

Physiologie

---

## Cours présentiel 2

# Régulation de la pression artérielle systémique & Hypertension artérielle



Pr Guillaume Favre

Physiologie, ECUE 4, premier semestre – Université Côte d'Azur

# Plan

- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

# Plan

- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

# A. Pression artérielle = définition

Mesurée au bras

PAS = 120 mm Hg

PAD = 80 mm Hg

PAM =  $\frac{1}{3}$  PAS +  $\frac{2}{3}$  PAD

Pression hémodynamique

Pression hydrostatique

Pression cinétique + pression latérale + pression gravitaire = **pression artérielle**

Pression mesurée  
dans le sens du flux  
sanguin

Pression mesurée  
perpendiculairement  
au flux sanguin

Pression liée au poids de la colonne de sang située  
au-dessus du point de mesure → en +  
en-dessous du point de mesure → en -

# A. Mesure de la pression artérielle



A la hauteur du cœur  
pour éliminer l'effet de la  
colonne de sang

Mesure répétée en raison de sa variabilité → moyenne de plusieurs mesures  
Mesure dépendant des conditions intérieures et extérieures → standardisation  
(après 5 minutes de repos, seul, sans occupation)

# A. Application de la loi de Poiseuille

$\Delta P = Q \times R \rightarrow$  loi de Poiseuille  
Circulation laminaire

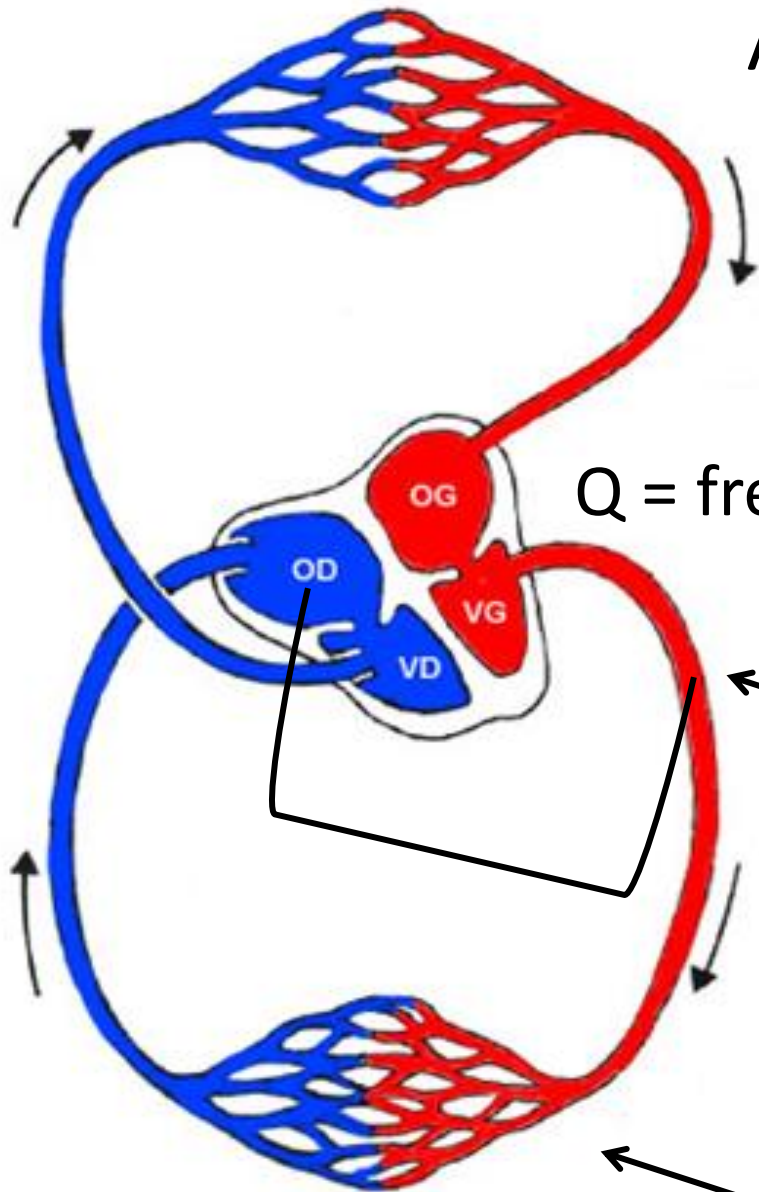
$Q =$  fréquence cardiaque  $\times$  volume d'éjection ventriculaire

