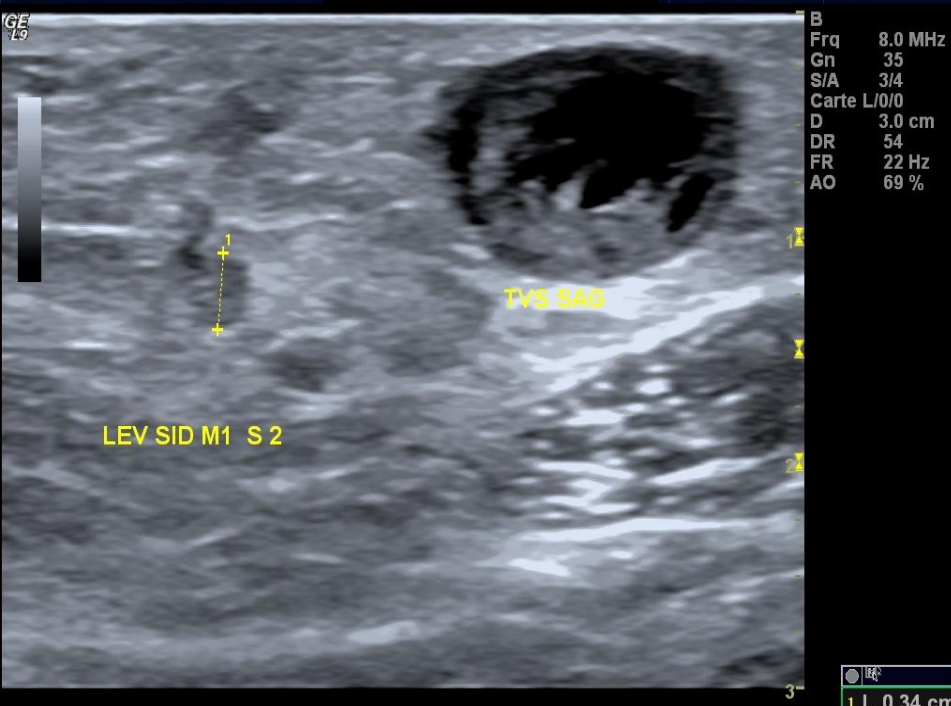


FR 31  
 CHI  
 LOGIQ E9  
 - Frq 12.0  
 - Gn 37  
 - S/A 4/4  
 - Carte I/0  
 - D 4.0  
 - DR 60  
 - AO% 100  
 1-  
 2-  
 3-  
 4-

