

# *La fréquence cardiaque du plongeur : de l'apnée au "diving reflex"*



*Docteur Benoît Brouant  
Cardiologue - Médecin fédéral*

# fréquence cardiaque

Normale au repos : 50 à 100 bpm  
si < bradycardie.....si > tachycardie

## a pnée

privatif respiration

Seule fonction  
végétative accessible  
(momentanément) à un  
contrôle conscient

## "diving reflex"

- ralentissement fc
- vaso-constriction
- diminution débit
- contraction rate

Hong 1967; Epersen 2001



# fréquence cardiaque

*Paramètre facilement mesurable.*

*Bradycardie constatée chez tous les animaux plongeurs :*

	<i>fc au repos</i>	<i>fc à l'immersion</i>
Phoque gris	120 bpm	10 bpm
Beluga	100 bpm	12 bpm
Marsouin	120 bpm	15 bpm
Otarie	95 bpm	20 bpm
Grand Dauphin	90 bpm	20 bpm
Orque	60 bpm	30 bpm
<b>Homme commun</b>	70 bpm	40 bpm



# *La fréquence cardiaque du plongeur : de l'apnée au "diving reflex"*

## **I Rappels**

- 1) Anatomie
- 2) La Circulation

## **II Effets de l'apnée et de l'immersion**

- 1) Apnée au sec
- 2) Immersion du corps
- 3) Immersion du visage

## **III Déroulement de la plongée**

- 1) La préparation
- 2) La descente
- 3) Séjour au fond
- 4) La remontée



# *La fréquence cardiaque du plongeur : de l'apnée au "diving reflex"*

## **I Rappels**

- 1) Anatomie
- 2) La Circulation

## **II Effets de l'apnée et de l'immersion**

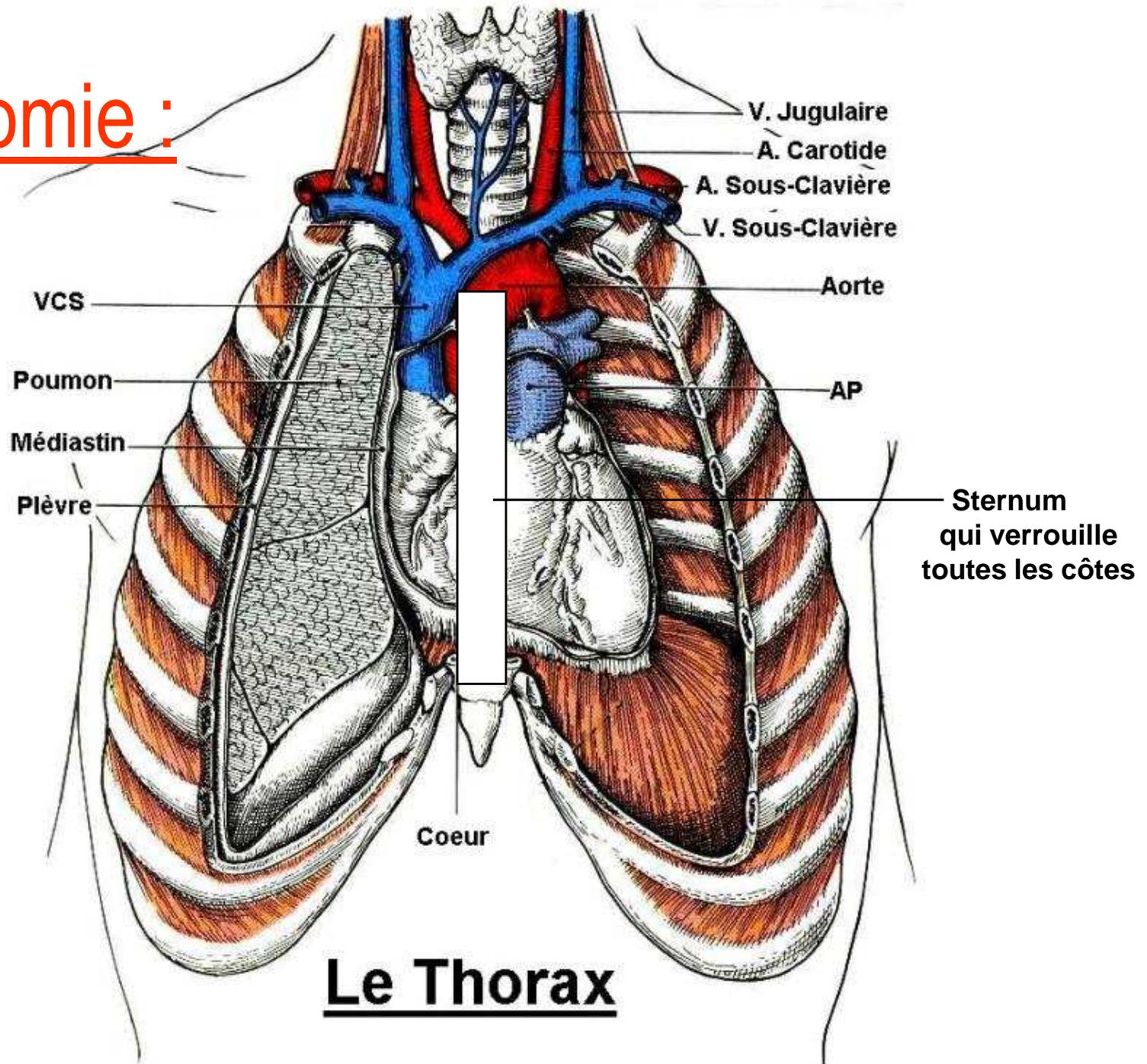
- 1) Apnée au sec
- 2) Immersion du corps
- 3) Immersion du visage

## **III Déroulement de la plongée**

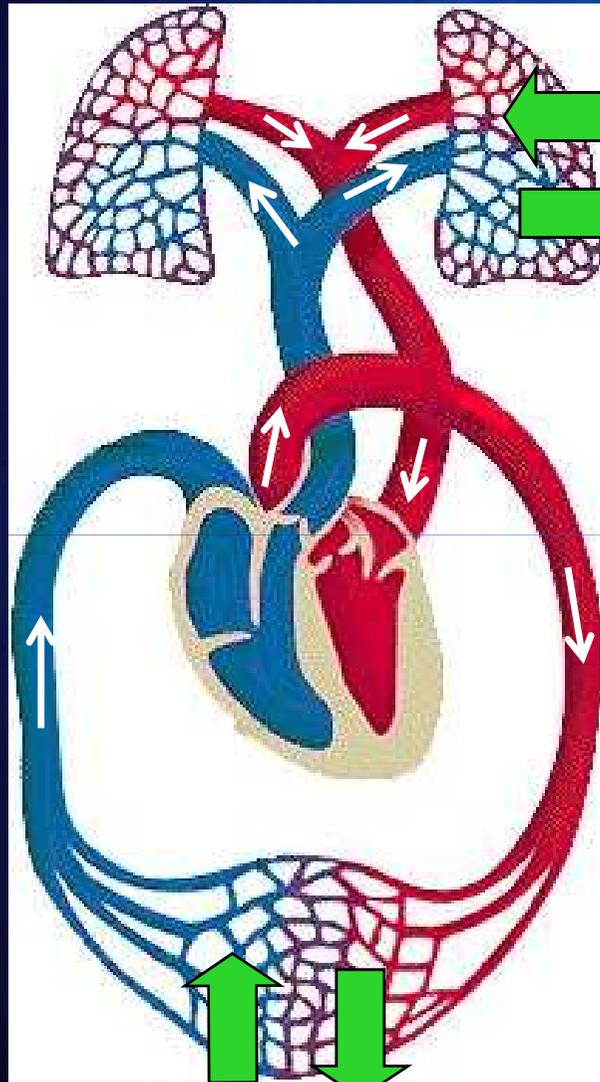
- 1) La préparation
- 2) La descente
- 3) Séjour au fond
- 4) La remontée