Mesurée au bras

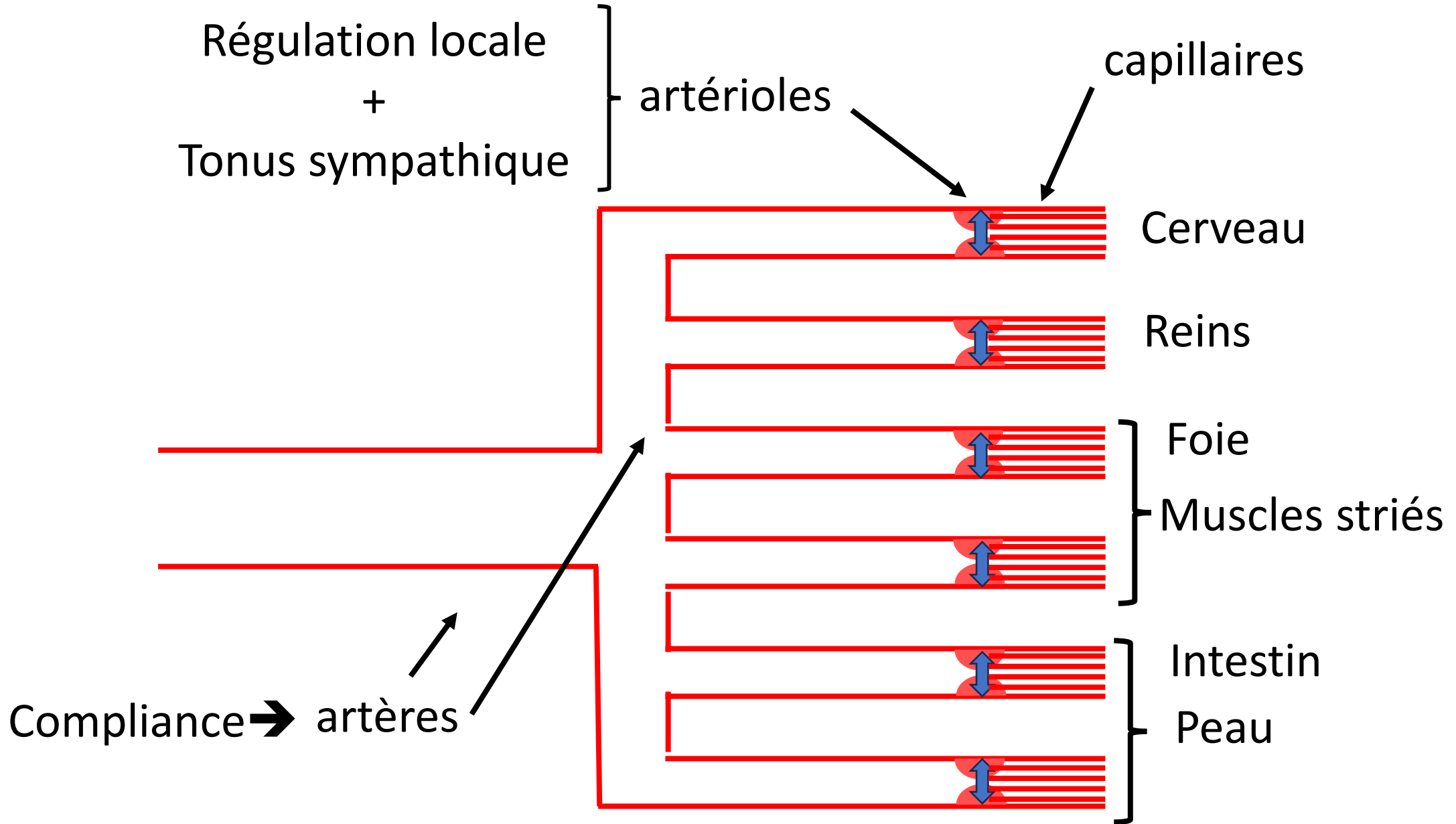
$PAM - POD = \Delta P$

$POD \approx$  quelques mm de Hg

$R =$  artérioles

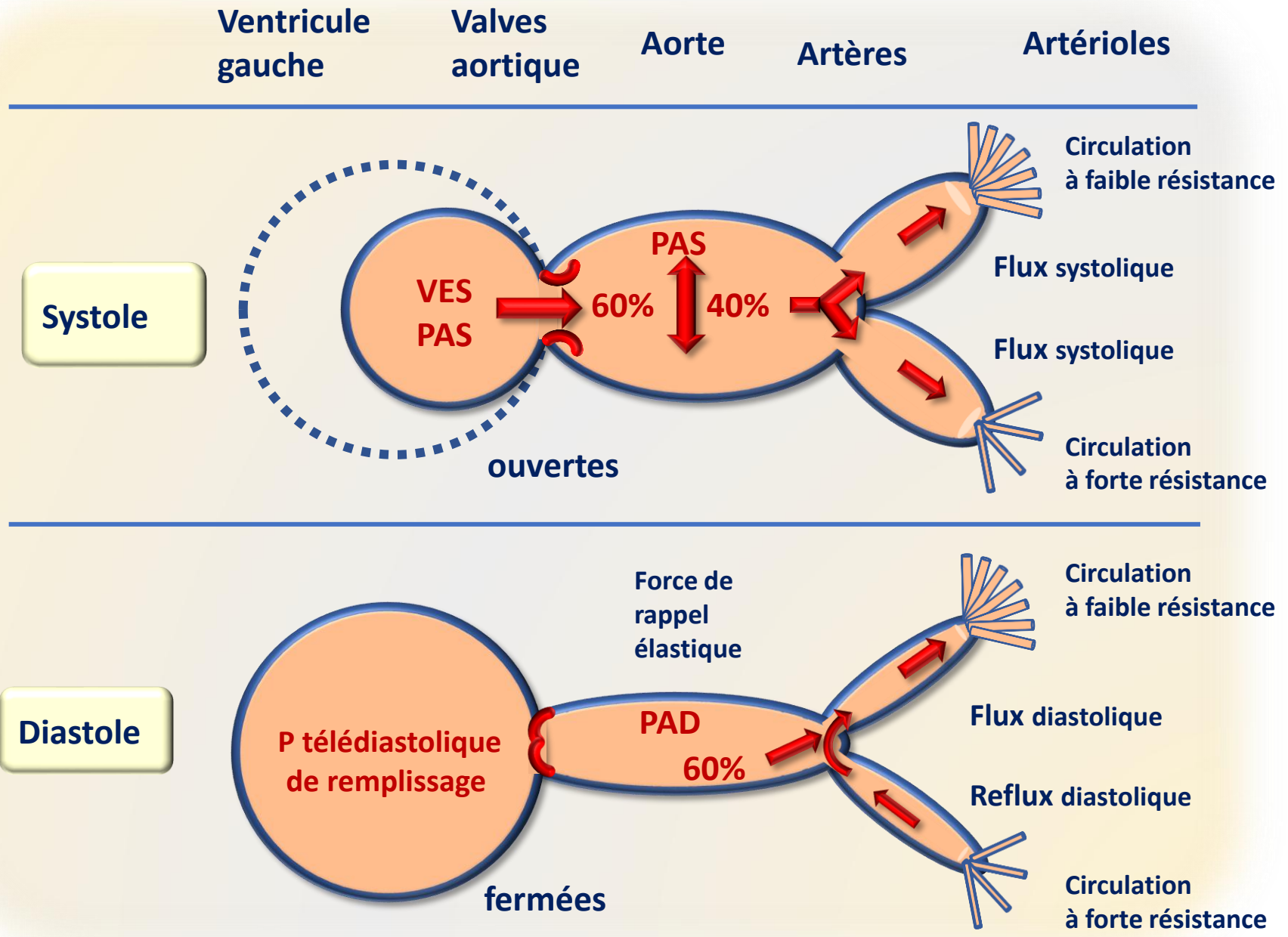


# A. Artères et artérioles



# A. Effets de la compli

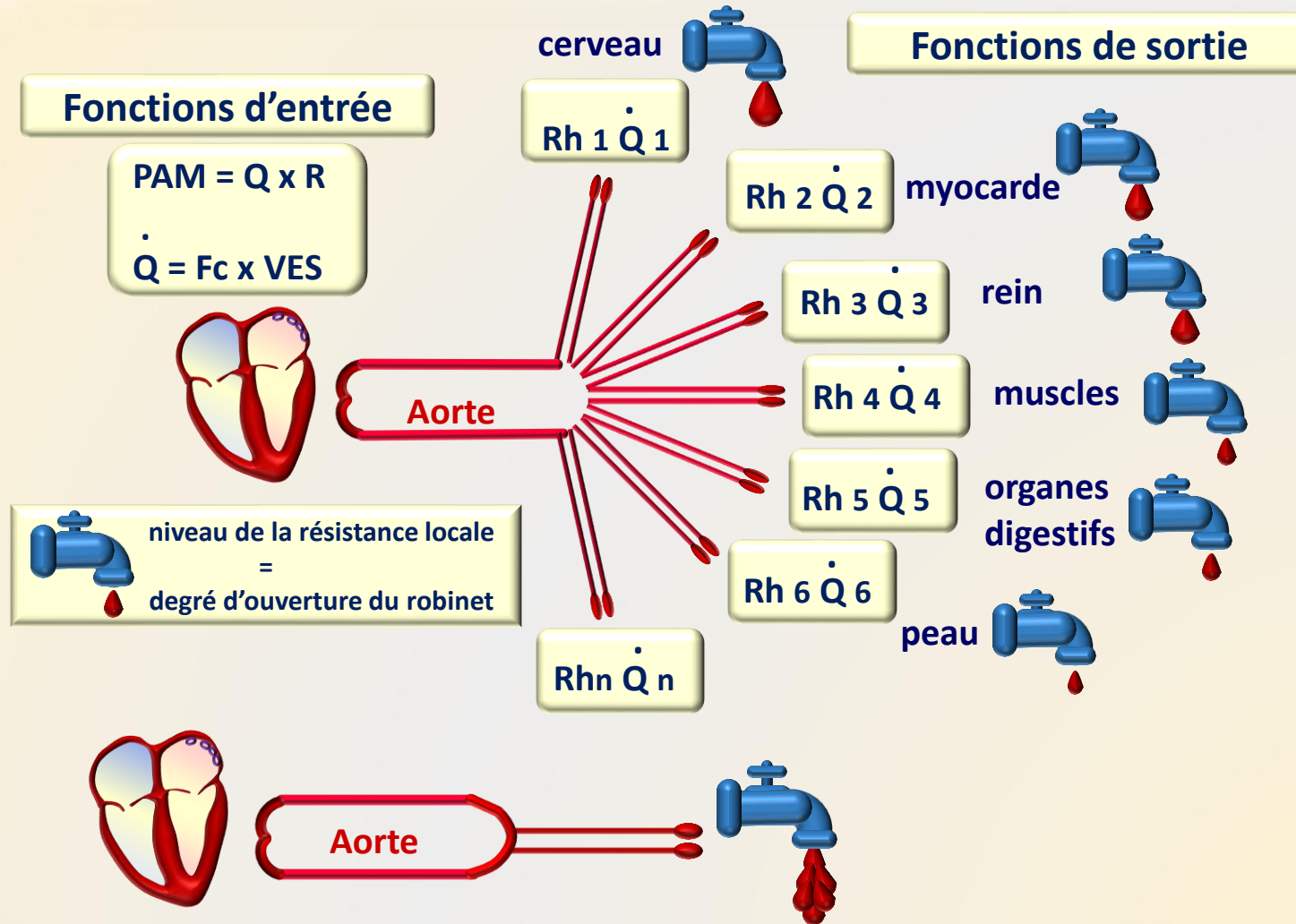
- Compliance :  $\Delta V / \Delta P$
- Diminue la pulsatilité du débit cardiaque
- Systole : dilatation des artères
  - 60% du volume de sang éjecté par le VG reste dans les artères qui se dilatent
  - 40% du volume de sang éjecté par le VG est distribué aux artérioles
- Diastole : retour élastique des artères à leur taille initiale
  - Distribution de 60% du volume de sang éjecté par le VG est distribué aux artérioles



# A. Effets de la vasomotricité des artérioles

- Mécanismes de la vasomotricité
  - propriétés intrinsèques des artérioles dépendant des pressions pariétales et cinétiques
  - tonus vasomoteur du système nerveux sympathique
- Effets de la vasomotricité
  - distribution régionale du débit sanguin
  - variation de la pression artérielle

# A. Distribution du débit sanguin



# A. Répartition du débit sanguin par organe

La perfusion sanguine de certains organes est privilégiée.

En conditions basales	% débit cardiaque	
Poumons	100 %	Débit constant
Cerveau	15 %	
Reins	20 %	
Intestin et appareil digestif	36 %	Débit variable selon l'activité
Muscle et peau	24 %	
autres	5 %	

La perfusion des autres organes est variable en fonction de leur niveau leur activité.

# A. Organes à débit sanguin variable

Ouverture des artérioles selon l'activité des organes situés en aval

activité motrice (muscle)

digestion (tube digestif)

sudation (peau)

...

# A. Organes à débit sanguin constant

Ouverture des artérioles selon des mécanismes particuliers

Reins : débit de Na et Cl dans l'urine tubulaire (macula densa)

Cerveau : mécanismes mal connus

# Plan

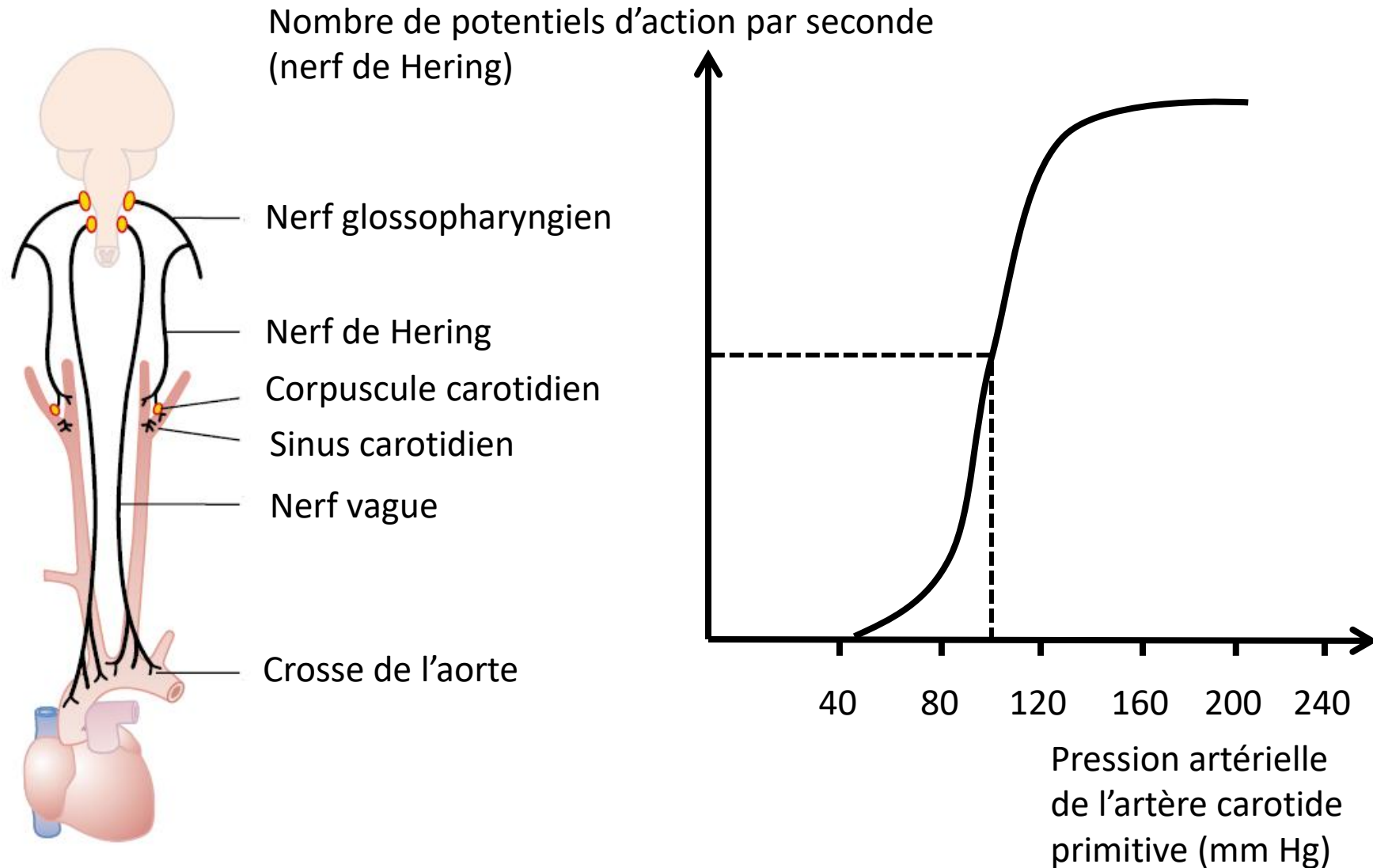
- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

