

# **Le FOP en 2017**

**25.11.2017**

**Benoit Desgraz et Vincent Gabus  
Consultation de médecine subaquatique et hyperbare  
Service de Cardiologie  
CHUV**



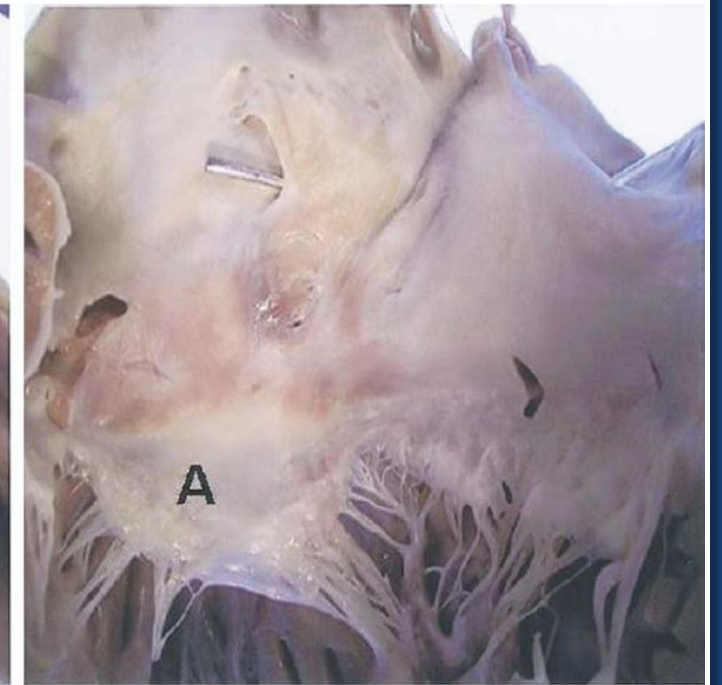
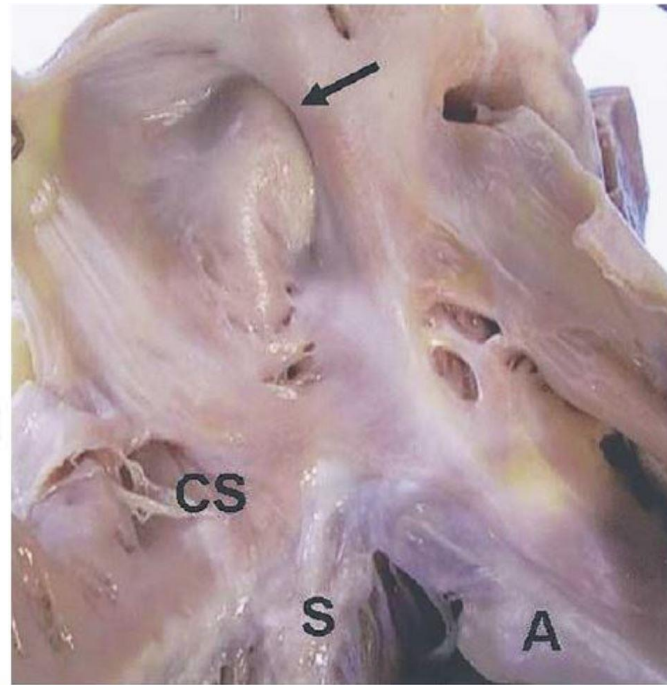
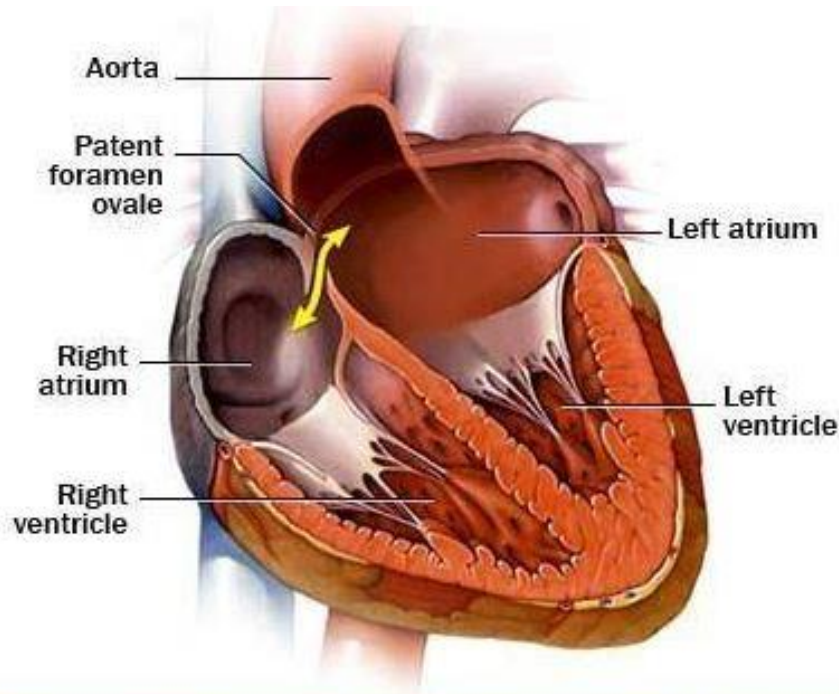


# Plan de la présentation

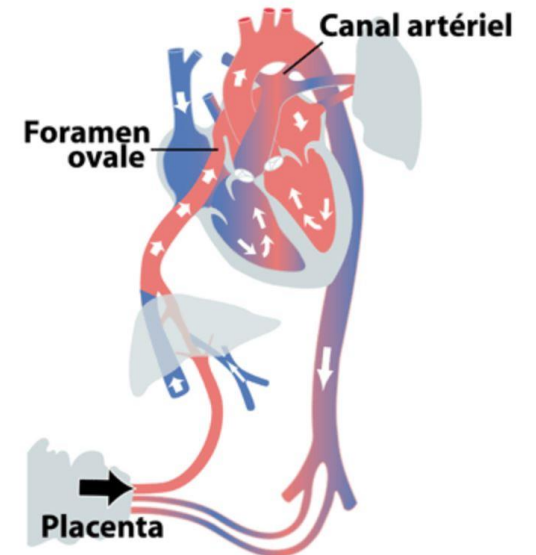
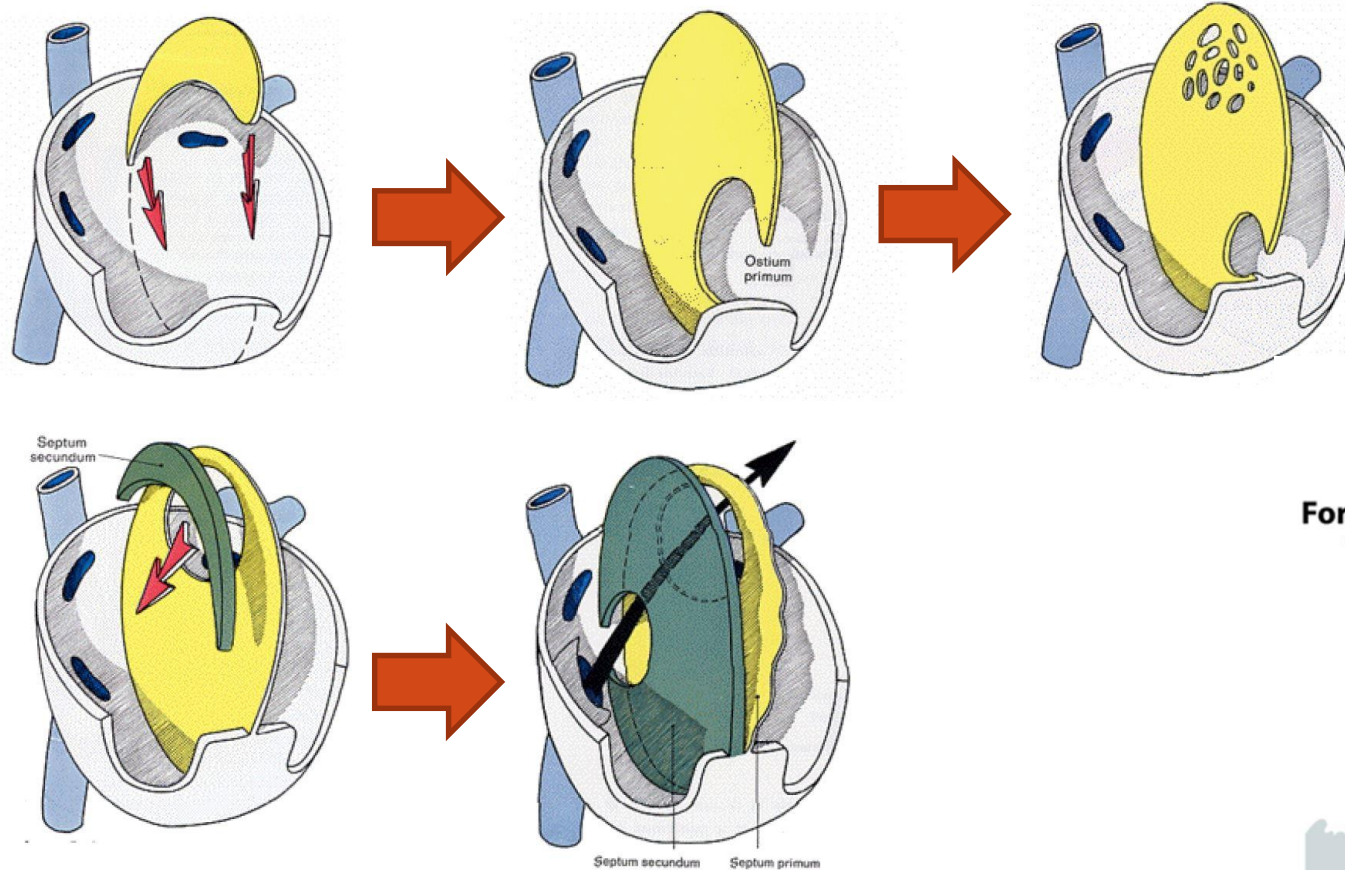
- Définition
- Embryologie cardiaque
- FOP et ADD
  - Physiopathologie
  - Quel est le risque pour le plongeur ?
- Méthode diagnostique
- Prise en charge et algorithme décisionnel
- Questions