# Anatomie :



# La circulation



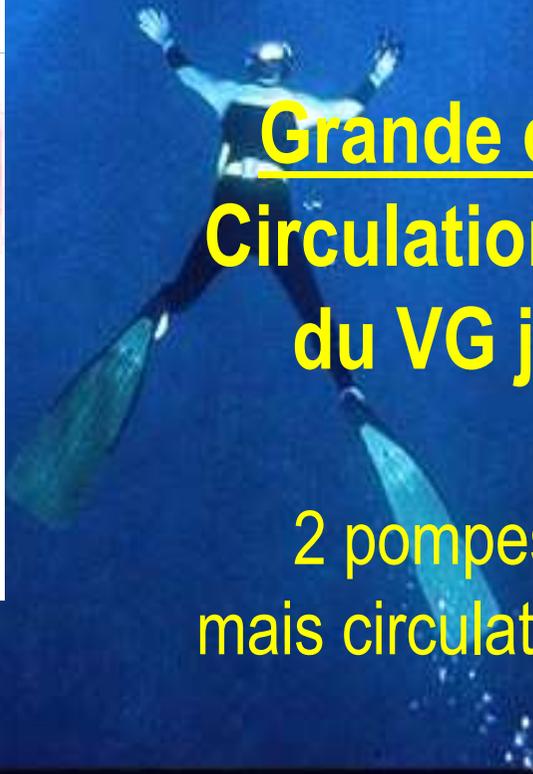
$CO_2$   $O_2$

$O_2$   
 $CO_2$

Petite circulation :  
Circulation pulmonaire  
du VD jusqu'à OG

Grande circulation :  
Circulation systémique  
du VG jusqu'à OD

2 pompes côte-à-côte  
mais circulation bout-à-bout !

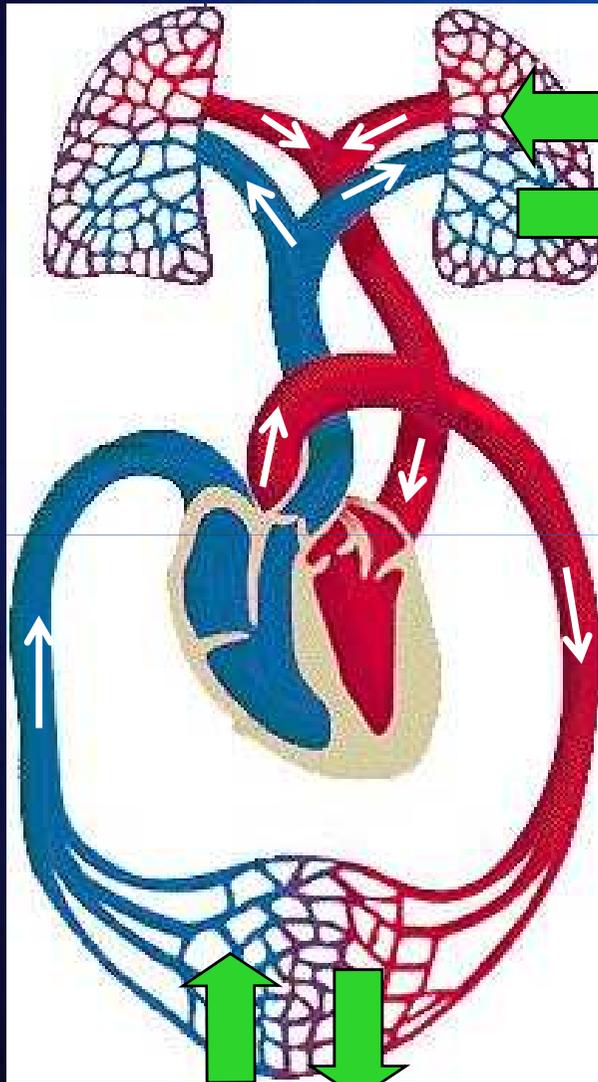


# La circulation

Régulation végétative  
(inconsciente) :

Systeme Sympathique +

Systeme parasymphatique -  
(nerf vagal)



O<sub>2</sub>  
CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> O<sub>2</sub>