# B. Maintien de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires

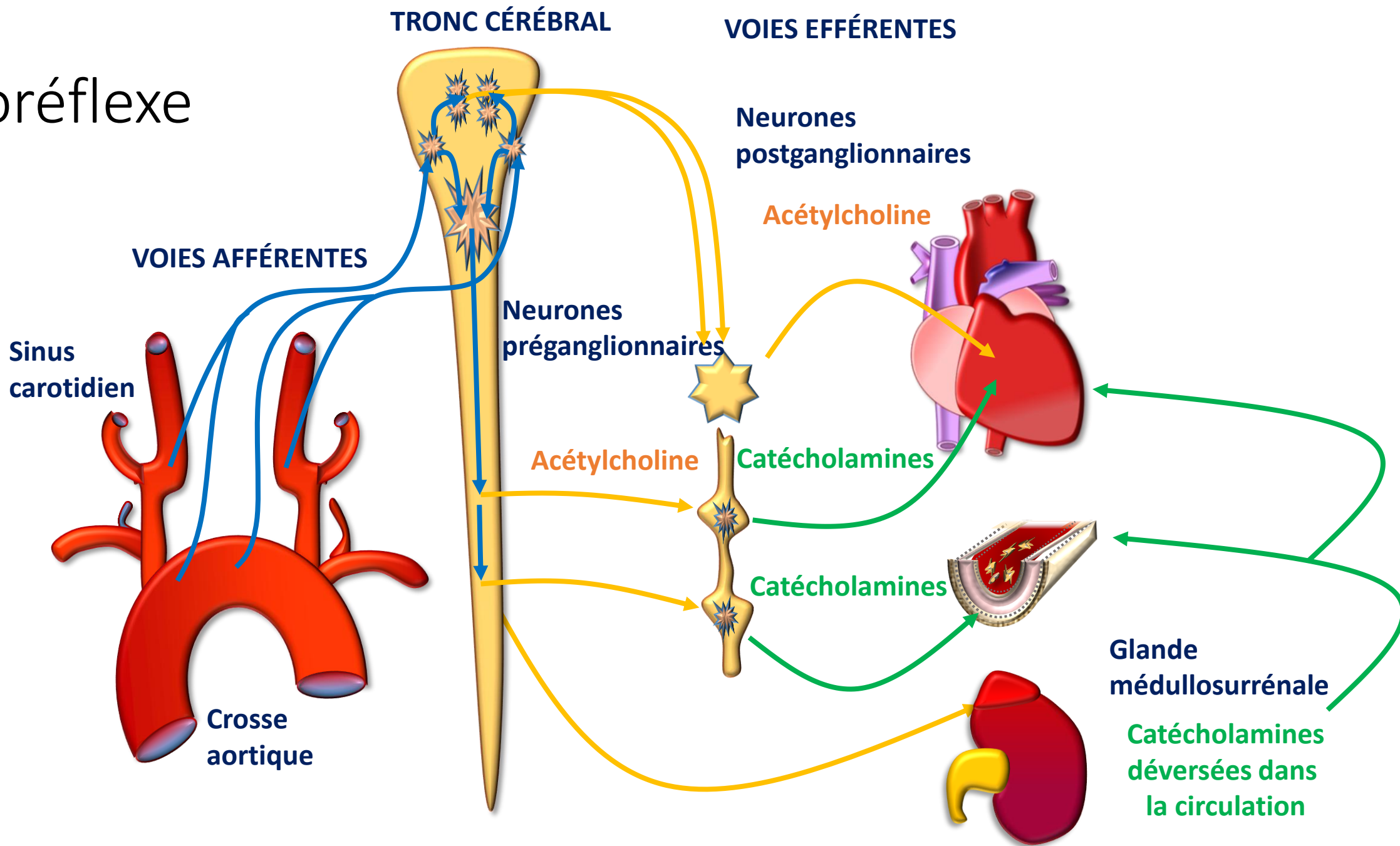
- Capteurs
  - Barorécepteurs artériels
  - Volorécepteurs cardiaques
- Effecteurs
  - Vasomotricité artériolaire
  - Contractilité cardiaque
  - Rein et volume sanguin (eau et sel = principaux composant du plasma)

# B. Barorécepteurs aortiques et carotidiens

→ proches du cerveau



# B. Baroréflexe

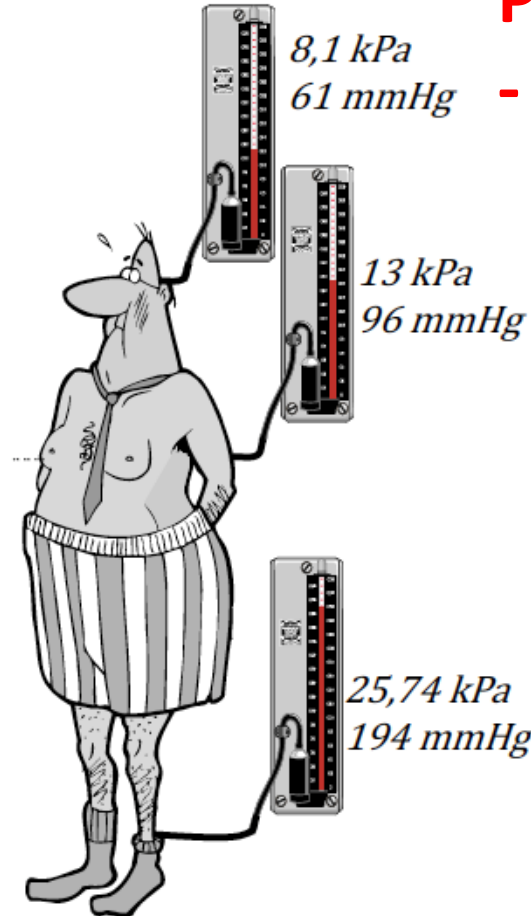
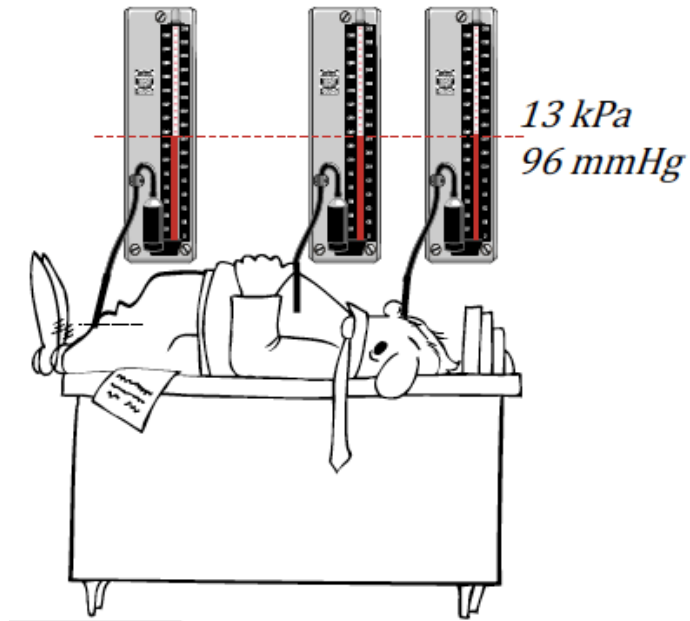


## B. Baroréflexe : protection contre les variations de pression artérielle

- Barorécepteurs proches du cerveau
- Action réflexe = rapide (plus rapide qu'hormonale)
- Effecteur cardiovasculaire (cœur + vaisseaux)

# B. Effets de la gravité sur la PAM

**PAM = P hémodynamique**



**PAM = P hémodynamique  
- P hydrostatique**

**PAM = P hémodynamique**

**PAM = P hémodynamique  
+ P hydrostatique**

# Plan

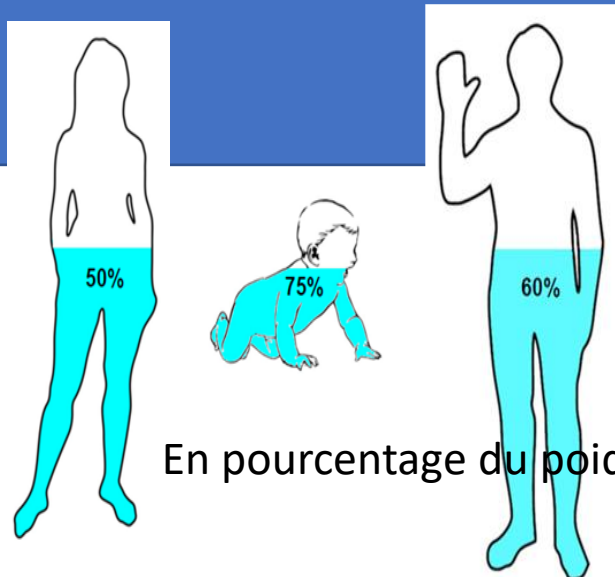
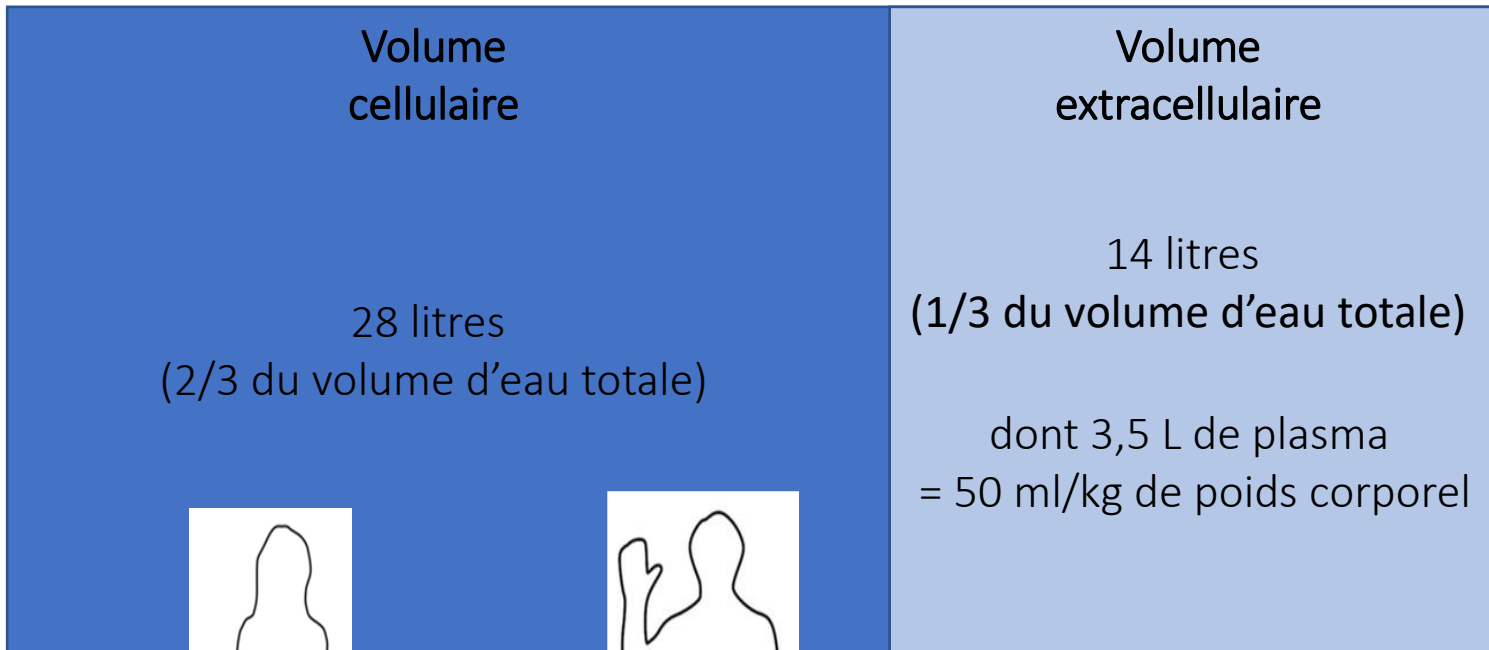
- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

# C. Maintient de la pression artérielle : volémie

- **Définition de la volémie**

- Volume de plasma dans les artères et les cavités cardiaques
- Volume de plasma perçu par les capteurs de pression et de volume