# Foramen **O**vale **P**erméable

- *foramen, foraminis* (lat) signifie ouverture, espace vide (trou)
- Ouverture présente dans la cloison inter auriculaire
- Diamètre de 1 à 6 mm



# Embryologie du coeur

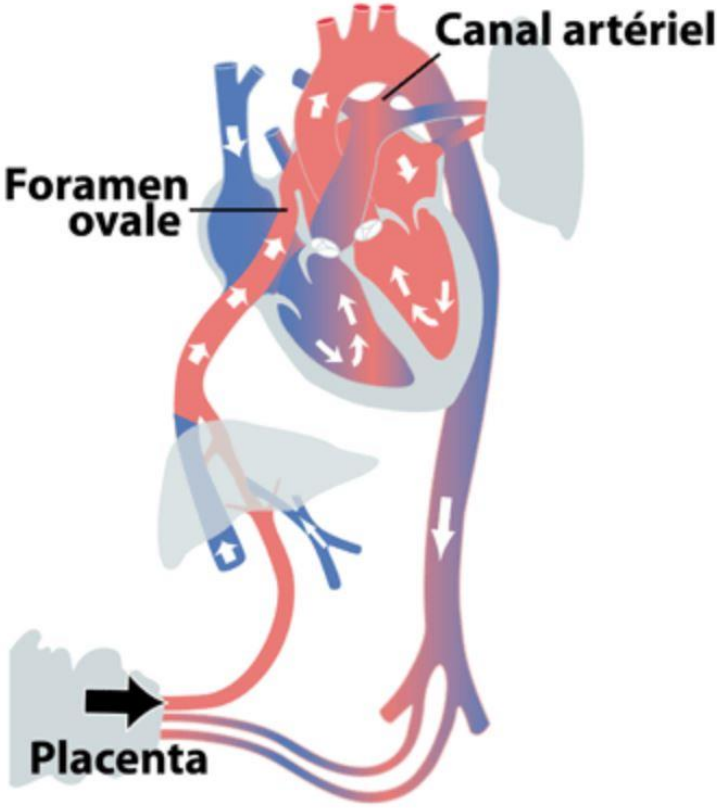


Testut L, Latarjet A. *Traité d'anatomie humaine*. 1948

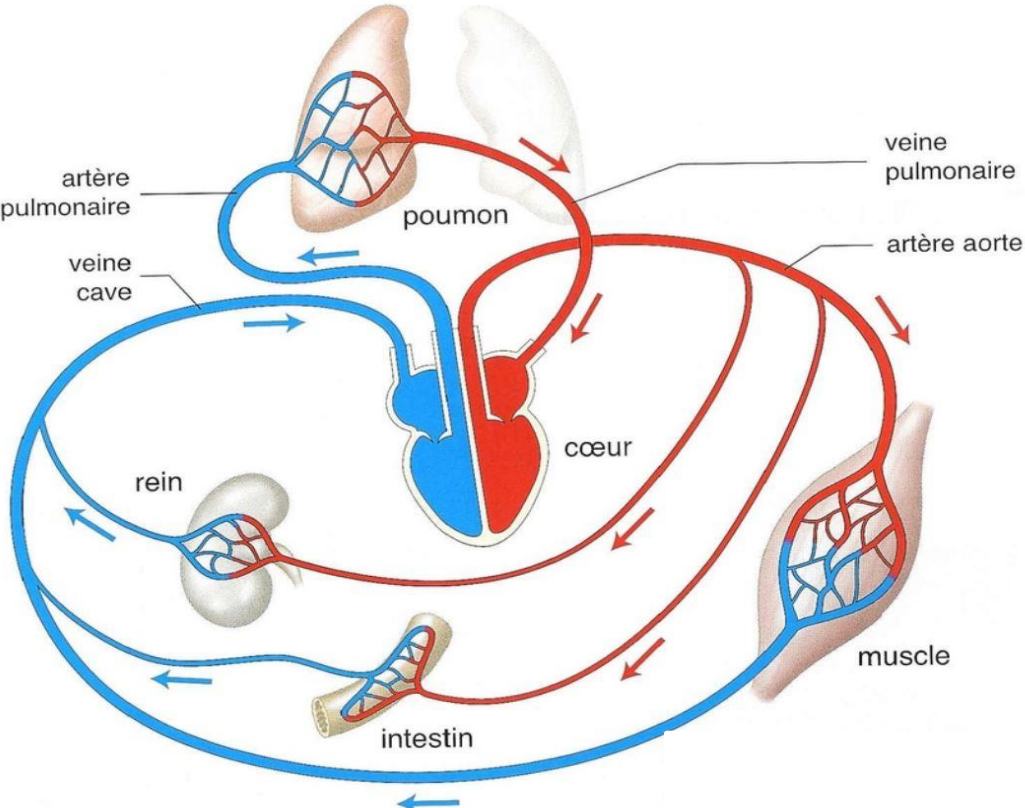


# Circulation sanguine

## Foetale



## Après la naissance



# Physiopathologie FOP ↔ ADD

- Lors de la décompression, > 90% des plongeurs présentent des bulles dans le système veineux

(Dunford, Incidence of venous gas emboli in diving, 2002)

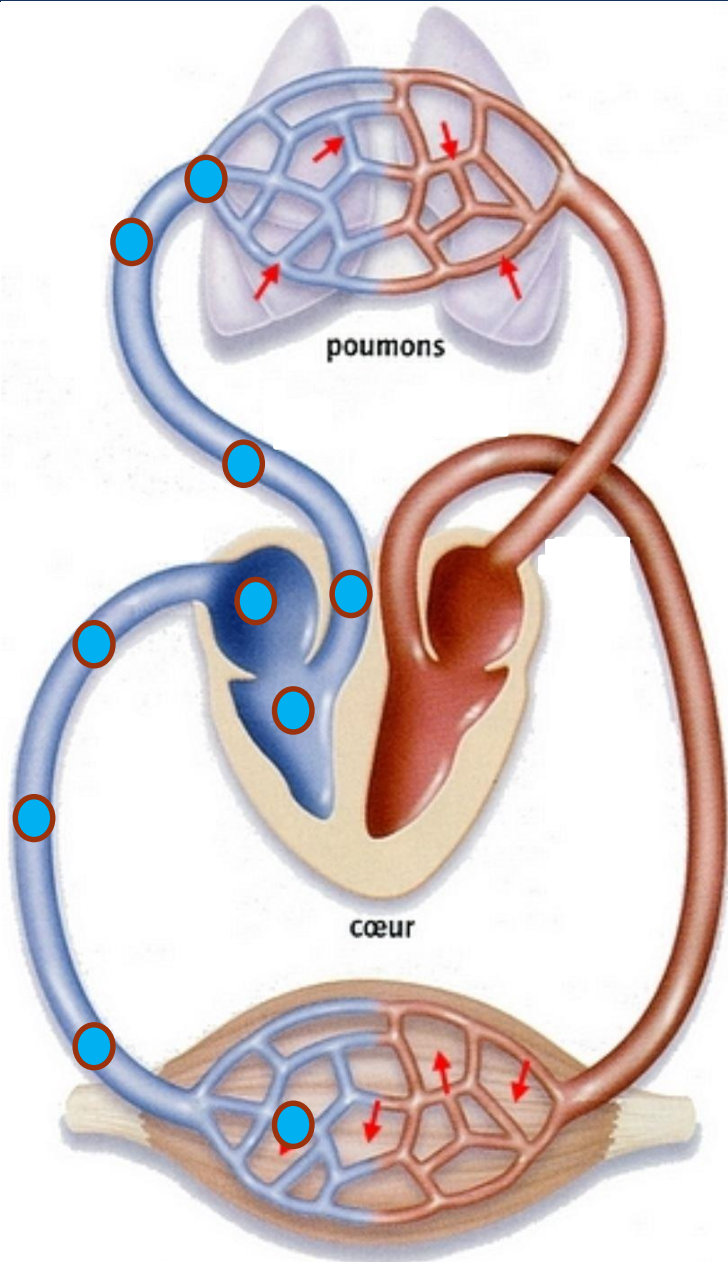
- ADD associés à la présence d'un FOP:

- Cérébral
- Cérébelleux
- Médullaire haut
- Vestibulocochléaire
- Cutis marmorata

Table 2. All shunts visualized by transcranial Doppler ultrasonography

	Yes	No	<i>p</i>	Odds Ratio for DCI With vs. Without Shunt (95% Confidence Interval)
Control group, n = 101	25 (24.8)	76 (75.2)		
DCI group, n = 101	59 (58.4)	42 (41.6)	.09	4.3 (2.3 < OR < 7.8)
Cochleovestibular DCI, n = 34	28 (82.4)	6 (17.6)	<.001	14.2 (5.3 < OR < 38.2)
Cerebral DCI, n = 21	17 (81)	4 (19.0)	<.001	12.9 (4.0 < OR < 42.0)
Spinal DCI, n = 31	12 (38.7)	19 (61.3)	.13	1.9 (0.8 < OR < 4.5)
Osteomyoarticular DCI, n = 15	2 (13.3)	13 (86.7)	.3	0.5 (0.1 < OR < 2.2)