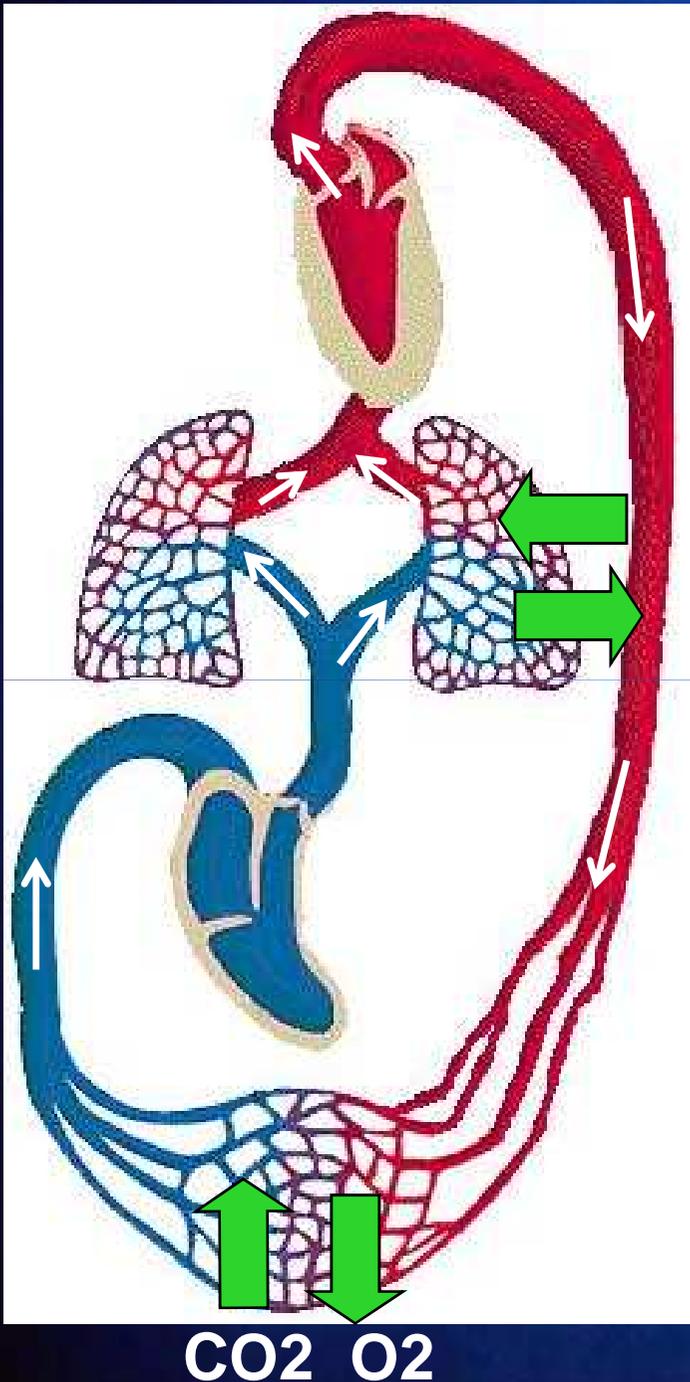


# La circulation

Circulation haute pression :  
Distribution artérielle

Circulation moyenne pression :  
Circulation pulmonaire

Circulation basse pression :  
Retour veineux



$CO_2$   $O_2$

# *La fréquence cardiaque du plongeur : de l'apnée au "diving reflex"*

## **I Rappels**

- 1) Anatomie
- 2) La Circulation

## **II Effets de l'apnée et de l'immersion**

- 1) Apnée au sec
- 2) Immersion du corps
- 3) Immersion du visage

## **III Déroulement de la plongée**

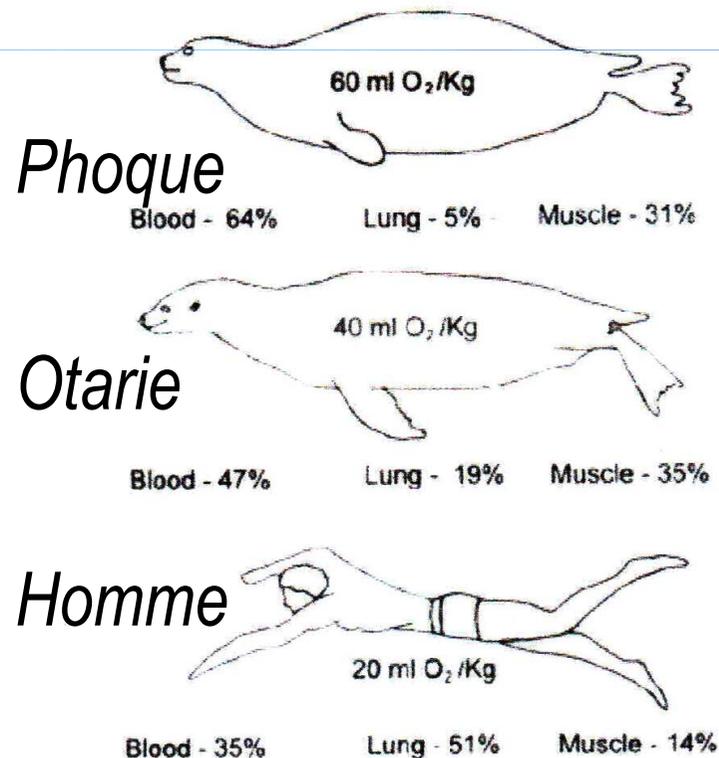
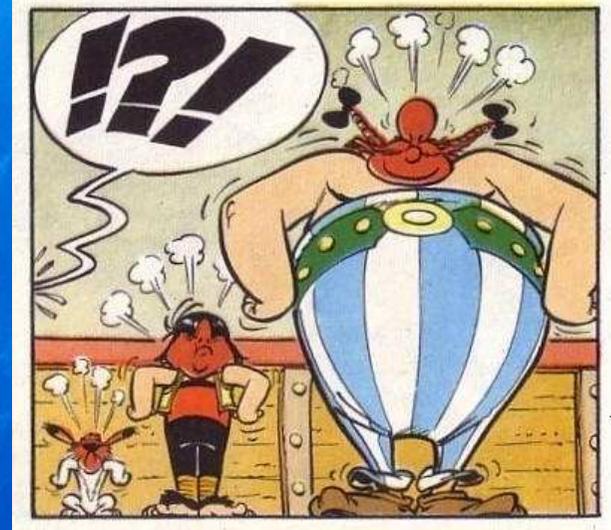
- 1) La préparation
- 2) La descente
- 3) Séjour au fond
- 4) La remontée



# 1) Apnée au sec

*Apnée inspiratoire*

*Poumons pleins avec distention thoracique*



# 1) Apnée au sec

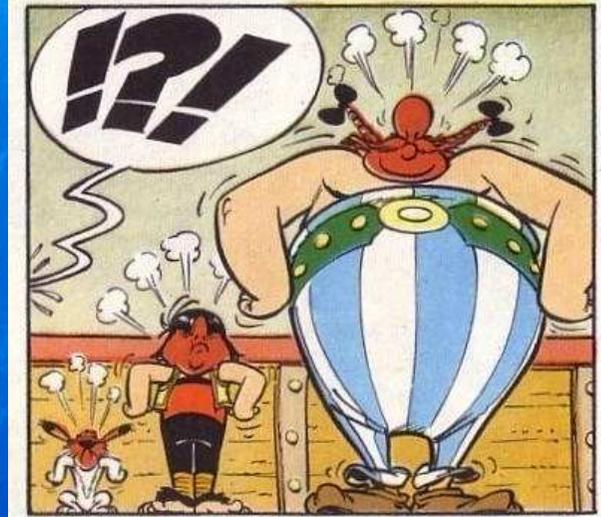
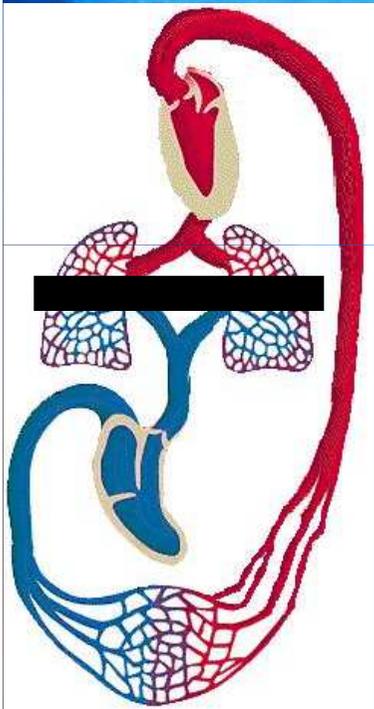
- *Effet mécanique  
(hémodynamique)*