# C. L'eau et le sel (NaCl) sont les composants majoritaires du liquide interstitiel et du plasma



En pourcentage du poids du corps

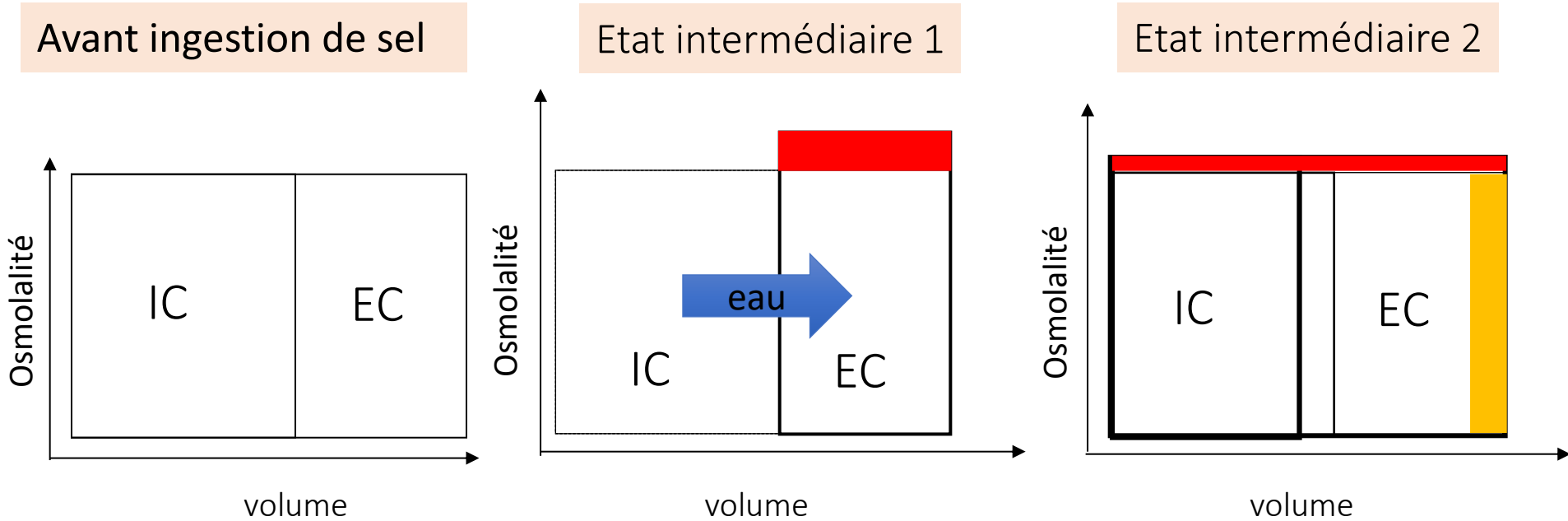
mmol/l	Liquide interstitiel	Plasma
Na <sup>+</sup>	144	140 ± 5
K <sup>+</sup>	4	4,0 ± 0,5
Ca <sup>++</sup> ionisé	1,5	1,25 ± 0,05
Mg <sup>++</sup> ionisé	1	0,90 ± 0,10
Cl <sup>-</sup>	114	100 ± 10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	29	24 ± 2
Phosphates	1,25	1,25 ± 0,25

**Capillaires**

## C. La quantité de sel dans le sang détermine la volémie

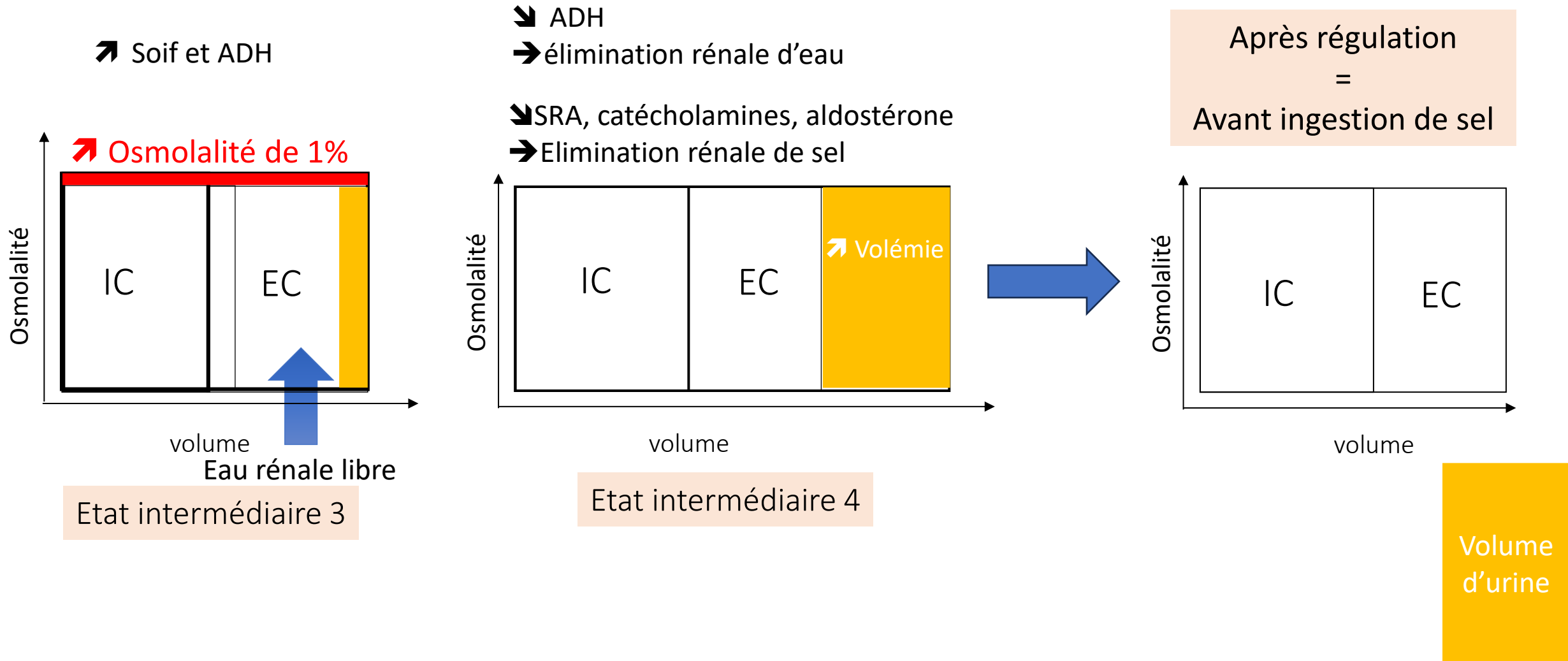
- En raison du contrôle puissant de l'osmolalité, toute variation du contenu en sel du sang se traduit par une variation de même sens de la volémie (volume de plasma).
- Ingestion de un jambon-fromage, un paquet de chips et quelques biscuits = 8,5 g de sel = 140 mmol de Na → + 1 litre de plasma

# C. Ingestion de sel (NaCl)

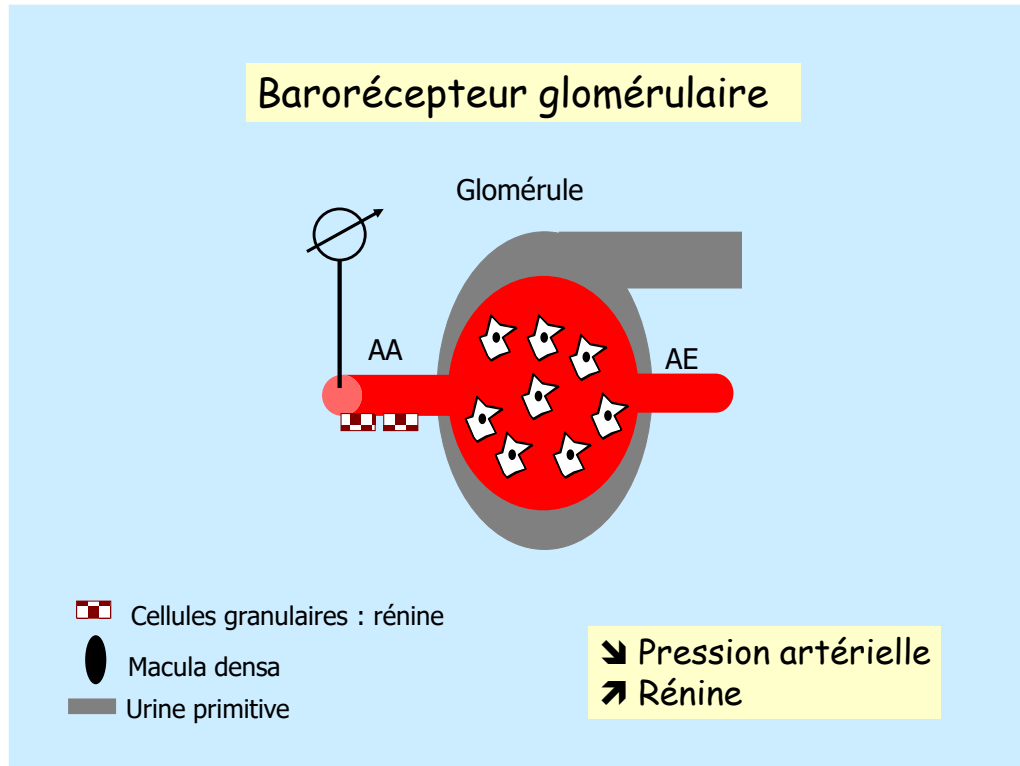


Absorption intestinale de sodium

# C. Ingestion de sel (NaCl)



# C. SRAA et sel (NaCl)



Angiotensinogène dans le sang (foie, tissu adipeux)

↓ Rénine (cellules granulaires rénales)

Angiotensine I

↓ Enzyme de conversion de l'angiotensine (endothélium)