GRANDE SAPHENE TRONCULAIRE CUISSE S 1 G REFLUX ET DYSTROPHIE



1 L 4.8 mm



# LEV PVS THROMBUS - SCLERUS



Dr Bruno ANASTASIE

16/09/11 17:50:00

ADM

160911-174343

MI 0.6

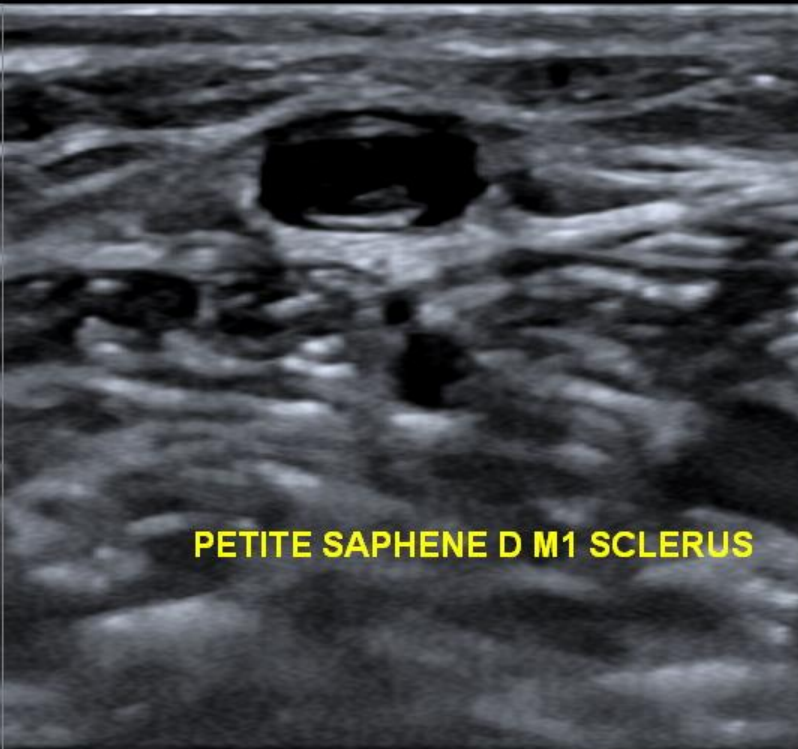
TIs 0.1

ML6-15

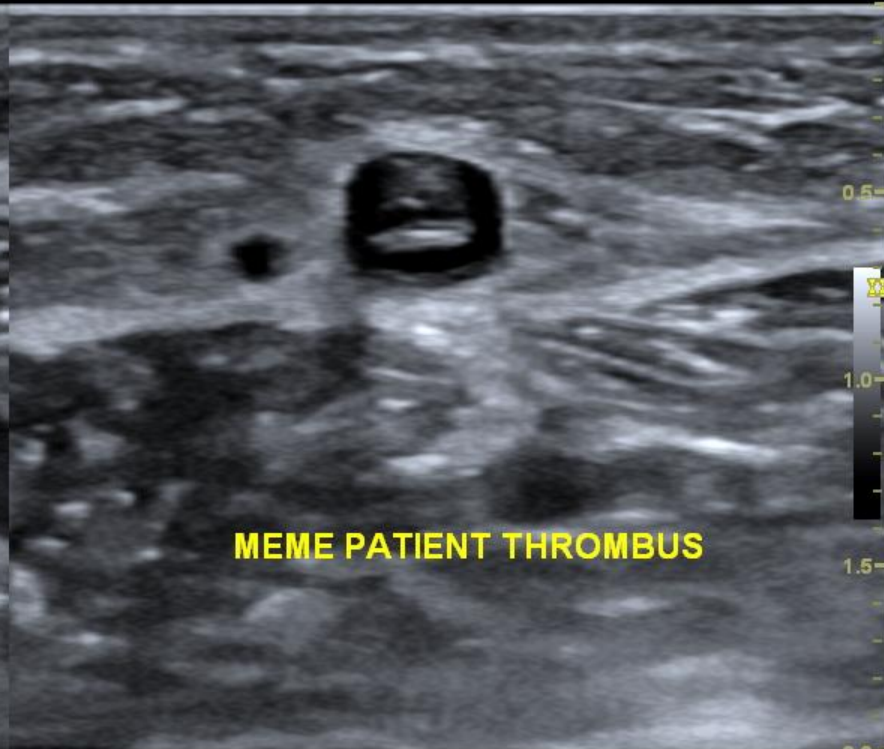
Parties Molles

FR 41

LOGIQ  
E9  
8.5  
4.0  
1.5  
2.0



PETITE SAPHENE D M1 SCLERUS



MEME PATIENT THROMBUS

CHI  
Frq 12.0  
Gn 39  
S/A 4/5  
Carte F/0  
D 2.0  
DR 60  
AO% 100  
0.5  
1.0  
1.5  
2.0

# Histologie - Paramètres Laser

- **Longueur d'onde  $\lambda$**
- **Fluence = Energie / Surface ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )** →  $\emptyset$  Fibre
- **Temps d'émission (s)** → Puissance crête (W) → Irradiance
- **LEED ( $\text{J}/\text{cm}$ )**
- **Temps de pause (s) < TrT** → **Augmentation de température**
- **Modalités de retrait** : continu, discontinu
- **Vitesse de retrait de fibre ( $\text{mm}/\text{s}$ )**
- **Direction du faisceau laser** : luminale, pariétale
- **Distribution spatiale de la lumière** : fibre nue ou radiaire
- **Contenu veineux** : sang « diffuseur thermique » (polyglobulie, inflammation, fibrynolyse) ,  $\lambda$  (810 nm ++)  
≠ RF (vider la veine)
- **Contenant veineux** : épaisseur pariétale, structure histologique (richesse en collagène), diamètre

# Conclusion

## *Sang, Paroi, Photochimie ?*



# Conclusion

## Sang, Paroi, Photochimie ?