↑ *Pression intrathoracique*

↓ *Retour veineux*

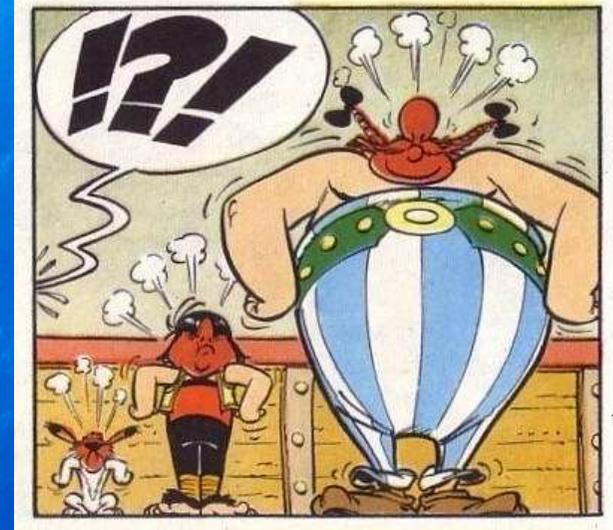
⇒ ↓ *Débit cardiaque*

↓ *fc*



# 1) Apnée au sec

- *Effet mécanique  
(neurologique)*



*Etirement des stretch receptors pleuraux*

1) *Stimulation vagale centrale*

⇒ *braycardie*

2) *Stimulation sympathique spinale*

⇒ *vasoconstriction périphérique*

↑ *TA* ⇒ *stimulation barorécepteurs*

# 1) Apnée au sec

↓ *débit sanguin périphérique en privilégiant la vascularisation du cœur et du cerveau*

*= économie consommation O<sub>2</sub>*

+ *contraction active de la rate (60 mn)*

*avec largage de globules rouges*

*= ↑ hématoците*

*↑ durée apnée*

# 1) Apnée au sec

*Mais avec consommation O<sub>2</sub>*

- ↓ *volume pulmonaire*

- *hypoxie, Acidose Hypercapnique*

⇒ *stimulation des chémorécepteurs*

= *Attenuation progressive bradycardie*

## 2) Immersion du corps

*"Apesanteur apparente"*  
(en neutralité thermique)



*Initialement ↓ fc et TA comme au couchage*

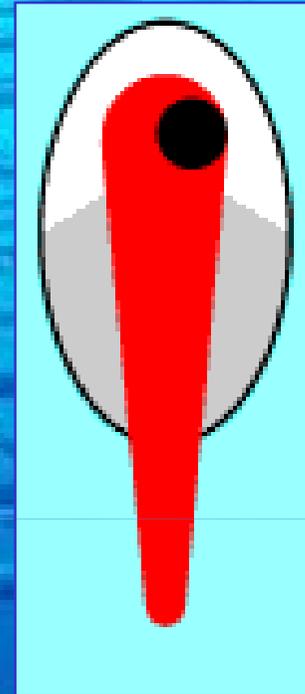
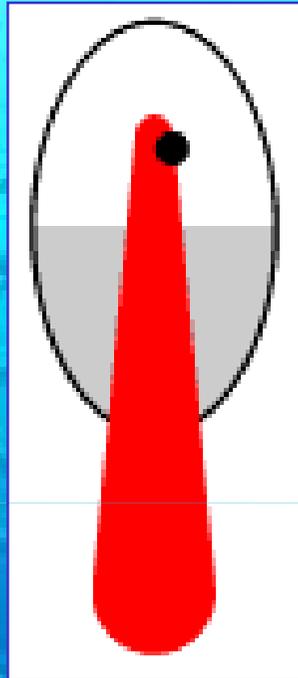
*Mais,*

*cage thoracique verrouillée par sternum*

*⇒ dépression intra-thoracique,*

*↑ masse sanguine centrale*

## 2) Immersion du corps



**↑ augmentation travail cardiaque  
compensée par vasodilatation périphérique  
(en neutralité thermique)**

### 3) Immersion du visage



**Nombreux thermorécepteurs sur la face**

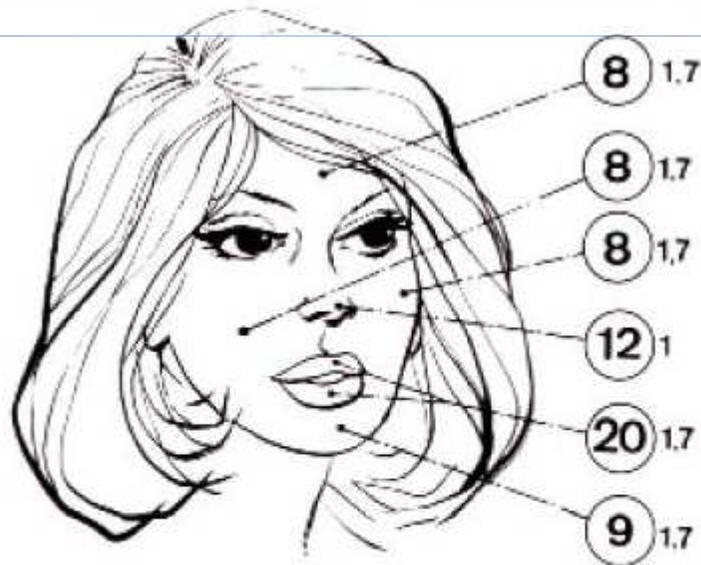


FIG. 33. — Localisation sur la face des récepteurs cutanés thermosensibles (au froid, entourés d'un cercle; au chaud, non cerclés): les chiffres indiquent leur

"La plongée en apnée" de JH Corriol, Masson 2002, p.84

**Aucun effet mécanique,  
Stimulation vagale  
INTENSE**

### 3) Immersion du visage



**Bradycardie et vaso-constriction intense  
+ contraction splénique**

FACIAL IMMERSION BRADYCARDIA

187

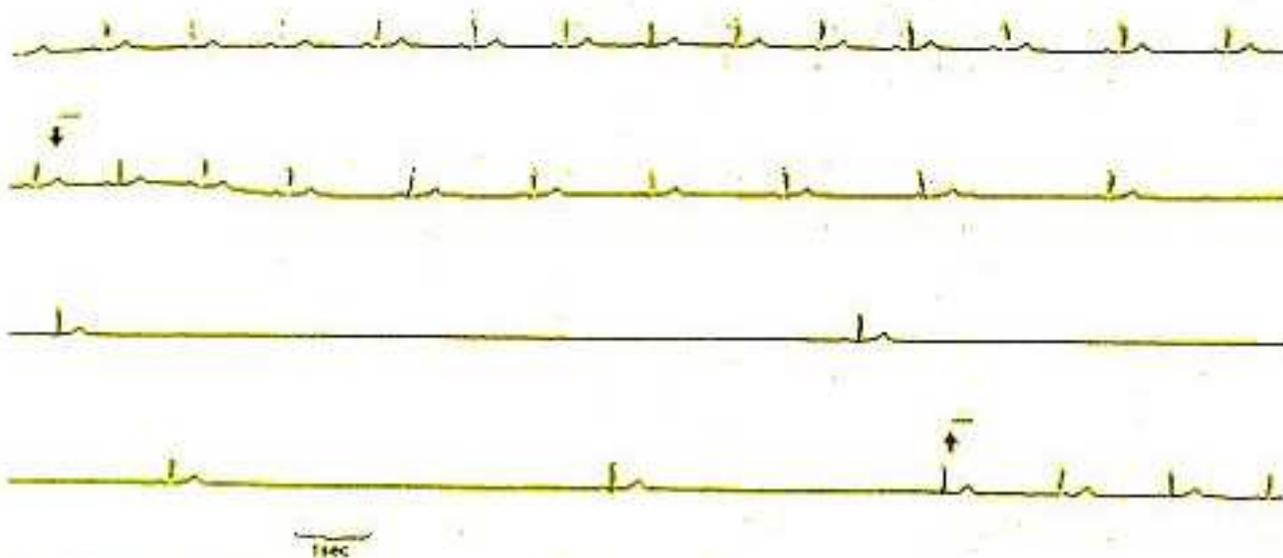


Fig. 2. Continuous electrocardiograph of a 45-s, breath hold, facial immersion in ice water (bounded by arrows). Subject (BH) demonstrated the longest R-R intervals of 10.8 s. Lead II, chart speed 25 mm/s.