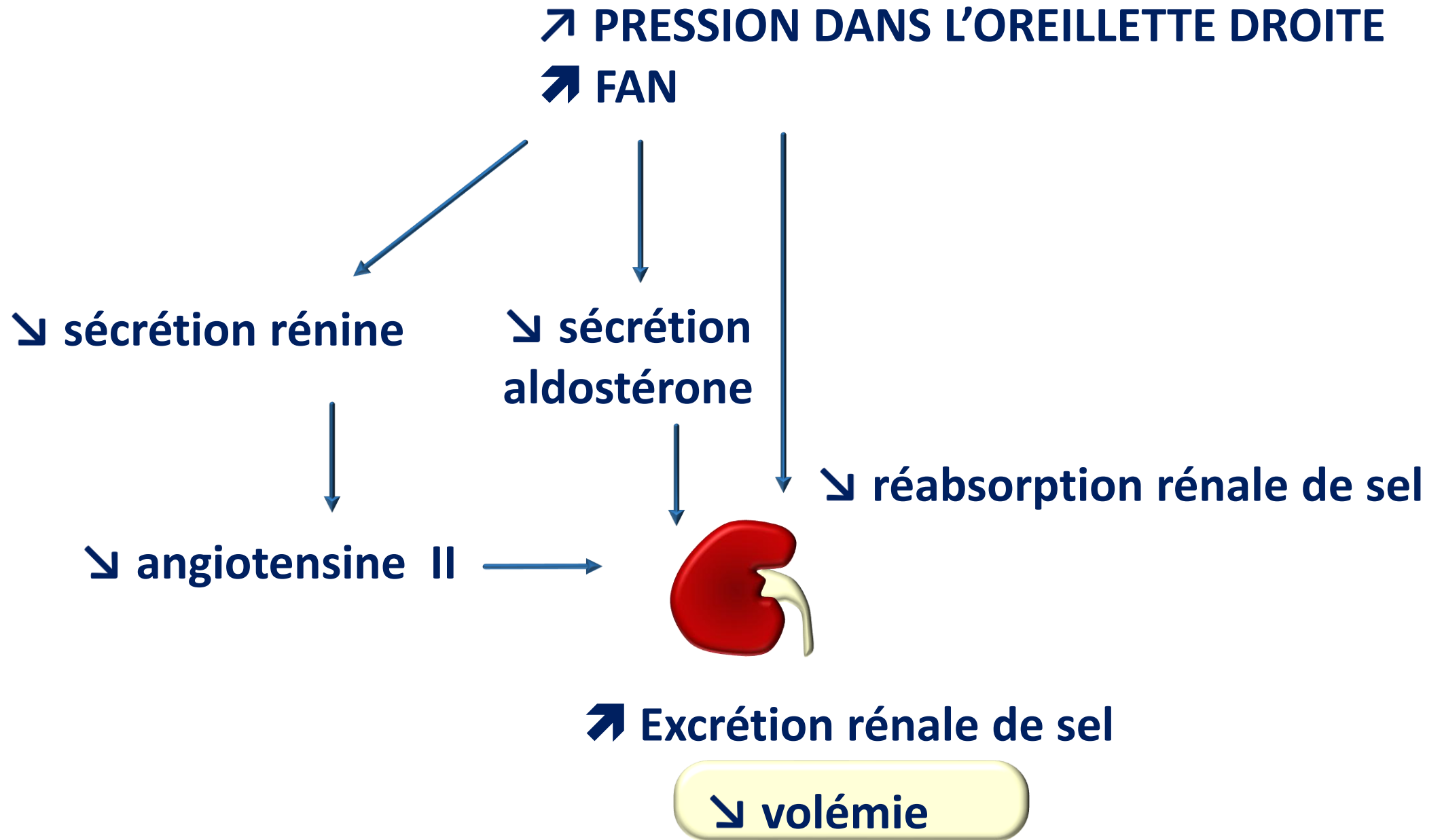
Angiotensine II

↓ Récepteurs de type 1  
**AT1R**

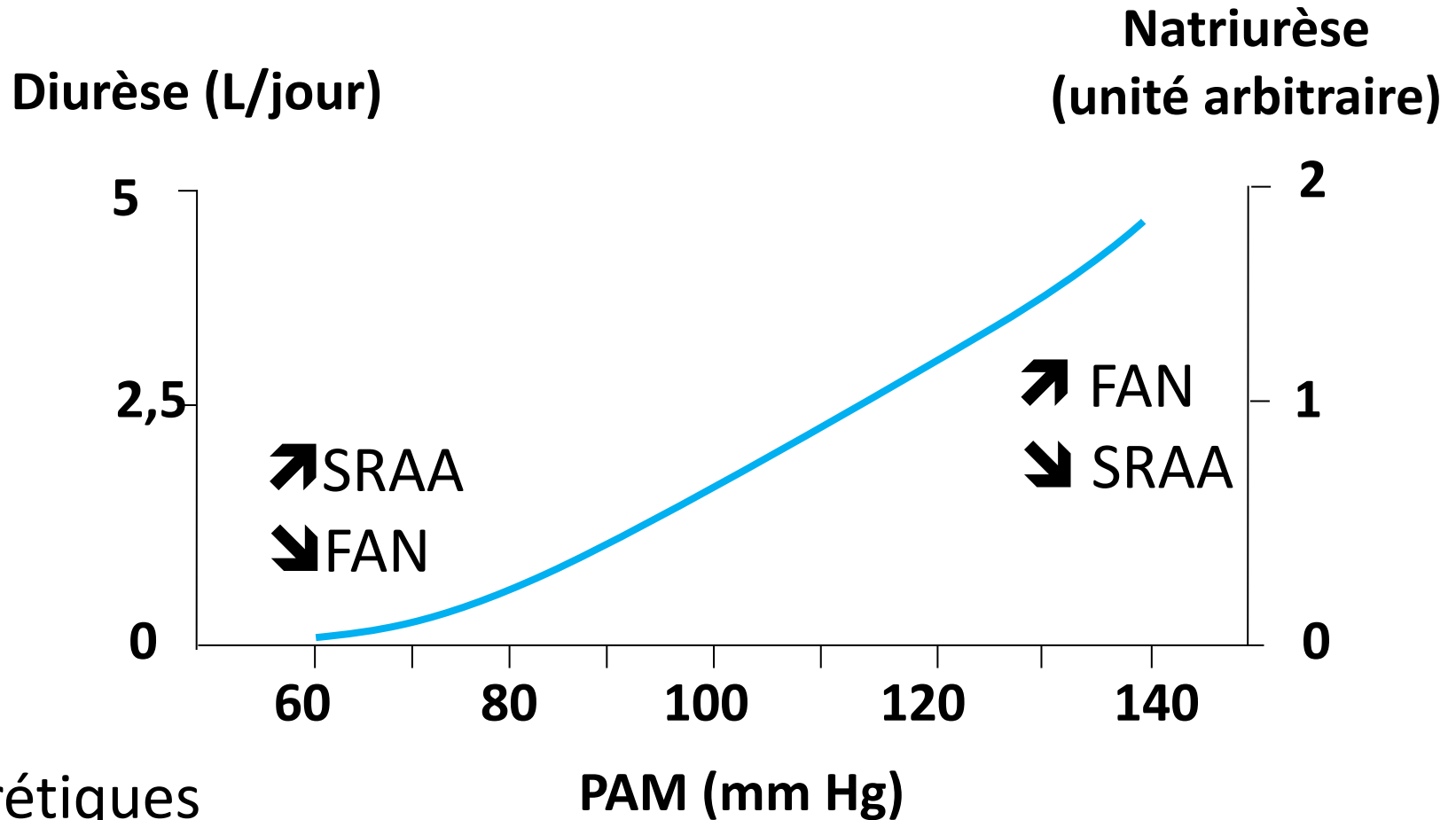
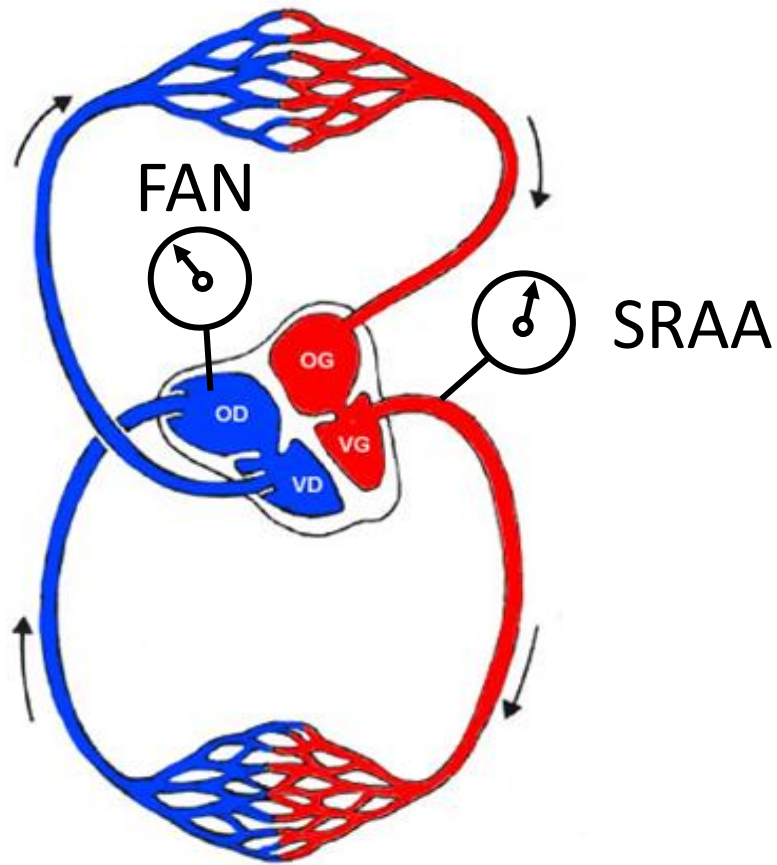
Reins → Réabsorption de NaCl ←