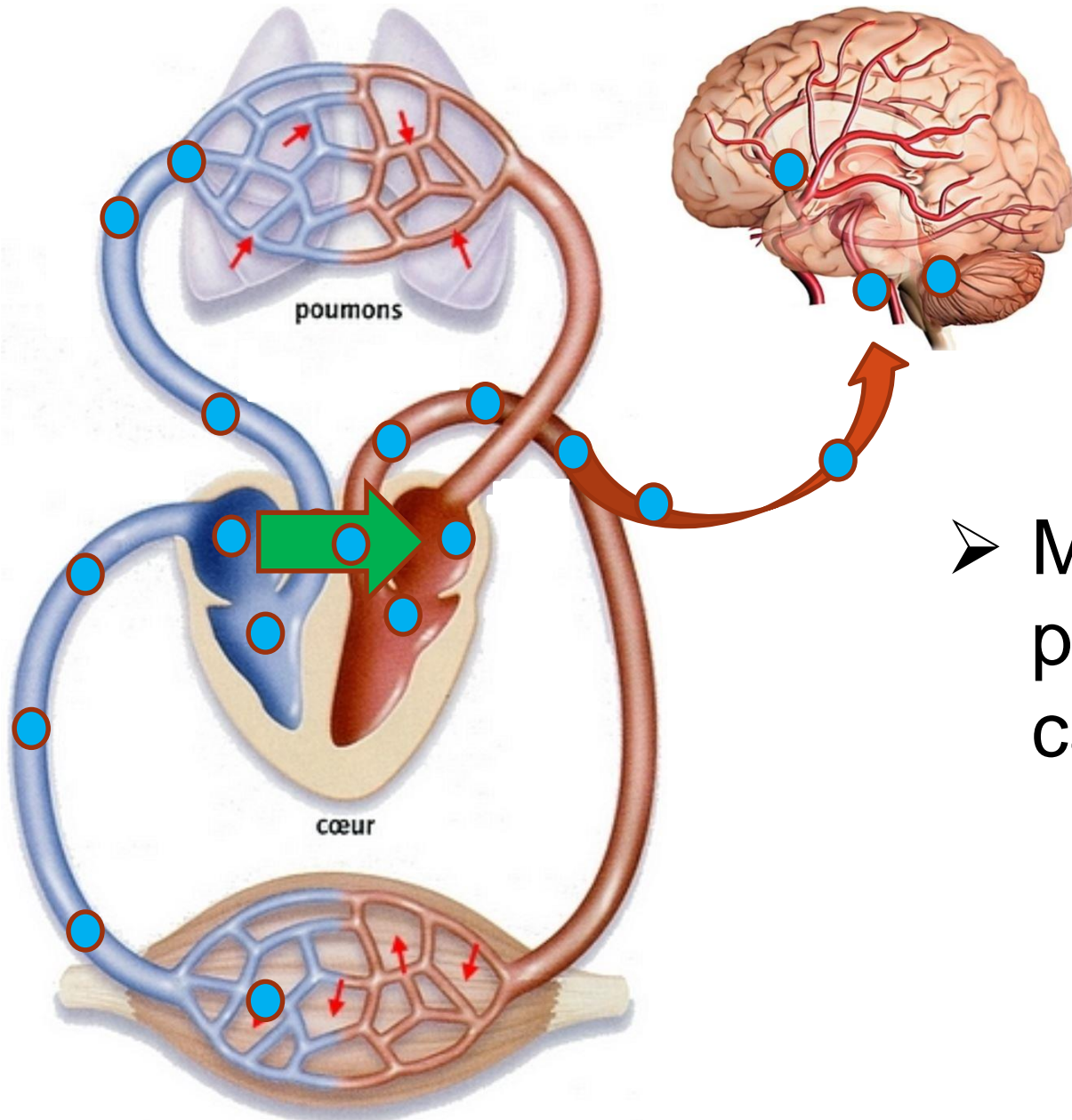
DCI, decompression illness; OR, odds ratio.



Le poumon joue le rôle de filtre

MAIS

En cas de shunt D→G ...



- Migration des bulles préférentiellement dans les carotides ou aa.vertébrales



# Cutis marmorata

- Cas particulier
- Atteinte centrale et non cutanée !
- Trouble de la vasomotricité cutanée



# Relation FOP ↔ ADD ?

- Prévalence dans la population générale estimée à 25%
- FOP plus fréquemment retrouvé chez les plongeurs ayant eu un ADD
- Plus d'ADD cérébral, cérébelleux et vestibulochochléaire chez les plongeur avec un FOP (surtout si FOP de grande taille\*)
- CAVE: Méthodologie variable et population parfois inhomogène

\* Définition varie selon les études



# Prévalence du FOP chez les plongeurs ayant eu un ADD

Etudes «cas-témoins»	Cas	Témoins	% des patients avec un FOP		OR
			(Cas)	(Témoins)	
Moon, 1989	30	178	37	11	4,8
Wilmshurst, 1989	61	63	41	24	2,2
Germonpré, 1998	37	36	59	36	2,6
Wilmshurst, 2001	61	123	77	28	8,8
Cantais, 2003	101	101	58	25	4,2

# Risque FOP ↔ ADD ?

- Risque ADD chez les plongeurs

Table 1: Frequency of DCS in Sport, Military, and Commercial Air Diving Populations

Source Reference	Military (13)	Sport (11,12)	Commercial (14)	All
Total dives <sup>a</sup>	648,488	2,577,680	43,063	3.269,231
Total DCS <sup>a</sup>	172	878	152	1,202
Type II DCS <sup>a</sup>	86	649	9	744
Incidents DCS <sup>b</sup>	2.65	3.41	35.3	3.68
Incidents DCS II	1.33	2.52	2.09	2.28

<sup>a</sup>Values are number of events; <sup>b</sup>incidents per 10,000 dives, DCS II - DCS type II.

NB: Basé sur les cas déclarés dans les registres (DAN 1996, US Navy 1990-1995,...)



## Absence de FOP:

- ADD (tout type): 2,8/10'000 plongées
- ADD (type II): 1,9/10'000 plongées

## Présence de FOP:

- ADD (tout type): 5,3/10'000 plongées
- ADD (type II): 4,7/10'000 plongées

**PAS DE RELATION ENTRE FOP ET ADD TYPE I**

Table 4: Calculated Probabilities of DCS With PFO Using Bayes' Theorem<sup>a</sup>

	All DCS	Type II DCS
$P$ (DCS+/PFO+)	0.00053	0.00047
$P$ (DCS+/PFO-)	0.00028	0.00019
Odds ratio	1.93	2.52
$P$ value	< 0.001	< 0.001

<sup>a</sup>Odds ratio and  $P$  values are derived from logistic regression calculations.

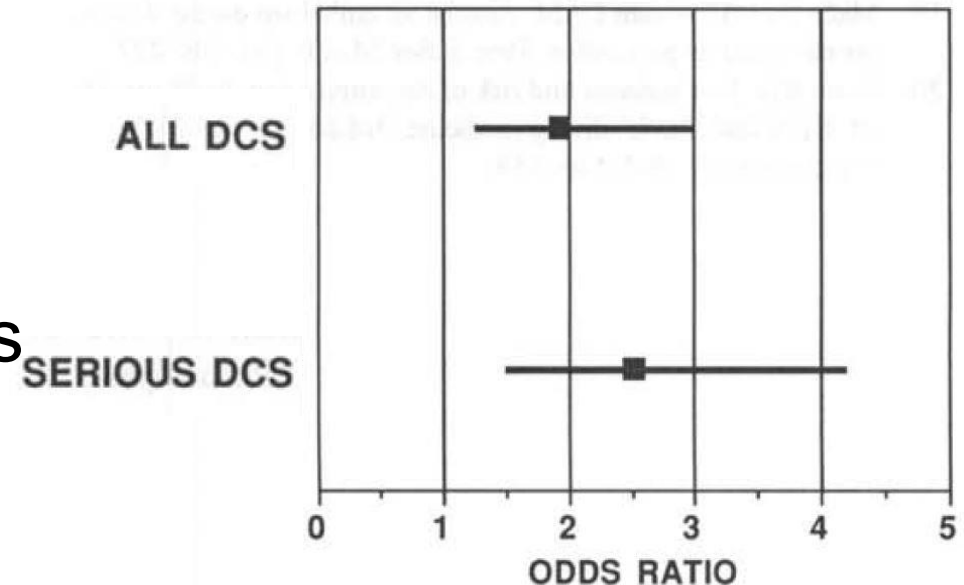


FIG. 1—Plot of odds ratios and 95% confidence intervals for risk of DCS comparing presence of PFO to absence of PFO. Ratio for all forms of DCS and for type II DCS are both significantly greater than one at  $P < 0.001$ .