### 3) Immersion du visage



*Sensibles à la variation de température  
(effets atténués avec le temps)*

*Effets moins marqués si :*

- protection par masque*
- respiration (tuba, scaphandre)*
- avec l'âge (sauf entraînement)*

# *La fréquence cardiaque du plongeur : de l'apnée au "diving reflex"*

## **I Rappels**

- 1) Anatomie
- 2) La Circulation

## **II Effets de l'apnée et de l'immersion**

- 1) Apnée au sec
- 2) Immersion du corps
- 3) Immersion du visage

## **III Déroulement de la plongée**

- 1) La préparation
- 2) La descente
- 3) Séjour au fond
- 4) La remontée



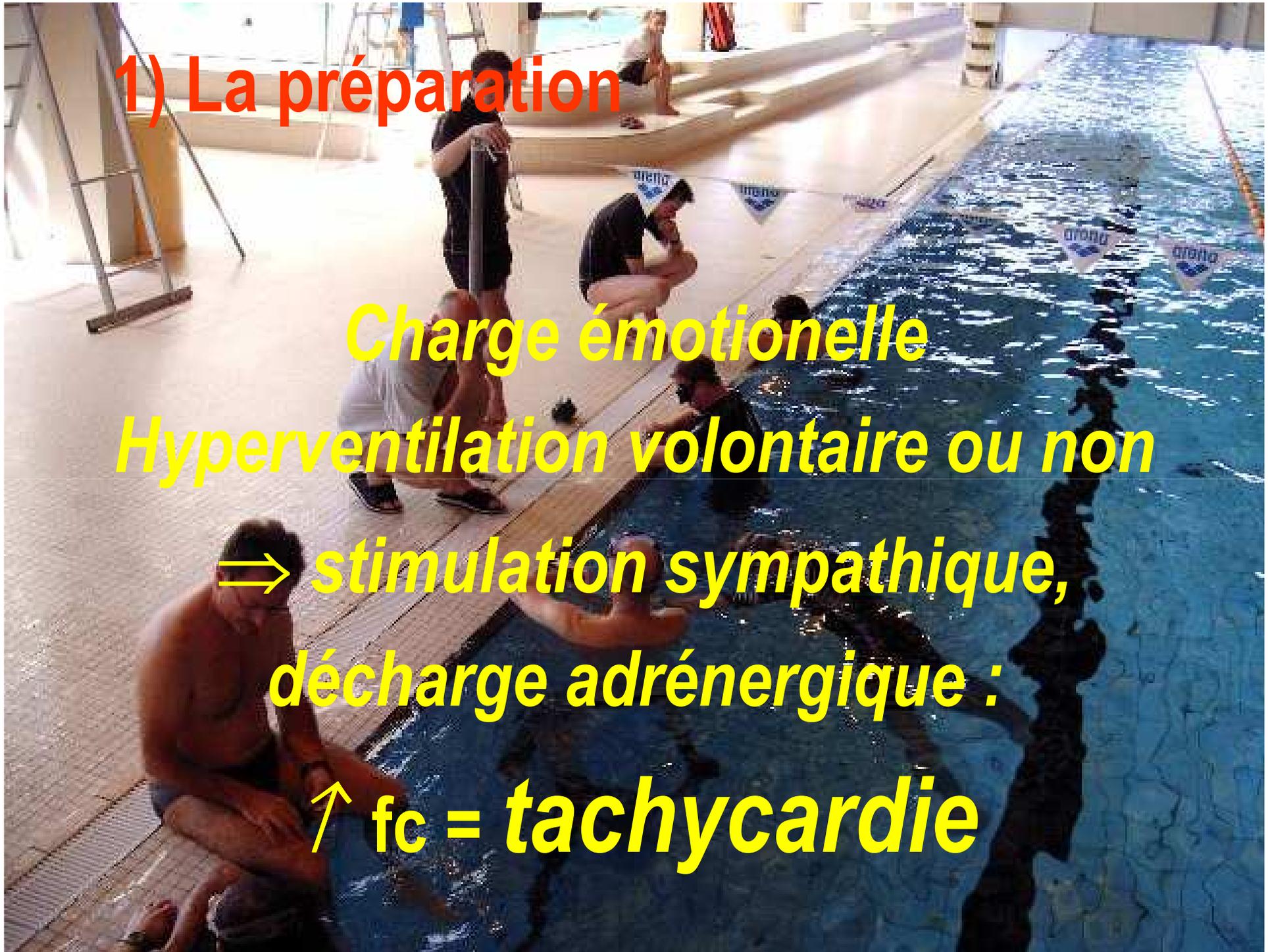
# 1) La préparation

*Charge émotionnelle*

*Hyperventilation volontaire ou non*

*⇒ stimulation sympathique,  
décharge adrénérgique :*

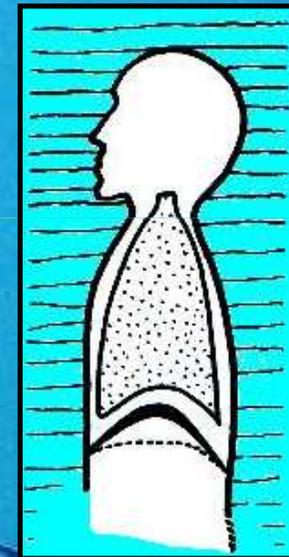
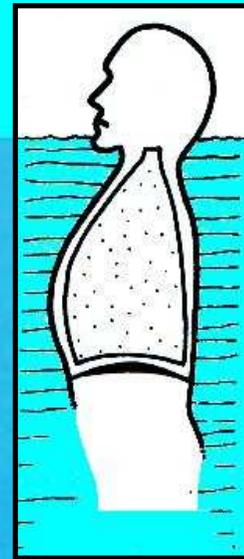
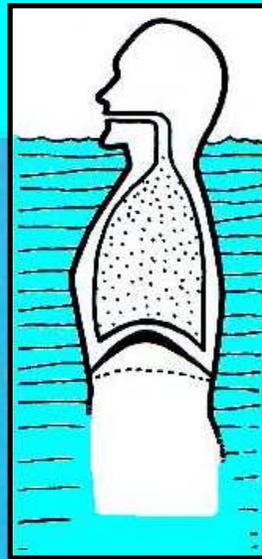
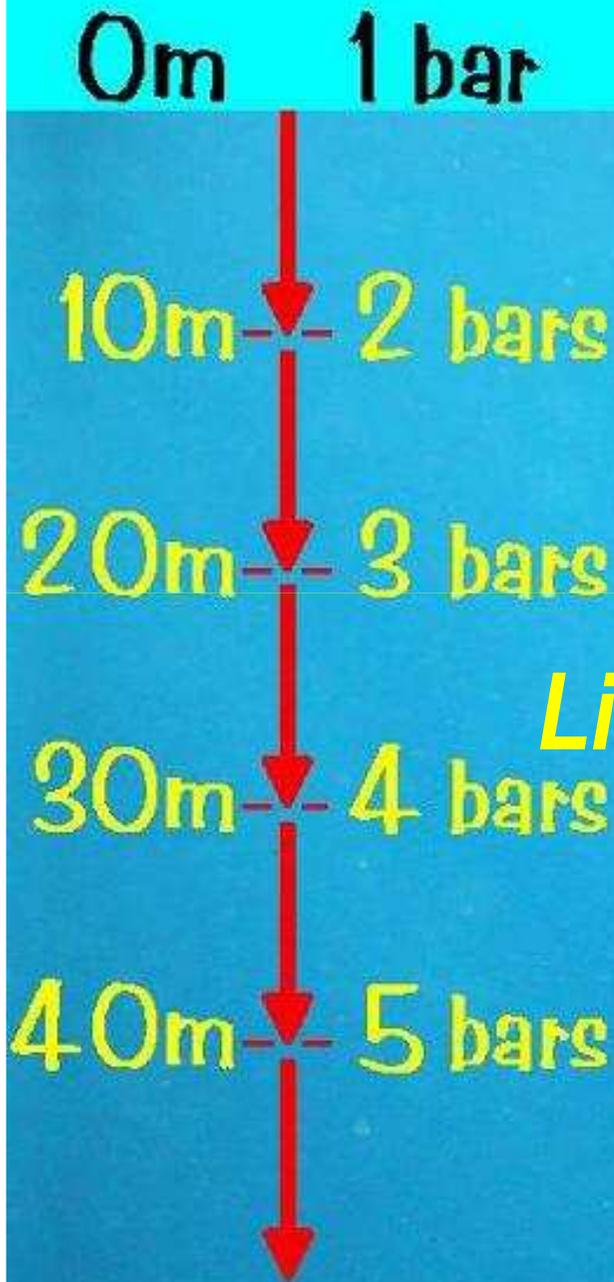
*↑ fc = tachycardie*



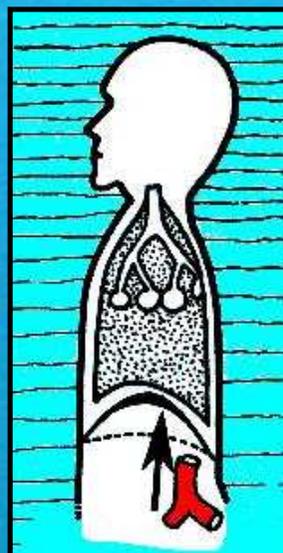
## 2) La descente

- *Effort musculaire initiale*
  - *Vasoconstriction froid*
  - *redistribution masse sanguine vers le thorax avec blood shift*
- ⇒ *↑ travail cardiaque*

# Apnée



*Limite théorique : VR*



*Au delà : **Blood shift**  
qui permet à la cage thoracique  
de résister à la pression*



## 2) La descente

### *Stimulation vagale*

- *des thermo-récepteurs*
  - *lors manœuvres d'équilibration*
  - *↑ Pression partielle O<sub>2</sub>*
    - ⇒ *bradycardie*
- malgré ↑ travail cardiaque*
- ⇒ *↑ Tension artérielle systémique*

### 3) Séjour au fond

#### *Situation idéale :*

- *absence effort physique*
- *absence effort ventilatoire*
- *↑ hématocrite après contraction rate*
- *Hyperoxie par ↑ Pression partielle*
- *Acidose hypercapnique progressive*  
*...douce narcose*

### **3) Séjour au fond**

***Stabilité hémodynamique***

***Stimulation vagale***

***Vasoconstriction au froid***

***⇒ fc stable avec bradycardie,***

## 4) La remontée

***Situation hémodynamique délicate :***

- *effort musculaire,*
- *vidange du blood shift,*
- *↓ gradient pression retour veineux,*
- *persistance vasoconstriction périphérique,*
- *↓ pression partielle O<sub>2</sub>.*