Glandes corticosurrénales → Production d'aldostérone

## C. FAN et sel (NaCl)



# C. La volémie est constante grâce aux hormones agissant sur les reins



FAN : facteurs atriaux natriurétiques

SRAA : système rénine-angiotensine-aldostérone

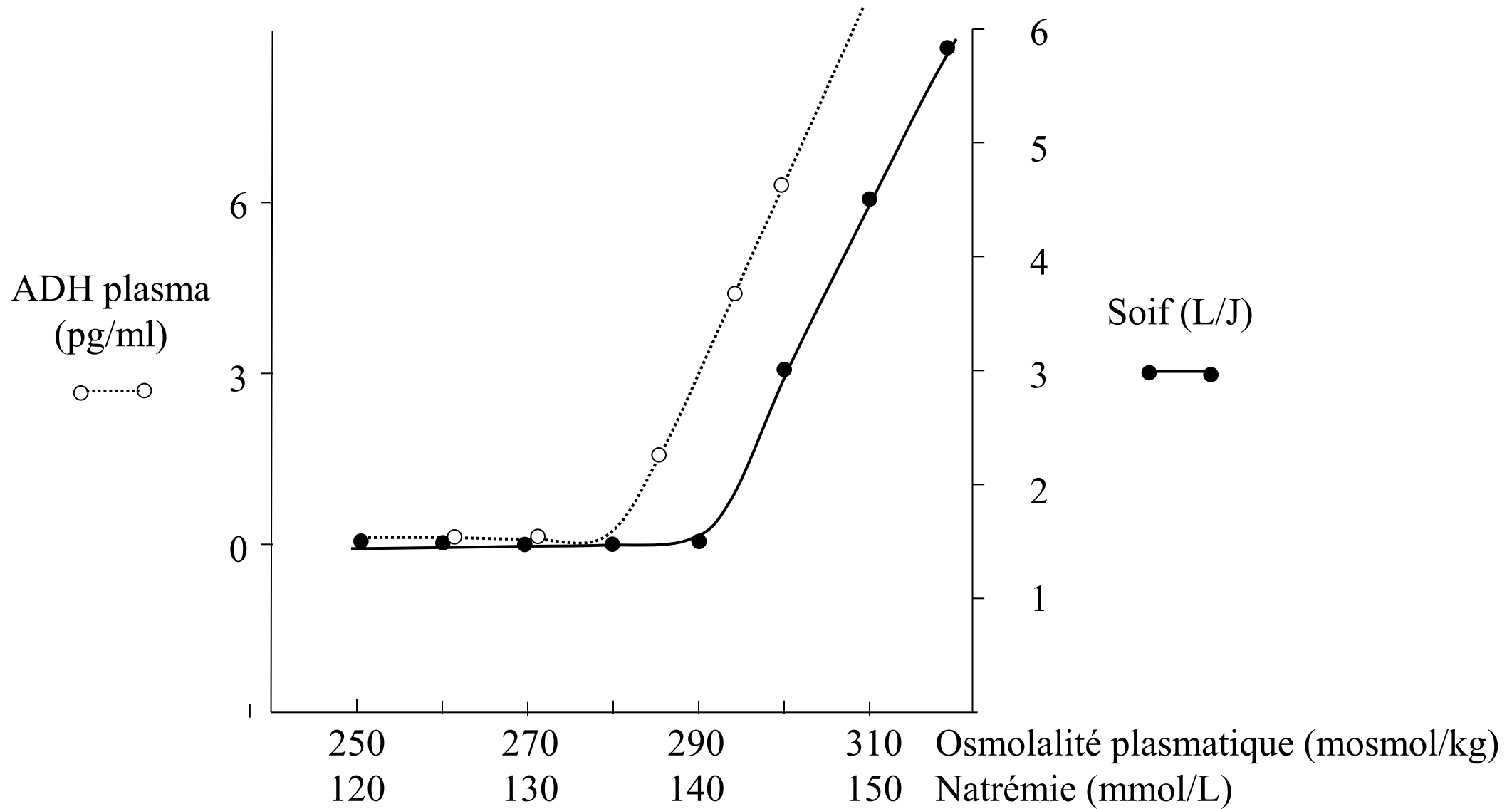
# Plan

- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

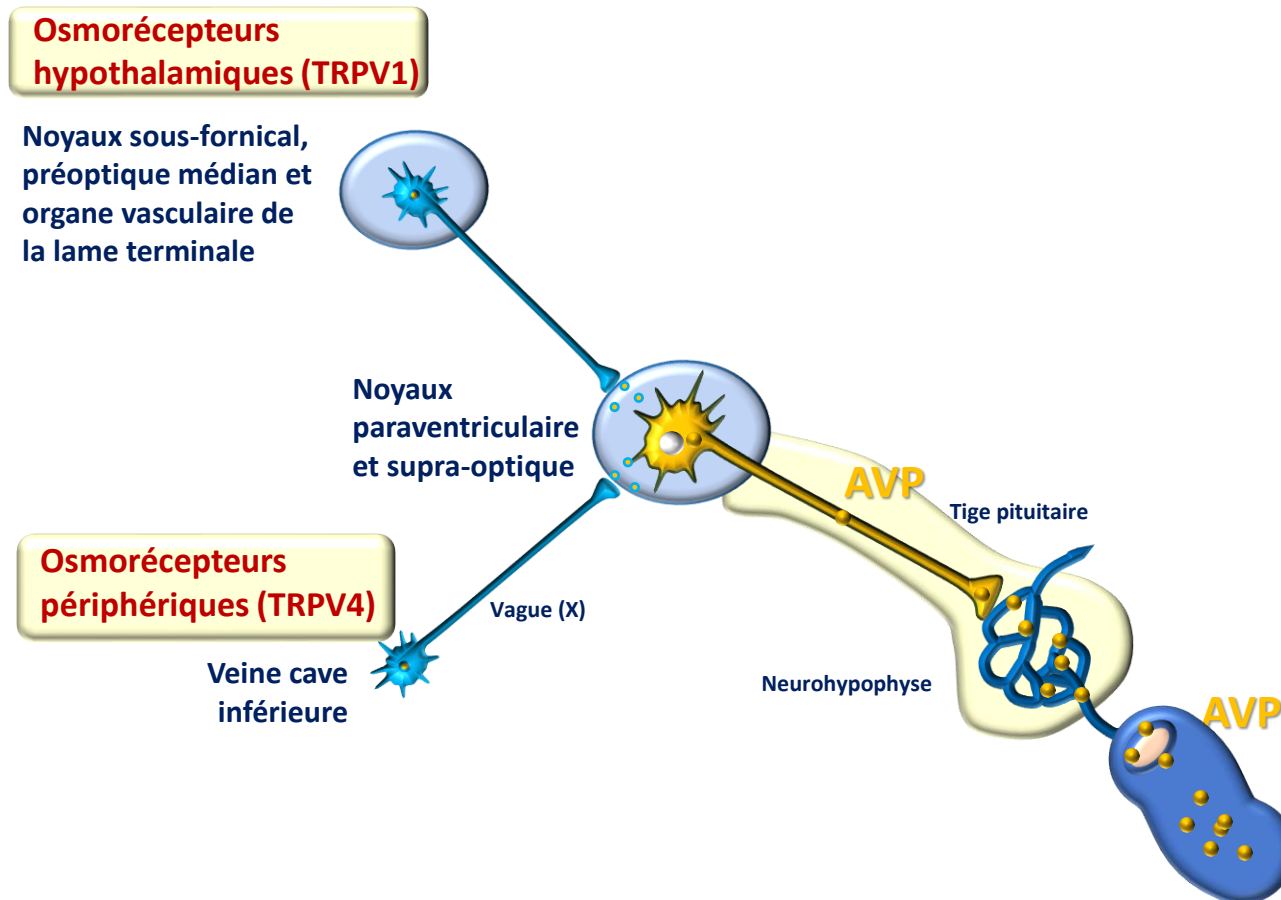
D. La concentration de sel dans le sang (natrémie) détermine le contenu en eau du sang

- La natrémie est le meilleur reflet de l'osmolalité
- Grande sensibilité de la sécrétion d'ADH aux variations de natrémie
- 1% de variation de natrémie = modification de la sécrétion d'ADH
- variation de natrémie = modification de la soif dans un deuxième temps

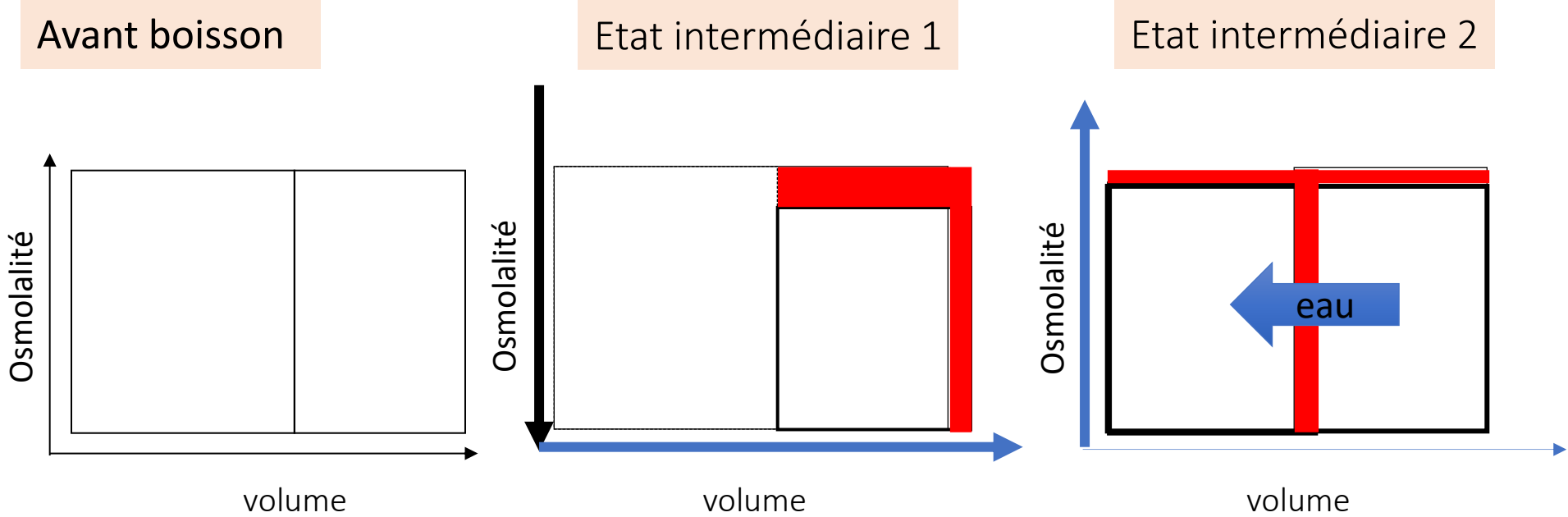
## D. Relation entre la soif et la sécrétion d'ADH



# D. La production d'hormone anti-diurétique et la sensation de soif dépendent de l'osmolalité plasmatique

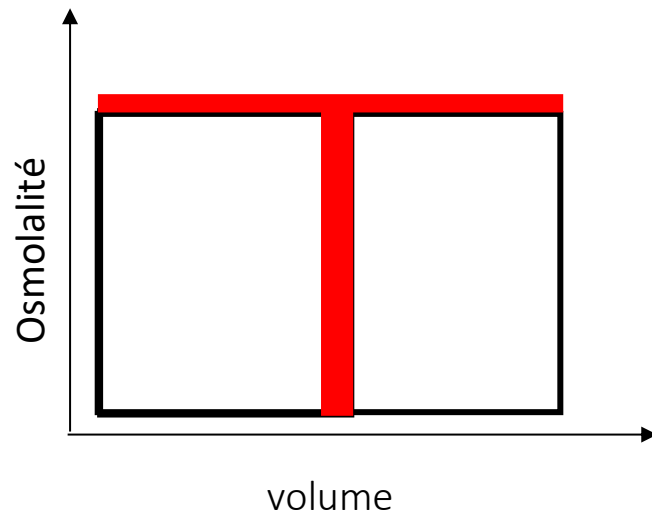


# D. Boisson (eau)



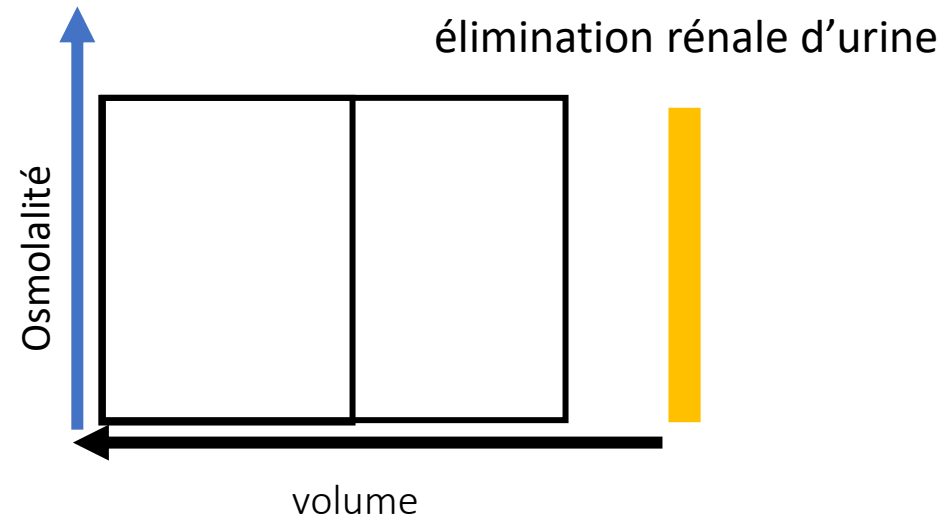
## D. Boisson (eau)