# Sévérité du FOP

- FOP degré I: Rares bulles
- FOP degré II: entre I et III
- FOP degré III: Nuage de bulles

NB: Etude avec échocardiographie transoesophagienne

## Classification « cardiologique »

- FOP léger: < 10 bulles
- FOP modéré: 10-30 bulles
- FOP important: >30 bulles

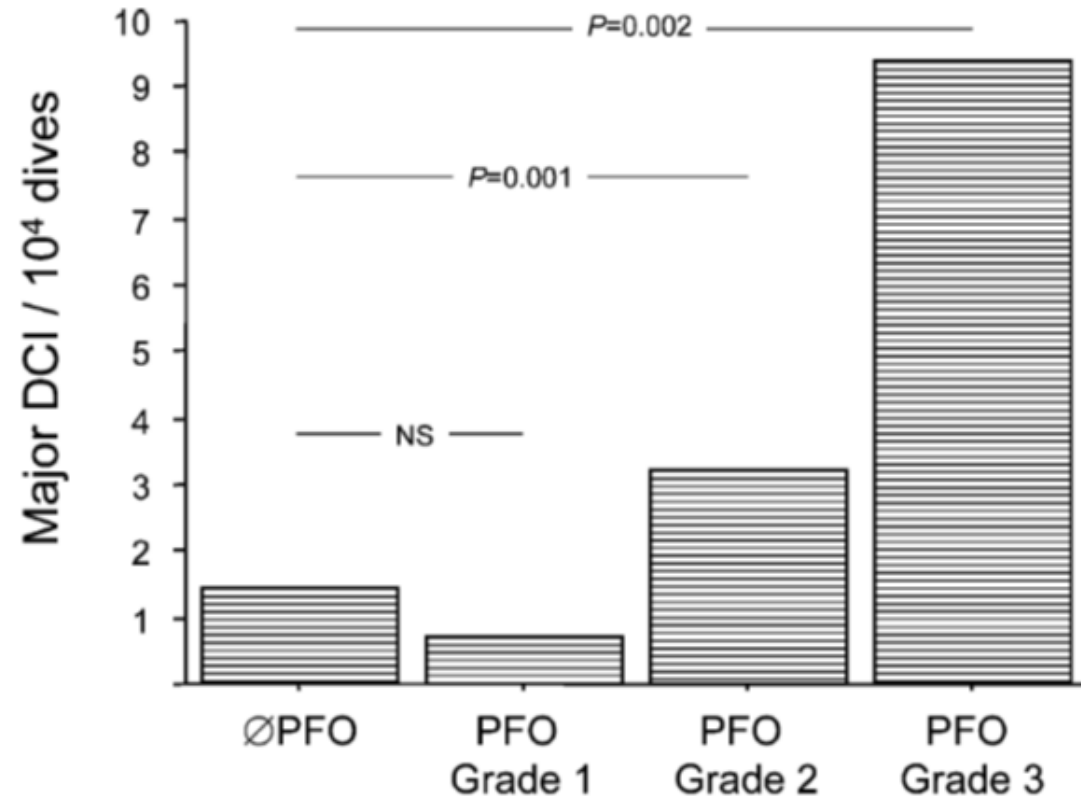


Fig. 3 Mean number of DCI events per 10<sup>4</sup> dives (vertical axis) in relation to different sizes of patent foramen ovale (no PFO: ØPFO = PFO grade 0).