***Mais,***

***Bradycardie jusqu'en surface.***

## **4) La remontée**

***Rupture de l'apnée en surface***

***⇒ levée brutale vasoconstriction***

***= marée acide***

***(acidose respiratoire et métabolique)***

***+ dette oxygène***

***Tachycardie de récupération***

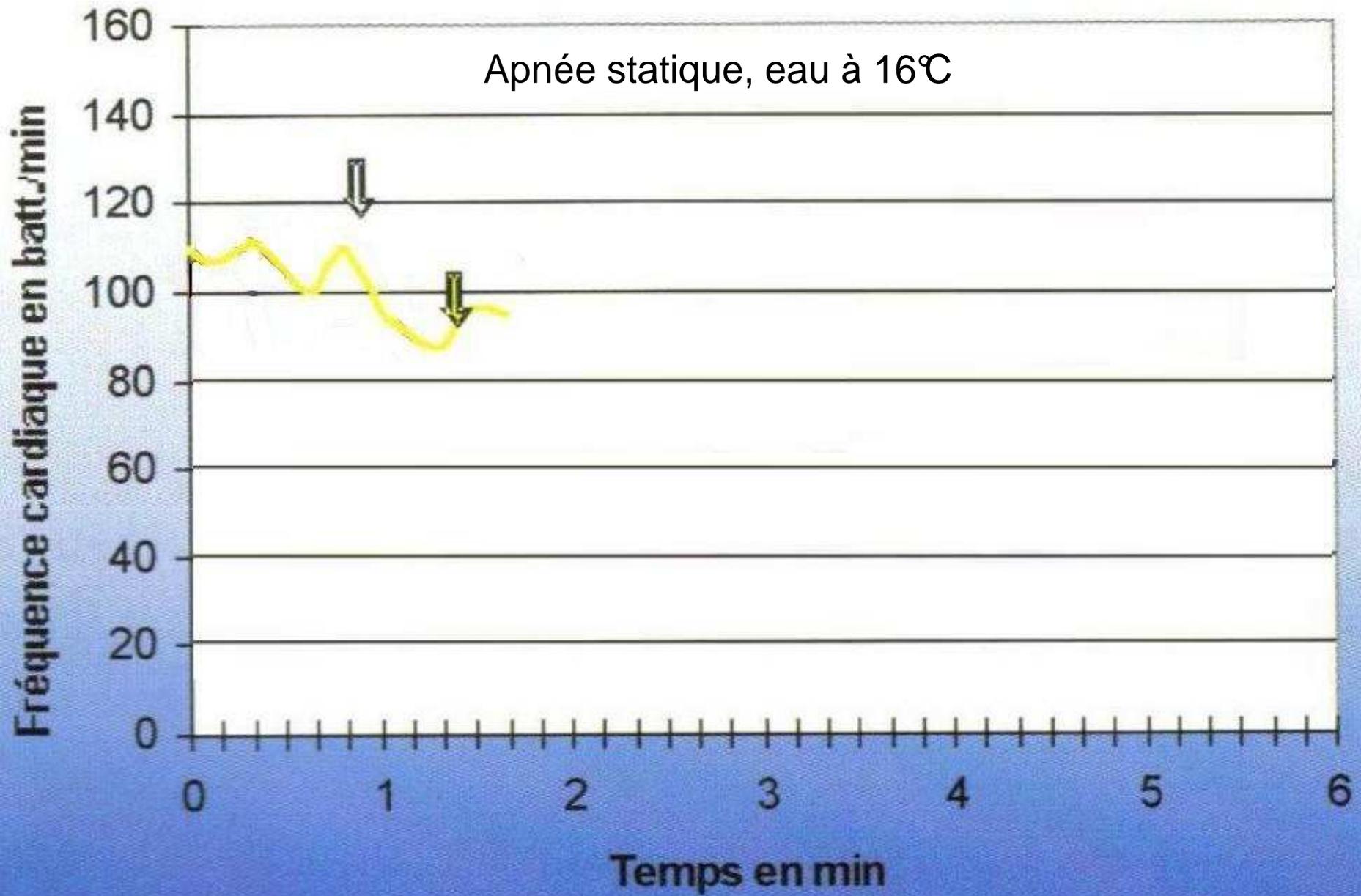
***en situation arythmogène.***

# *La fréquence cardiaque du plongeur : de l'apnée au "diving reflex"*

*Réflexe archaïque,  
commun aux mammifères,  
déclenché par l'apnée  
et amplifié par la plongée.  
Situation d'économie d'oxygène  
qui préserve la vascularisation  
du cœur et du cerveau*