↘ Soif et ADH



Etat intermédiaire 3

Après régulation  
=  
Avant boisson



# D. L'osmolalité plasmatique (natrémie) est constante grâce à l'ADH agissant sur les reins

**Osmorécepteurs hypothalamiques (TRPV1)**

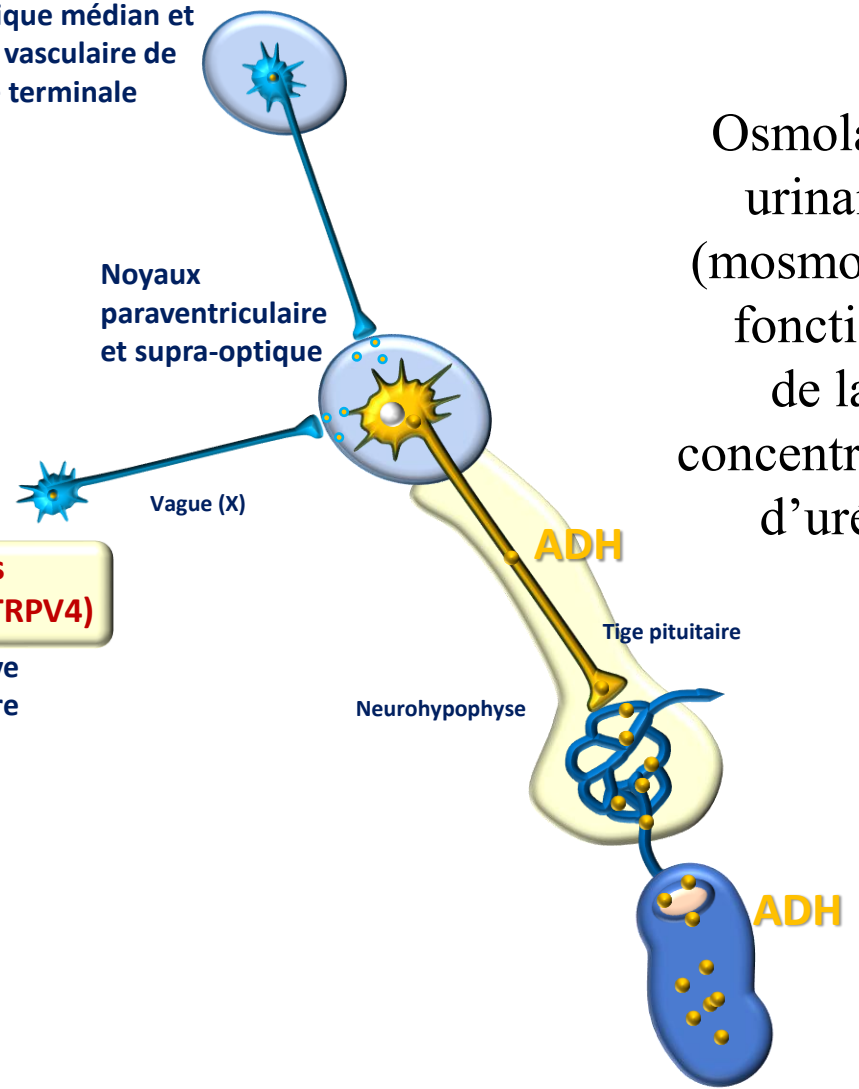
Noyaux sous-fornical, préoptique médian et organe vasculaire de la lame terminale

Noyaux paraventriculaire et supra-optique

Vague (X)

**Osmorécepteurs périphériques (TRPV4)**

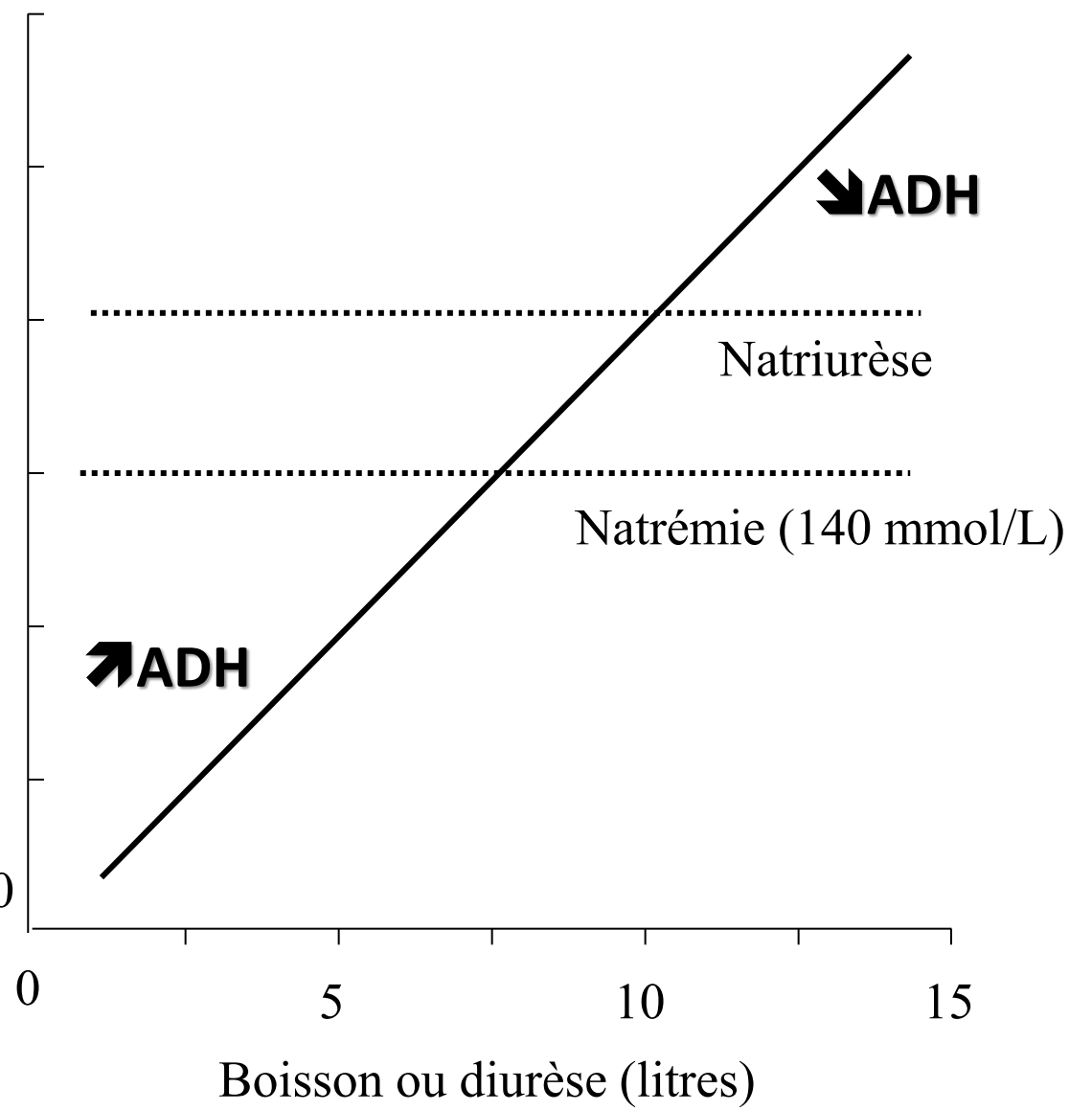
Veine cave inférieure



Osmolalité urinaire (mosmol/kg) fonction de la concentration d'urée

60

1200

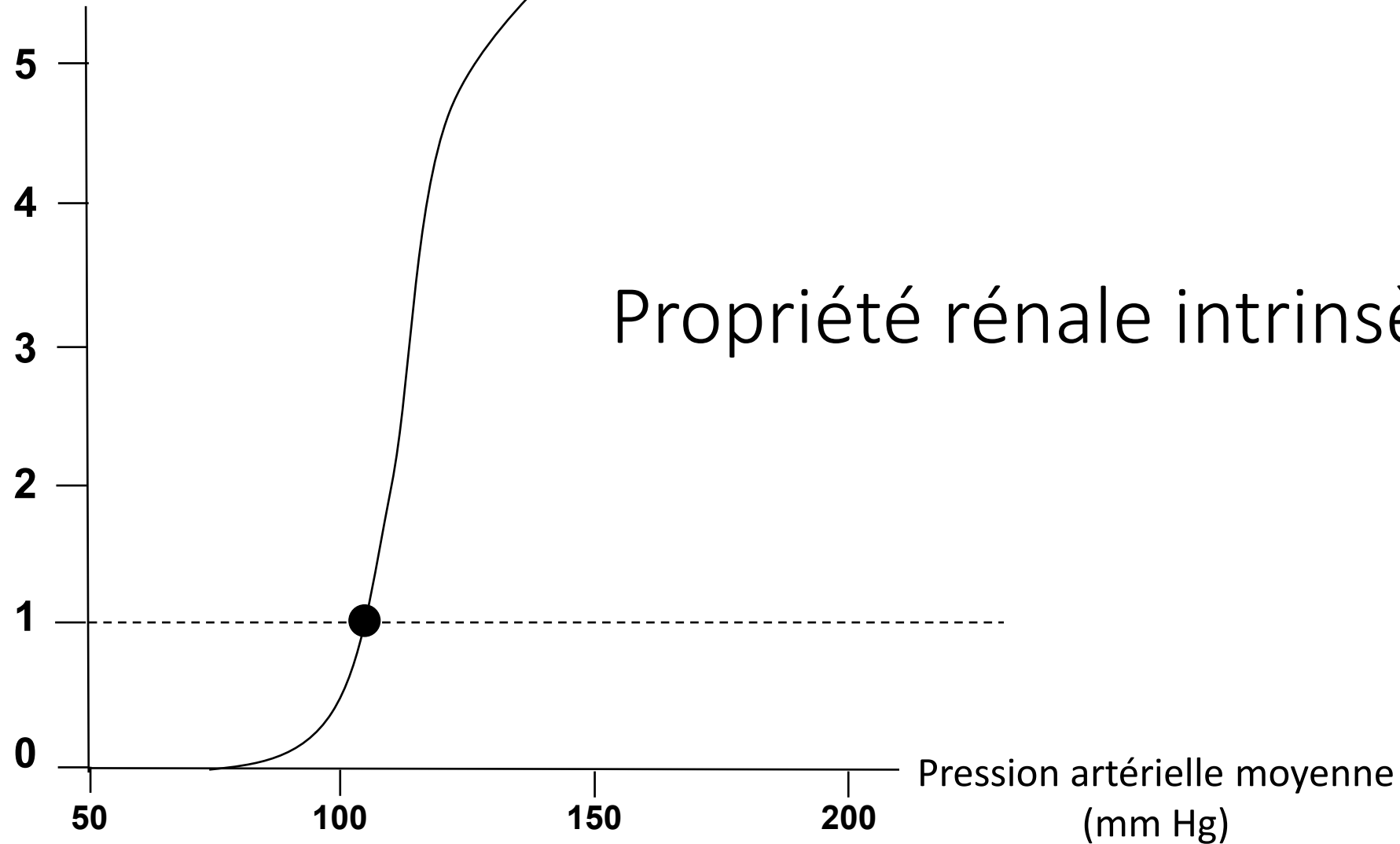


# Plan

- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

# E. Relation pression/natriurèse

Ingestion  
ou excrétion  
de sel et d'eau  
( x normale)