PMU Lausanne

M5S

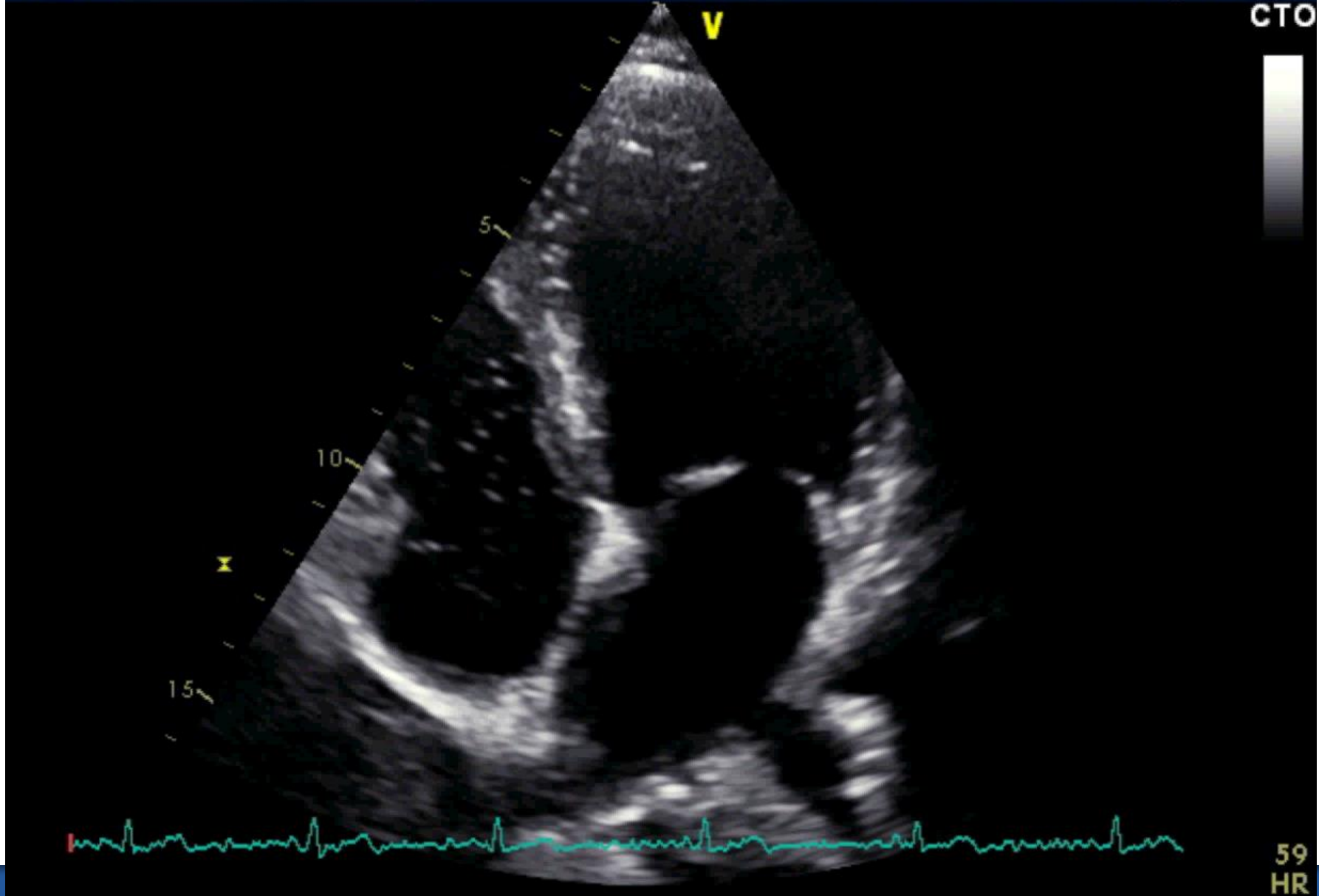
MI 0.9

30/10/2017 14:22:51

USR

Cardiac3\_4M $\mu$ S:0.5

CTO



59  
HR





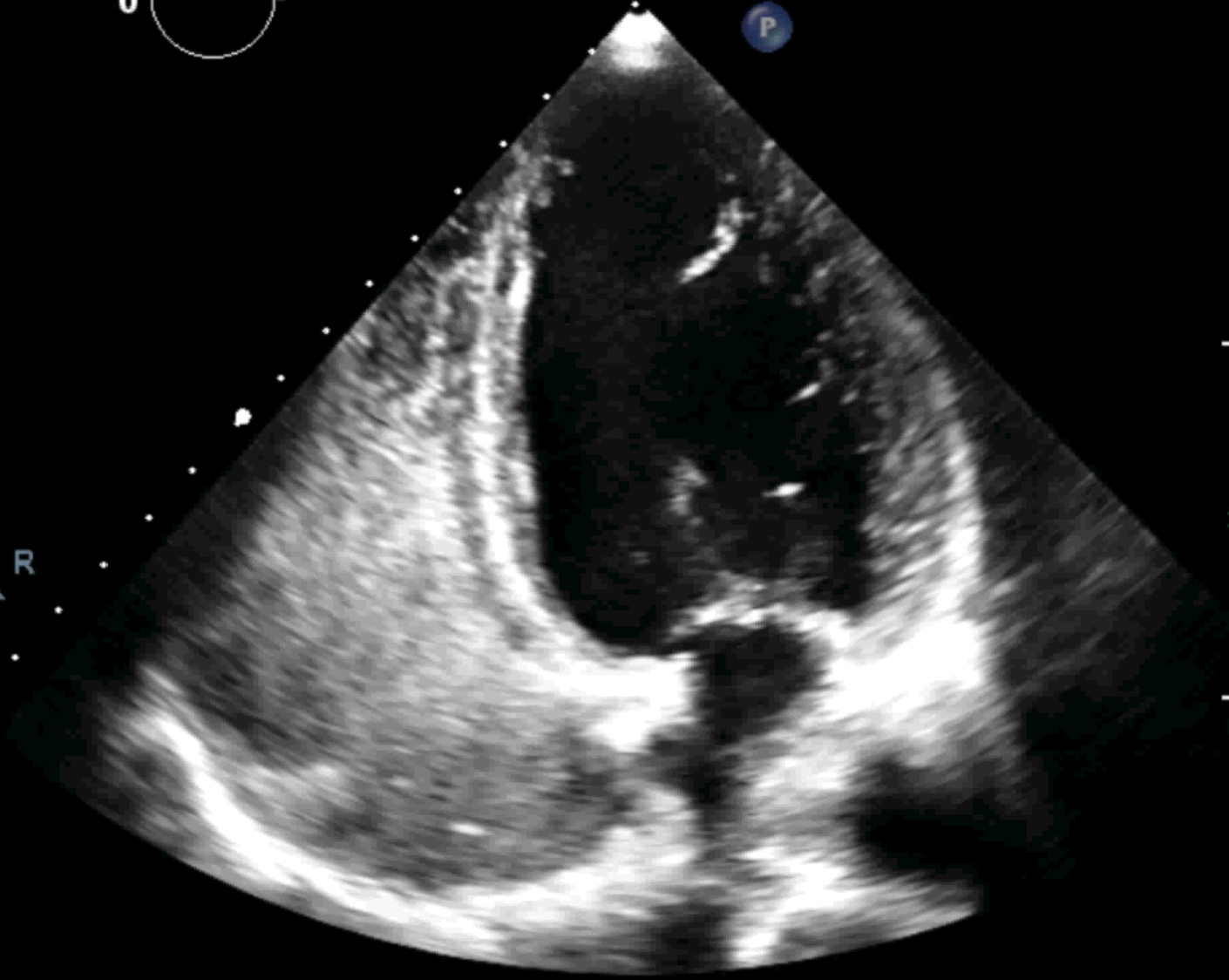
eSCAR  
X5-1  
50Hz  
15cm



TISO.4 MI 1.3

— 0M3

2D  
81%  
C 50  
P Bas  
HGén





eSCAR  
X5-1  
50Hz  
15cm

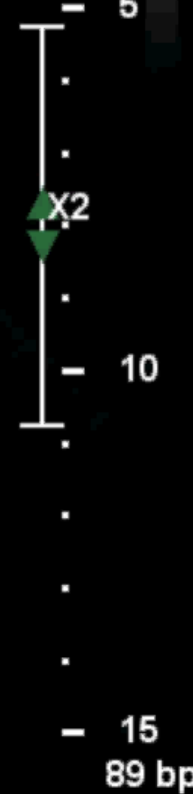


TISO.4 MI 1.3

— 0M3

2D  
81%  
C 50  
P Bas  
HGén

**VALSALVA**

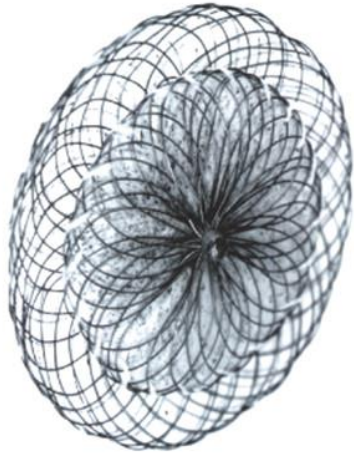


15  
89 bpm

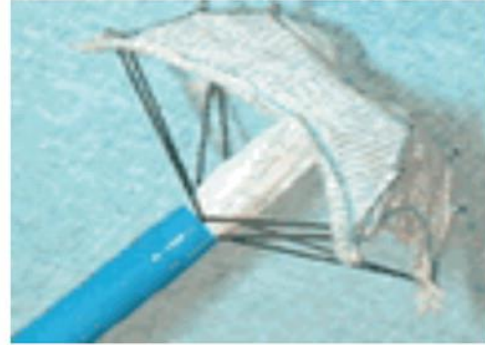




[https://www.youtube.com/watch?v=ZOtk\\_FSfHpw](https://www.youtube.com/watch?v=ZOtk_FSfHpw)



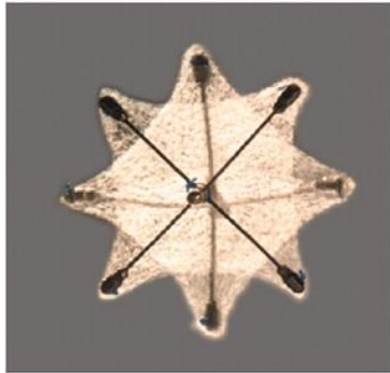
**Amplatzer PFO Occluder**



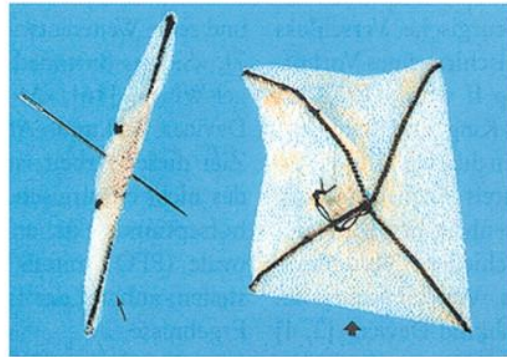
**STARFlex**



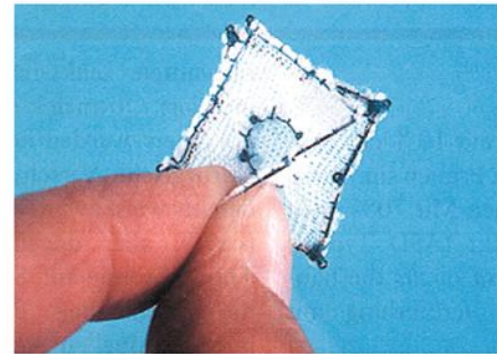
**Hexex Septal Occluder**



**PFO Star**



**Buttomed Device**



**Angel-Wings**

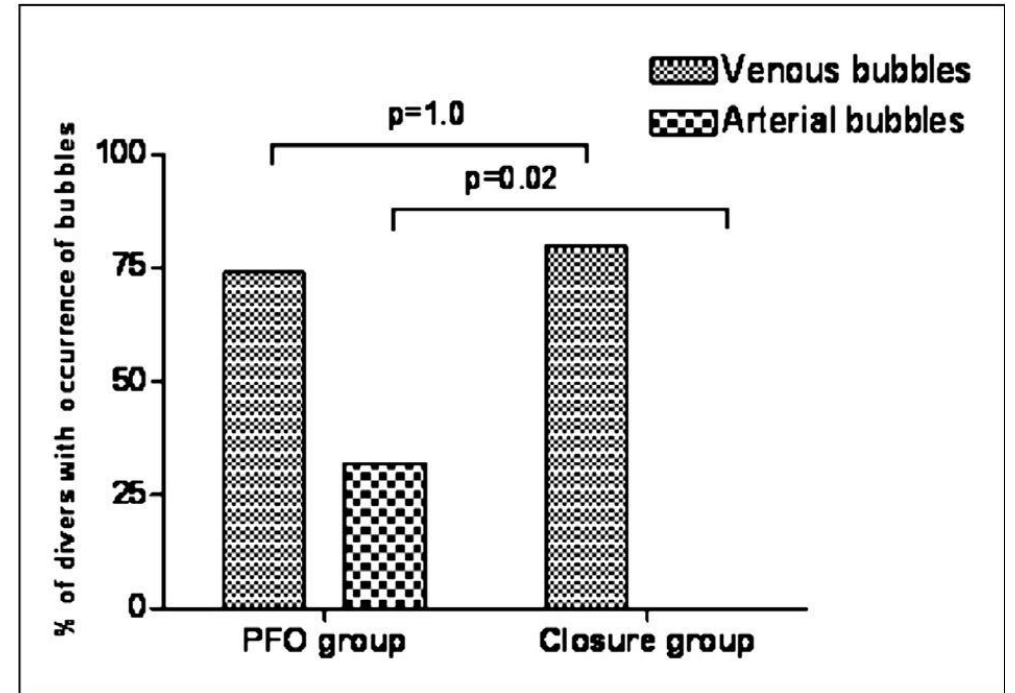


# Complications de la fermeture de FOP

- **Complications majeures (1.6%)**
  - Epanchement péricardique
  - Embolisation/malpositionnement du système
  - Bloc de conduction nécessitant un pace-maker
  - Endocardite
  - Thrombus sur le système
  - AIT/AVC

# ADD et FOP

- 47 plongeurs avec FOP ou post-fermeture
- Plongées simulées en caisson ! (air, 18m, 80minutes)
- Mesure des bulles circulantes durant la 1ere heure après la plongée



**Figure 1. Occurrence of Bubbles After Dive A**

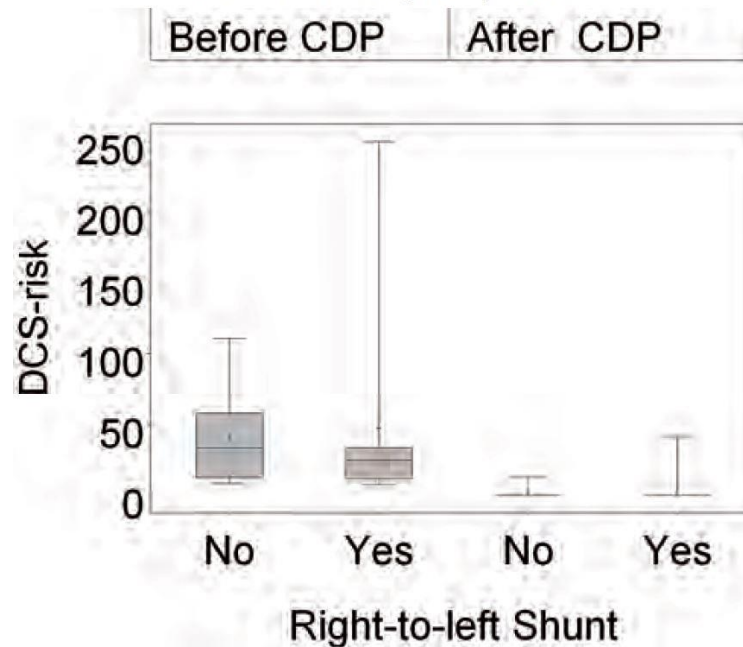
The proportion of divers with the occurrence of venous and arterial bubbles after dive A in divers with patent foramen ovale (PFO group) and divers treated with a catheter-based patent foramen ovale closure (closure group). There was no difference in the occurrence of venous bubbles between the PFO and closure groups ( $p = 1.0$ ), but no arterial bubbles were detected in the closure group ( $p = 0.02$ ).