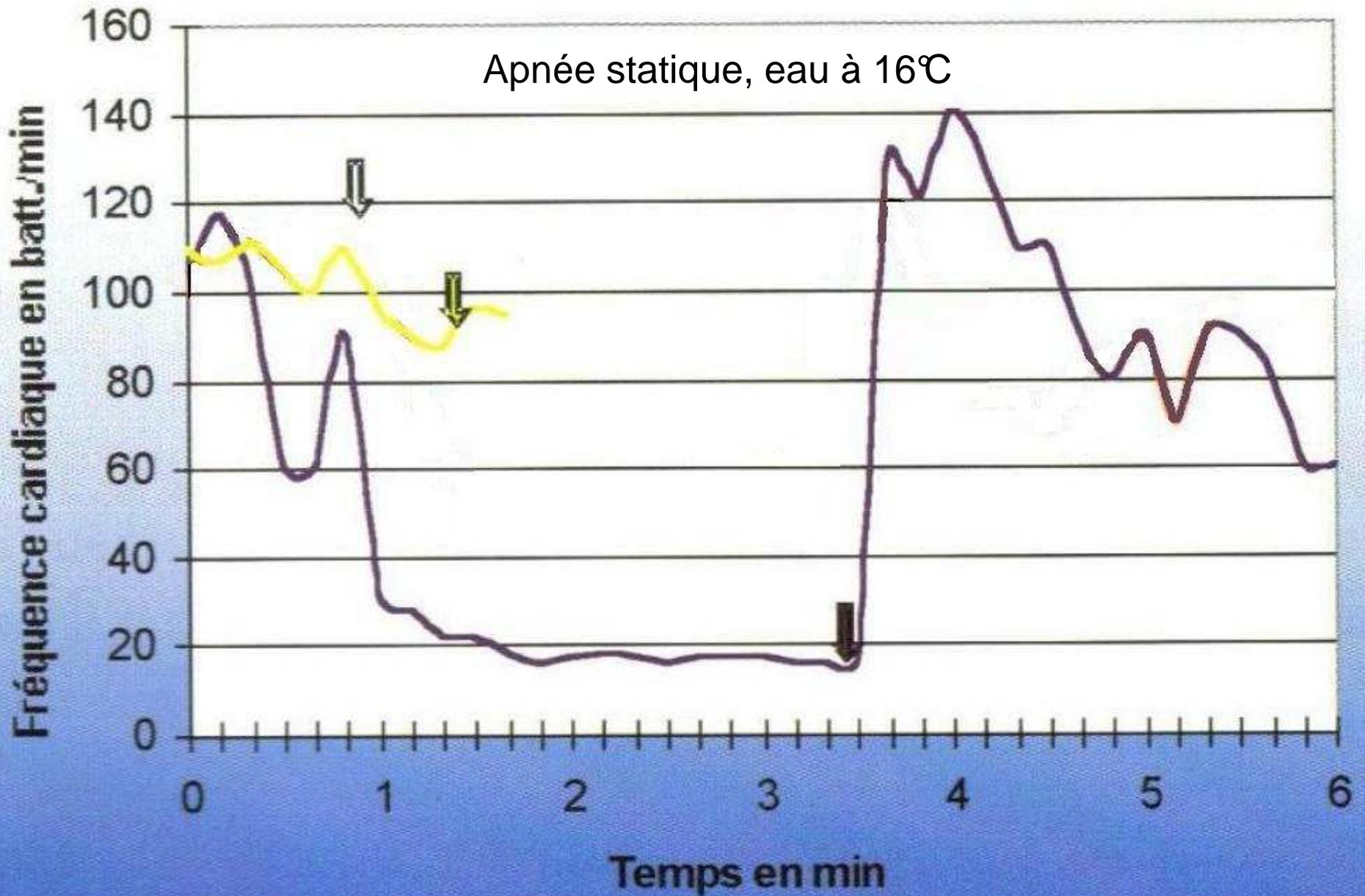


Apnée statique, eau à 16°C



— Plongeur témoin

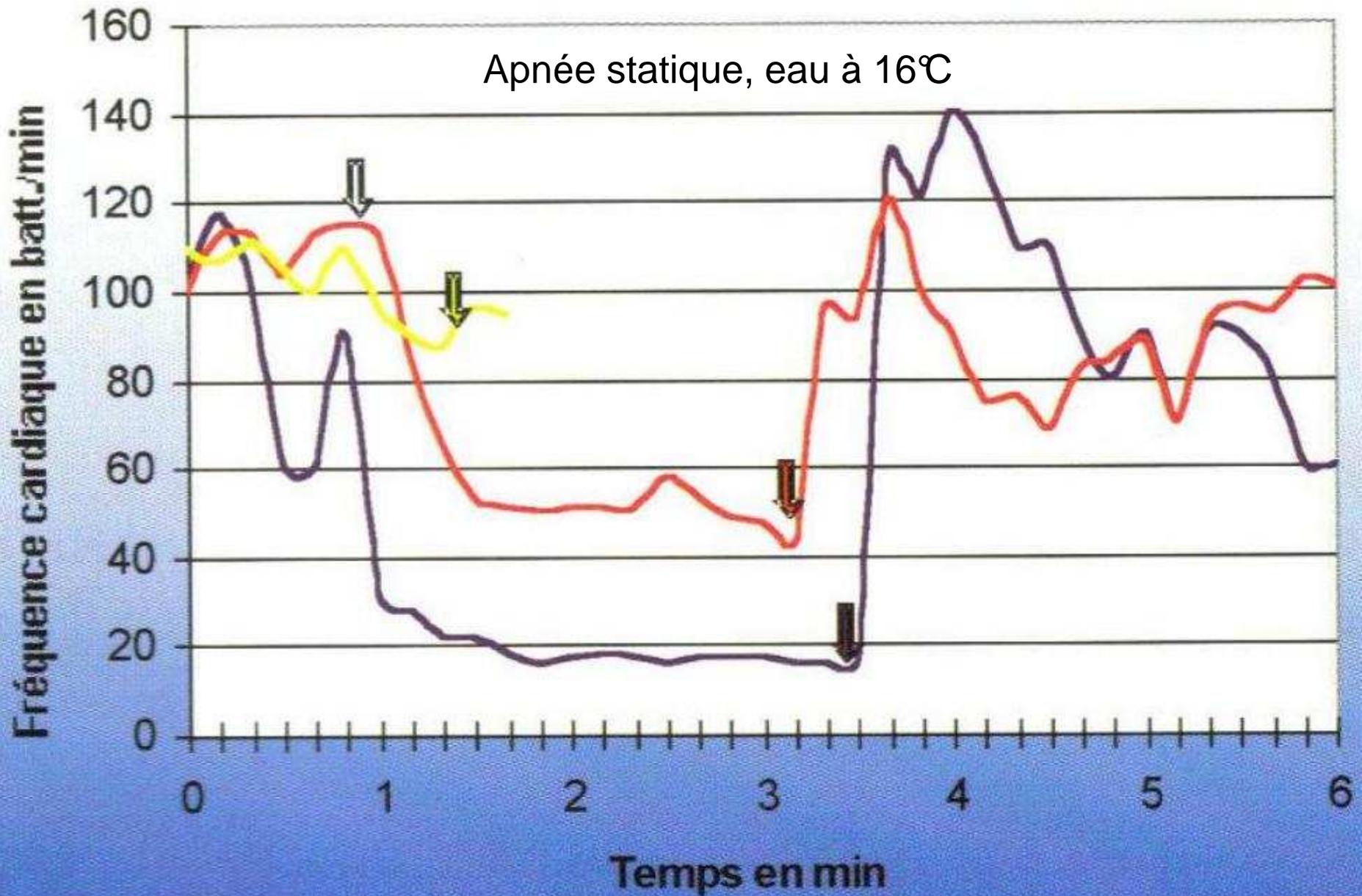
Apnée statique, eau à 16°C



— Otarie SA