# ADD et FOP

- 27 plongeurs avec ADD
- CDP = Conservative Decompression Practices\*
- 34 ADD avant CDP
- 4 ADD après CDP

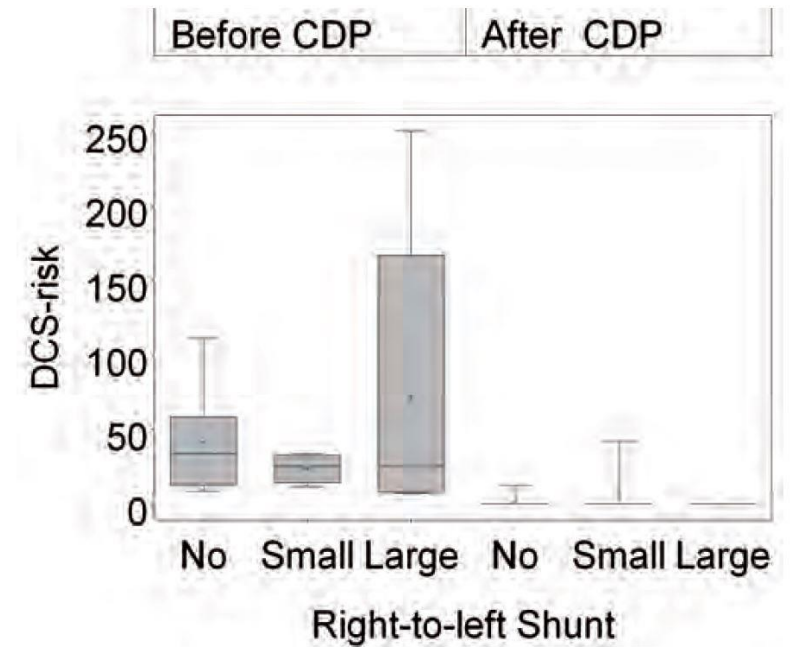
**Figure 1**

Box plots of DCS risk before and after advice on reducing nitrogen loading during diving with respect to the presence or absence of a patent foramen ovale; DCS risk – DCS events per 10,000 dives multiplied by 10,000



**Figure 2**

Box plots of DCS risk before and after advice on reducing nitrogen loading during diving with respect to right-to-left shunt size; DCS risk – DCS per 10,000 dives multiplied by 10,000



\* Nitrox, profondeur max 25m, pas de plongées répétitives, palier de sécurité 5minutes à 3m, pas de Valsalva

# Quelques exemples concrets



# Personne désirant plonger qui se présente pour un certificat d'aptitude

- Un dépistage de routine à la recherche d'un FOP n'est indiqué ni pour les plongeurs professionnels, ni pour les plongeurs de loisir.

# Plongeur chez qui un FOP a été découvert fortuitement lors d'un examen cardiologique

- **FOP degré I:** Les recommandations sont identiques à la plongée sans FOP.
- **FOP degré II et III:** Plonger selon les recommandations "low bubble diving".

# Plongeur après un accident de décompression pouvant être lié au FOP (cérébral, médullaire haut, vestibulo-cochléaire, cutis marmorata)

- Rechercher le FOP et, si présent, plongée selon les recommandations "low bubble diving".
- Les recommandations éventuelles de fermeture d'un FOP devront être abordées de cas en cas.
- Si absence de FOP, pas de restriction sous réserve des circonstances, de l'évolution, de la gravité et de l'évaluation médicale.

# Plongeur après un accident de décompression non lié au FOP (médulaire bas, bends)

- Ne pas rechercher le FOP



# Plongée « Low Bubble Diving » (SUHMS)

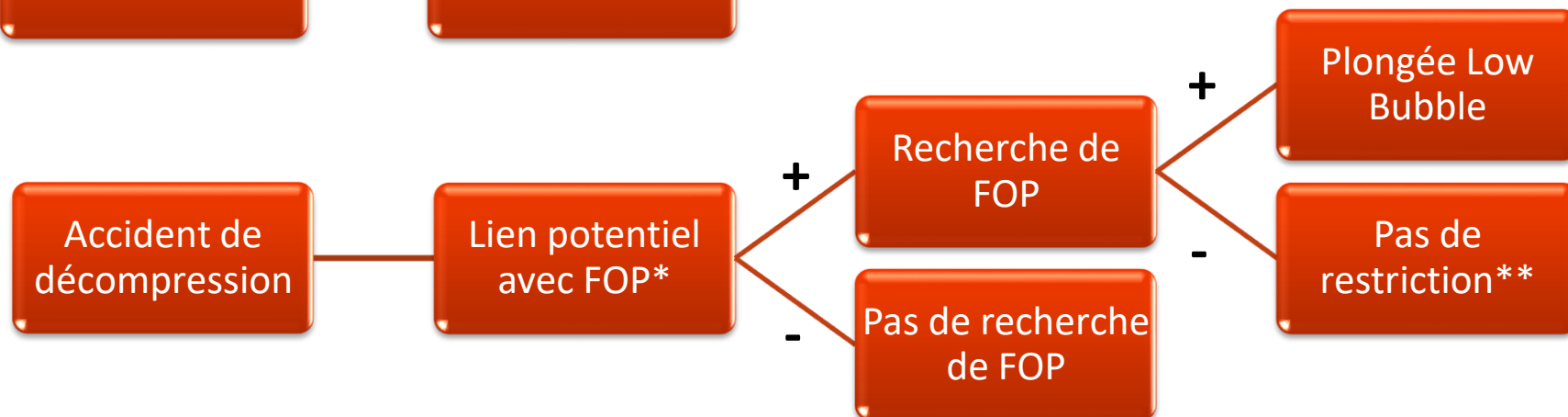
1. **Débuter la plongée à la profondeur maximale prévue**
2. **Pas de plongée yoyo.** Pas de descentes répétitives dans la zone des 10 m
3. **Réduction de la vitesse de remontée à 5 m/min pour les derniers 10 m**
4. **Palier de sécurité entre 3 et 5 m pendant au minimum 5 à 10 minutes**
5. **Uniquement des plongées dans la courbe de sécurité.** Pas de plongée avec décompression
6. **Au minimum 4 heures d'intervalle de surface avant la prochaine plongée**
7. **Maximum deux plongées par jour**
8. **Au moins deux heures d'attente avant de rejoindre un point plus élevé en altitude que le site de plongée**
9. **Eviter un grand réchauffement de la peau après la plongée.** P. ex. bain de soleil, douche chaude, sauna
10. **Eviter le froid, la déshydratation ainsi que l'abus de nicotine**

# Plongée « Low Bubble Diving » (SUHMS)

11. **Plonger avec un mélange de Nitrox mais avec les tables de décompression à l'air.** Attention à la toxicité de l'O<sub>2</sub>
12. **Des ordinateurs de plongée avec des logiciels spécialisés permettent de diminuer les risques**
13. **Pas d'effort physique dans les 10 derniers mètres de la remontée.** Eviter le travail physique ainsi que le palmage dans les courants en fin de plongée
14. **Pas d'effort physique dans les 2 heures qui suivent une plongée**
  - Ne pas gonfler son gilet par insufflation directe
  - Décapelage dans l'eau et prise en charge du matériel par des aides à la sortie
  - Pas de remontée en force sur le bateau ou sur la rive (sans pression!)
  - Le matériel lourd ne sera pas transporté par le plongeur
15. **Défense formelle de plonger en cas de refroidissement.** La toux ainsi que les manoeuvres d'équilibrage forcées (Valsalva) favorisent le passage de bulles



*Cette prise en charge n'est pas applicable à la plongée professionnelle*



\* Cérébral, cérébelleux, médullaire haut, vestibulo-cochléaire, cutis marmorata

\*\* Sous réserve des circonstances, de l'évolution, de la gravité et de l'évaluation médicale



The background of the slide is an underwater scene. It features a dense field of small, white bubbles rising from the bottom. Several small, silver fish are visible, swimming in various directions. The water has a deep blue-green hue, and the overall lighting is soft and diffused, typical of an underwater environment.