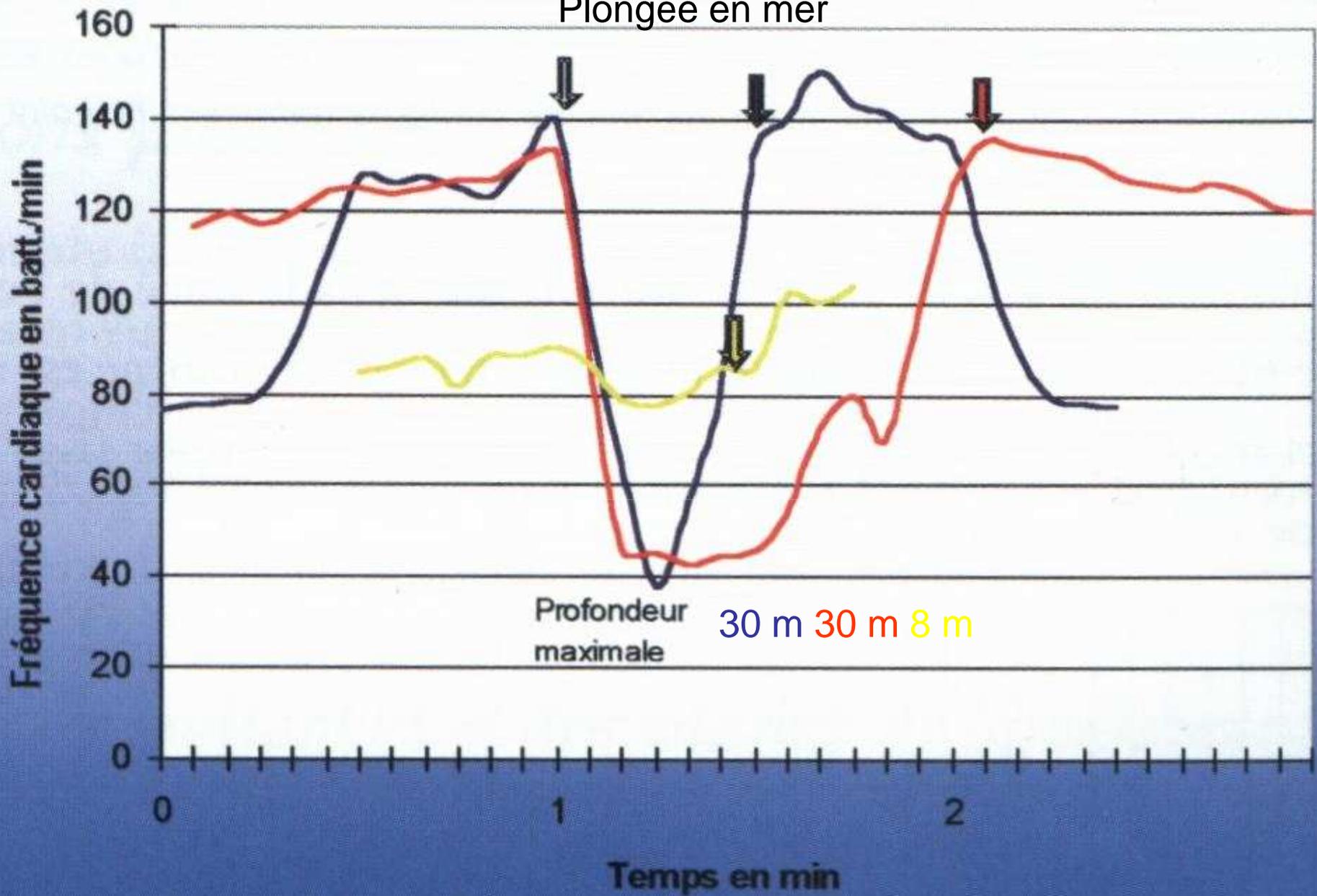
— Plongeur témoin

Apnée statique, eau à 16°C



— Otarie SA — Plongeur PF — Plongeur témoin

# Plongée en mer



— Otarie SA — Plongeur PF — Plongeur témoin

# Références :