**Merci pour votre attention**

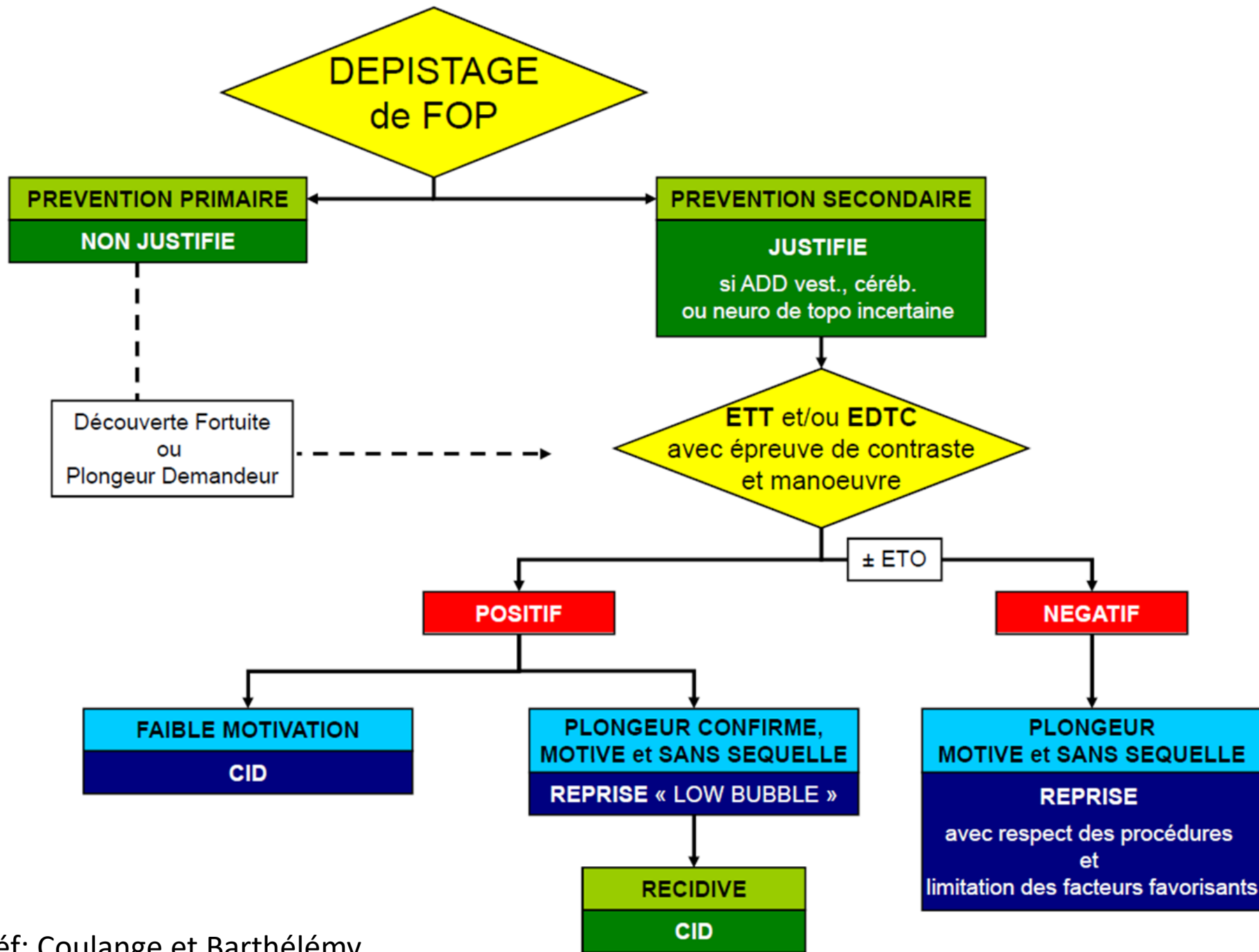


**BACKUP SLIDES**

## Études cas-témoins sur la prévalence du FOP chez les plongeurs ayant eu un accident de décompression (AdDc).

	Caractéristiques des cas (C) et des témoins (T)*	Mesure du FOP†	% des patients avec 1 FOP‡					
			en spt		en spt ou en pr		important‡	
			C	T	C	T	C	T
Moon <i>et al.</i> , 1989 <sup>61</sup>	- 30 C : 26 A / 4 P, 23 H, 34 ans (de 12 à 48), 27 AdDc N - 176 T - pas d'appariement	- échocardiographie transthoracique - en spt (1 m) et en pr (Valsalva, 1 m) - pas de précision sur la hiérarchisation des FOP	37 <i>p</i> < 0,001 OR = 10,7	5,1	37 <i>p</i> < 0,001 OR = 4,78	11	NR§	
Wilmshurst <i>et al.</i> , 1989 <sup>62</sup>	- 61 C : 59 A / 2 P, 49 H, 53 AdDc N - 63 T : plongeurs A, 51 H - pas d'appariement¶	- échocardiographie transthoracique - en spt (1 m) et en pr (Valsalva, jusqu'à 6 m) - pas de précision sur la hiérarchisation des FOP	25 <i>p</i> < 0,05 OR = 2,24	13	41 <i>p</i> < 0,05 OR = 2,22	24	NR	
Germonpré <i>et al.</i> , 1998 <sup>63</sup>	- 37 C : AdDc N - 36 T : plongeurs - appariement sur l'âge, le genre, l'indice de masse corporelle, le tabagisme, la condition physique, le nombre de plongées	- échocardiographie transœsophagienne - en spt (jusqu'à 2 m) et en pr (Valsalva, 1 m) - niveau 1 : de 0 à 19 S ; niveau 2 : 20 S et + (spt ou pr) - en insu de la survenue de l'AdDc	NR		59 <i>p</i> < 0,05 OR = 2,60	36	51 <i>p</i> < 0,025 OR = 3,17	25
Wilmshurst et Bryson, 2000 <sup>64</sup>	- 100 C : 91 A / 9 P, 66 H, AdDc N - 123 T : plongeurs - pas d'appariement	- échocardiographie transthoracique - en spt (1 m) et en pr (Valsalva, jusqu'à 6 m) - petit FOP : < 6 S ; FOP moyen : de 6 à 20 S ; FOP large : 21 S et + (spt ou pr) - en insu de la survenue de l'AdDc	41 <i>p</i> < 0,001 OR = 13,6	4,9	NR		51 <i>p</i> < 0,001 OR = 13,2	7,3
Wilmshurst <i>et al.</i> , 2001 <sup>65</sup>	- 61 C : 57 A / 4 P, 39 H, AdDc avec éruptions cutanées - 123 T : plongeurs - pas d'appariement	- <i>idem</i> article précédent	57 <i>p</i> < 0,001 OR = 10,5	11	77 <i>p</i> < 0,001 OR = 8,79	28	67 <i>p</i> < 0,001 OR = 26,0	7,3
Cantais <i>et al.</i> , 2003 <sup>66</sup>	- 101 C : consécutifs, 85 H, 35 ans (± 10) - 101 T : plongeurs militaires et A, 77 H, 33 ans (± 9,3) - pas d'appariement**	- Doppler transcrânien - en spt (1 m) et en pr (Valsalva : jusqu'à 2 m ; toux : 1 m) - FOP mineur : de 5 à 20 S (spt ou pr) ; FOP majeur : 21 S et + (spt)	NR		58 <i>p</i> < 0,001 OR = 4,27	25	49 <i>p</i> < 0,001 OR = 6,99	12

\* : dans cette colonne, A = amateur, P = professionnel, H = homme, N = neurologique, l'âge indiqué est l'âge moyen ; † : dans cette colonne, spt = spontané, pr = provoqué, m = mesure, S = signaux (bulles) ; ‡ : de niveau 2, large ou majeur suivant les études ; § : NR = non renseigné ; || : le texte de ces articles ne permet pas d'exclure que des patients n'apparaissent pas plusieurs fois dans ces études de la même équipe ; ¶ : il est précisé qu'il n'a pas été mis en évidence de différence statistiquement significative entre les cas et les témoins sur le nombre de plongées, la profondeur maximale atteinte et la proportion de plongeurs effectuant des paliers ; \*\* : il est précisé qu'il n'a pas été mis en évidence de différence statistiquement significative entre les cas et les témoins sur l'âge et le genre.



Réf: Coulange et Barthélémy

# Complications de l'échocardiographie aux microbulles

- En 1984, étude sur 363 médecins pratiquant l'échocardiographie:
  - Quelques symptômes neurologiques et respiratoires.
  - Risque d'effets secondaires 0.062%.
  - Bonne réponse à l'oxygène.
  - Pas d'atteinte permanente.

NB: La plupart des examens étaient avec produit de contraste synthétique et pas avec des microbulles.





CHUV

M5S

MI 1.1

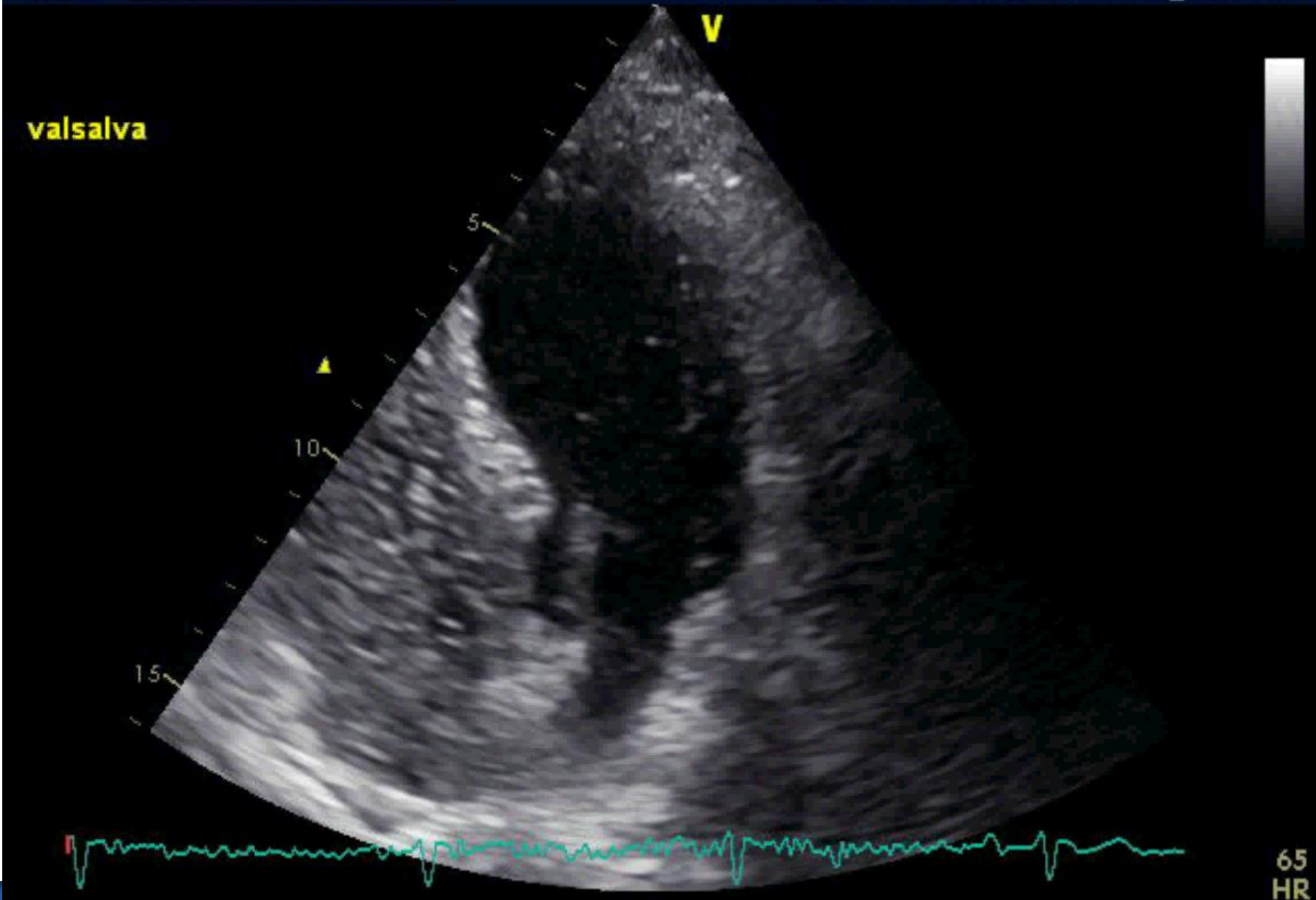
03/08/2017 11:51:53

USR

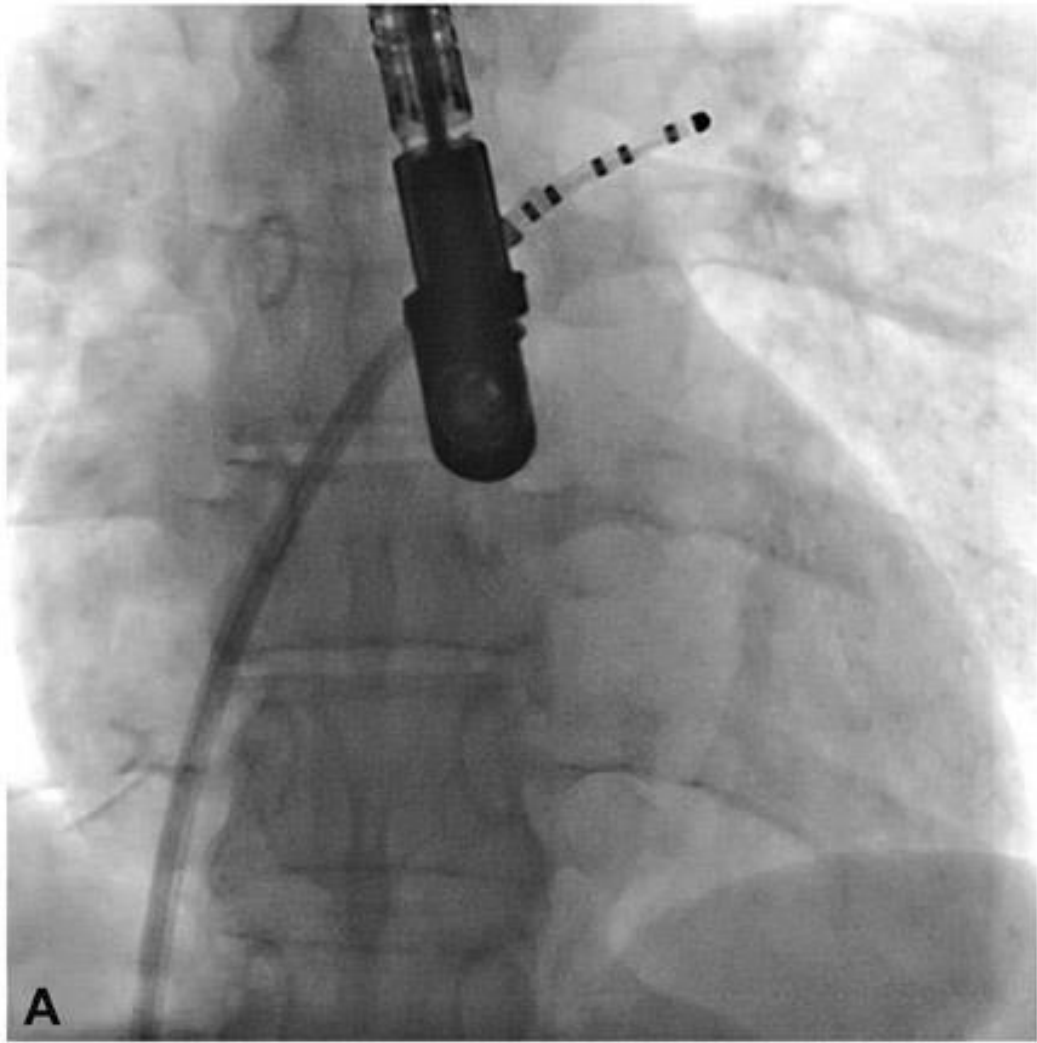
Cardiac3\_4MIAS:0.5

valsalva

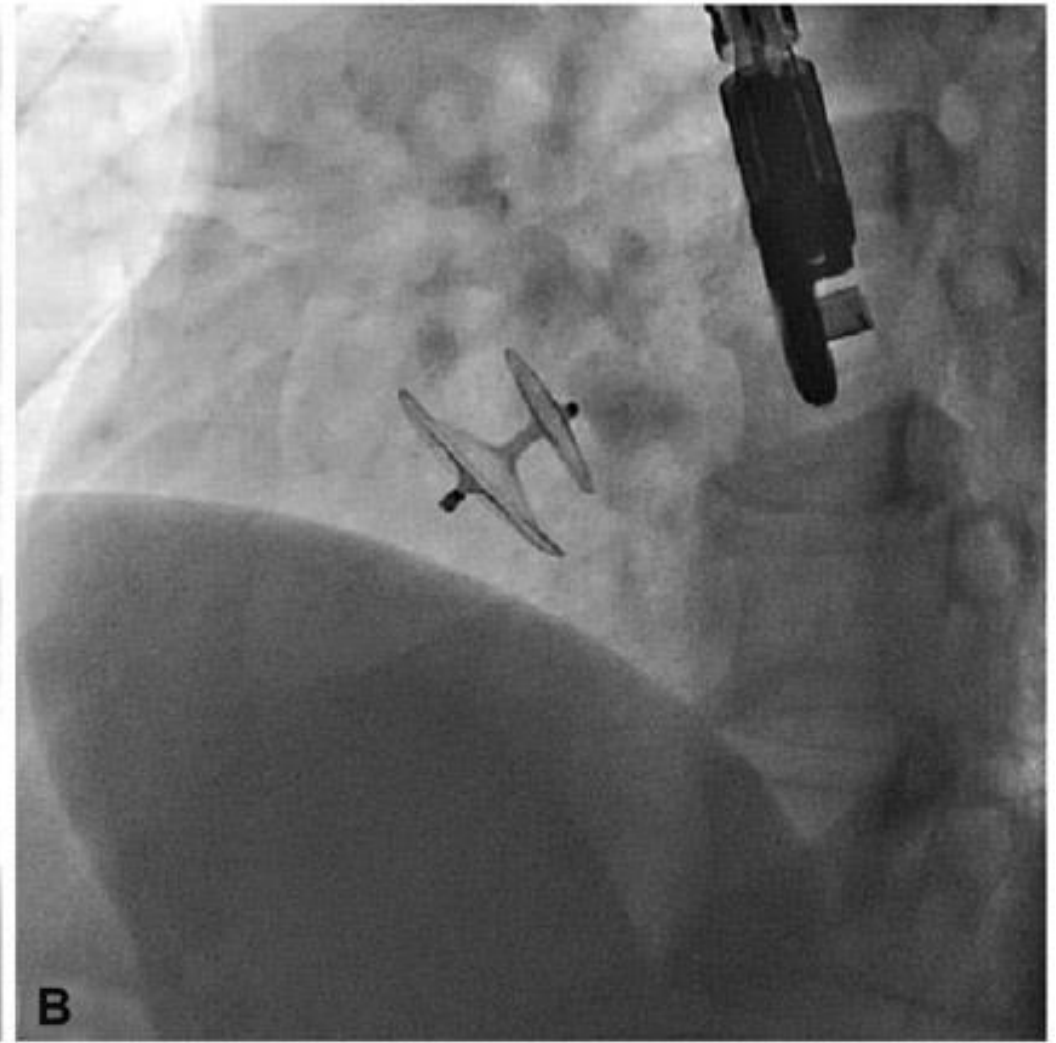
V



65  
HR



A



B