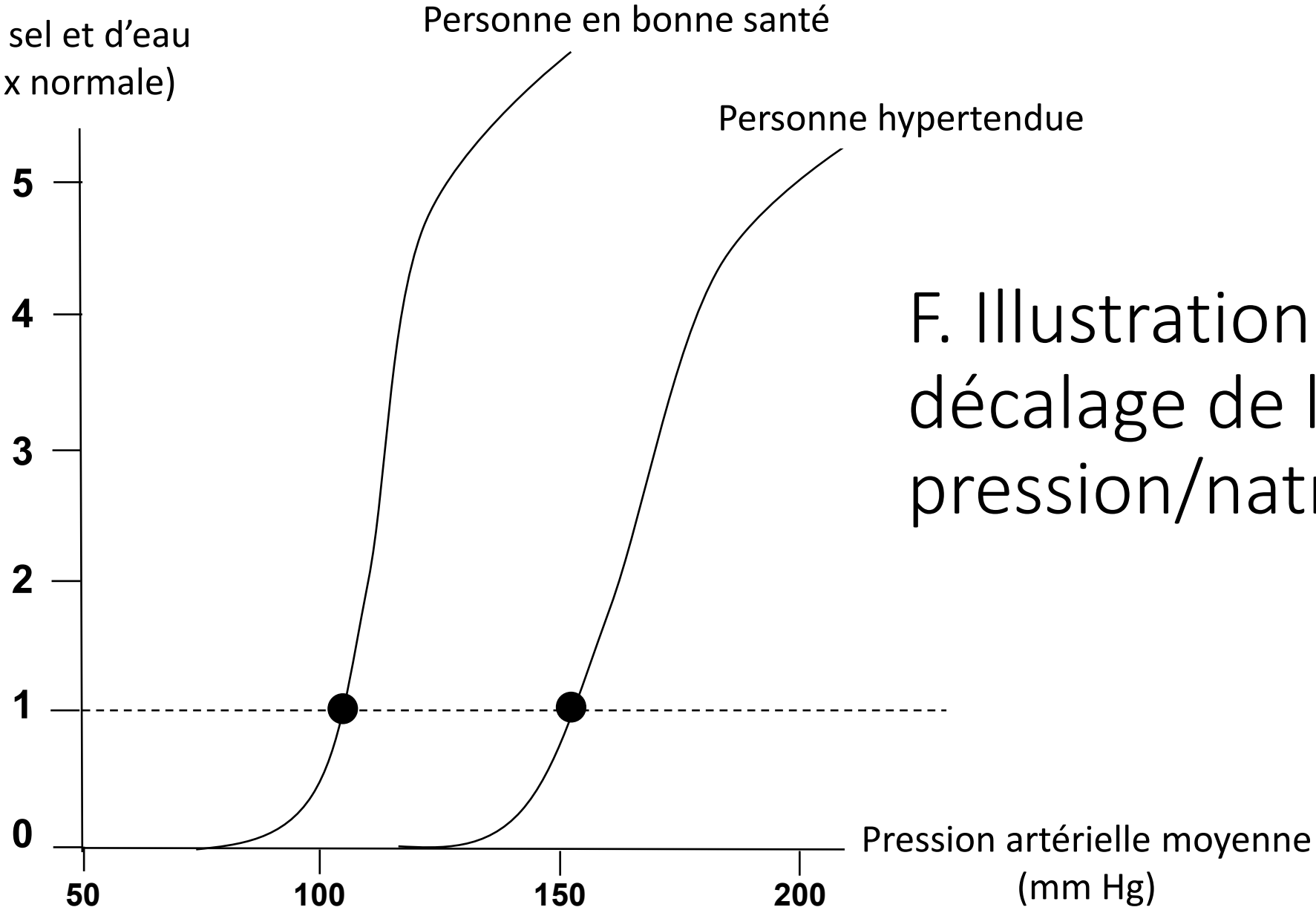
# Plan

- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

# F. Origines de l'hypertension artérielle essentielle

- Tous les mécanismes de maintien de la pression artérielle sont déréglés
  - Anomalie du baroréflexe
  - Anomalie de la volémie
  - Décalage de la relation pression / natriurèse vers les valeurs hautes
  - Artériolosclérose
  - ...
- Une forte consommation de sel pendant l'existence est un élément favorisant

Ingestion  
ou excrétion  
de sel et d'eau  
( x normale)



Personne hypertendue

F. Illustration du  
décalage de la relation  
pression/natriurèse

Pression artérielle moyenne  
(mm Hg)

# F. Illustration de l'artériolosclérose et de l'augmentation des résistances artériolaires

pression cinétique + pression de pesanteur + Pression latérale

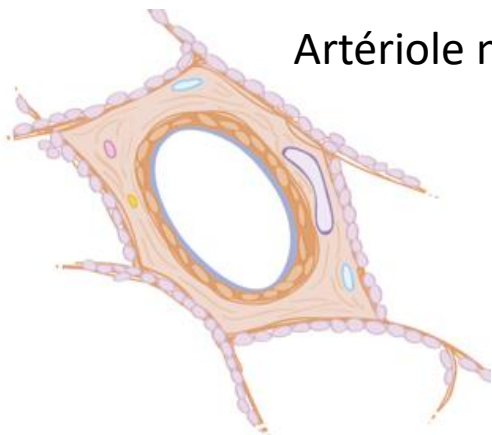
S'exerce dans le sens du vaisseau (longitudinal)

➔ Force de cisaillement

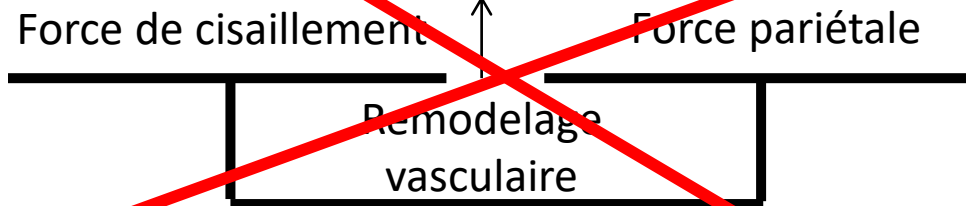
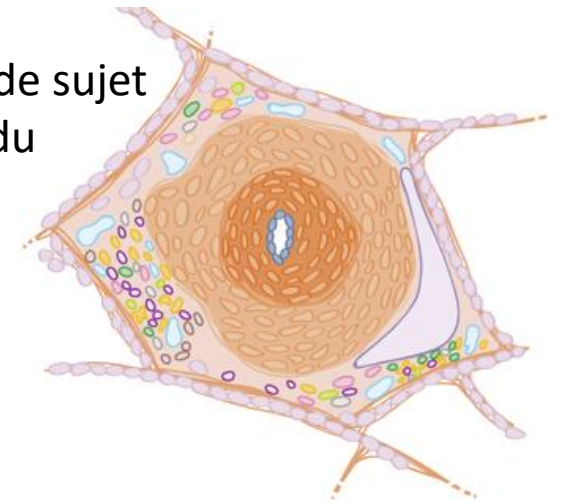
S'exerce sur la paroi du vaisseau (transversal)

➔ Force pariétale

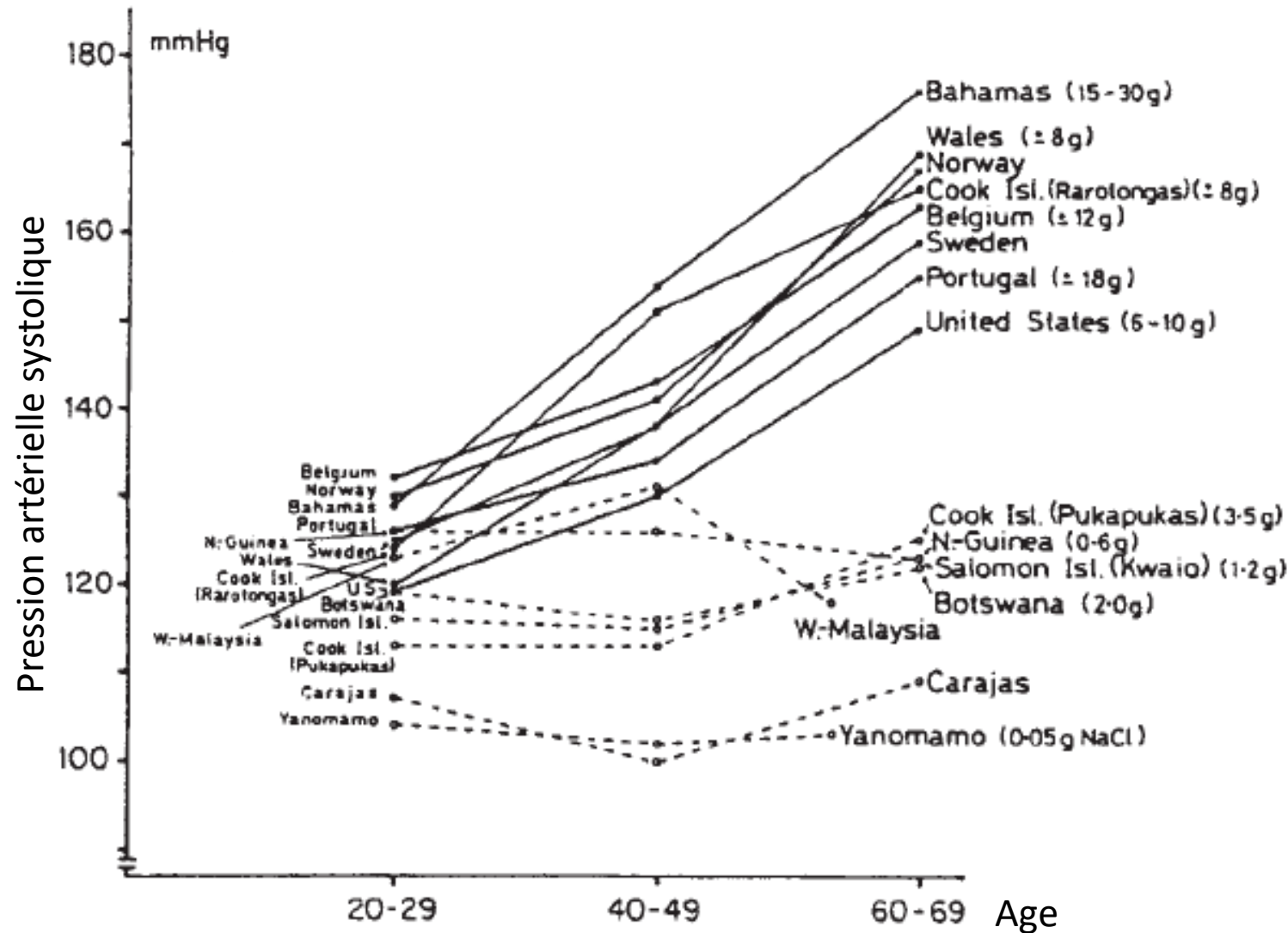
Artériole normale



Artériole de sujet hypertendu



# F. Illustration de l'effet de la consommation de sel sur la pression artérielle



ETUDE INTERSALT, 1988

Nombre de participants = 10079

## F. Comment manger moins de sel ?

Aspect culturel

Sel = salaire = saveur



Education

Aspect agro-alimentaire

Sel = conservateur



Comité consultatif national  
Recommandations de l'OMS

# F. Agence française de sécurité sanitaire alimentaire (AFSSA)

devenue ANSES en 2010

Création en 1999 (affaire de la « vache folle »)

Rôle consultatif

Programme national nutrition santé depuis 2001

Recommandations pour l'industrie en 2002 : ↘ 30% sur 5 ans

En 2025 : ↘ 25% sur le pain et pas beaucoup d'effet sur les produits transformés

## F. Recommandations de l'OMS

- Moins de 5 grammes de sel par jour chez l'adulte
- En France entre 8 et 10 grammes par jour en pratique

## F. Les facteurs favorisant l'HTA

- Diabète
- Obésité
- Tabagisme
- Dyslipidémie
- Sédentarité
- Excès d'apport en sel

## F. Auto-aggravation de l'HTA

- Déséquilibre entre pression latérale et pression longitudinale
- Remodelage pathologique des parois vasculaires
- Artériolosclérose : épaissement pariétal et réduction luminale
- Augmentation des résistances

# F. Conséquences de l'HTA

**Raréfaction capillaire en aval des artérioles malades : ischémie d'organe**

Cœur : infarctus du myocarde, insuffisance cardiaque

Cerveau : AVC, démence vasculaire

Reins: néphroangiosclérose, insuffisance rénale

Artères des membres inférieurs : artériopathie oblitérante des membres inférieurs et amputation

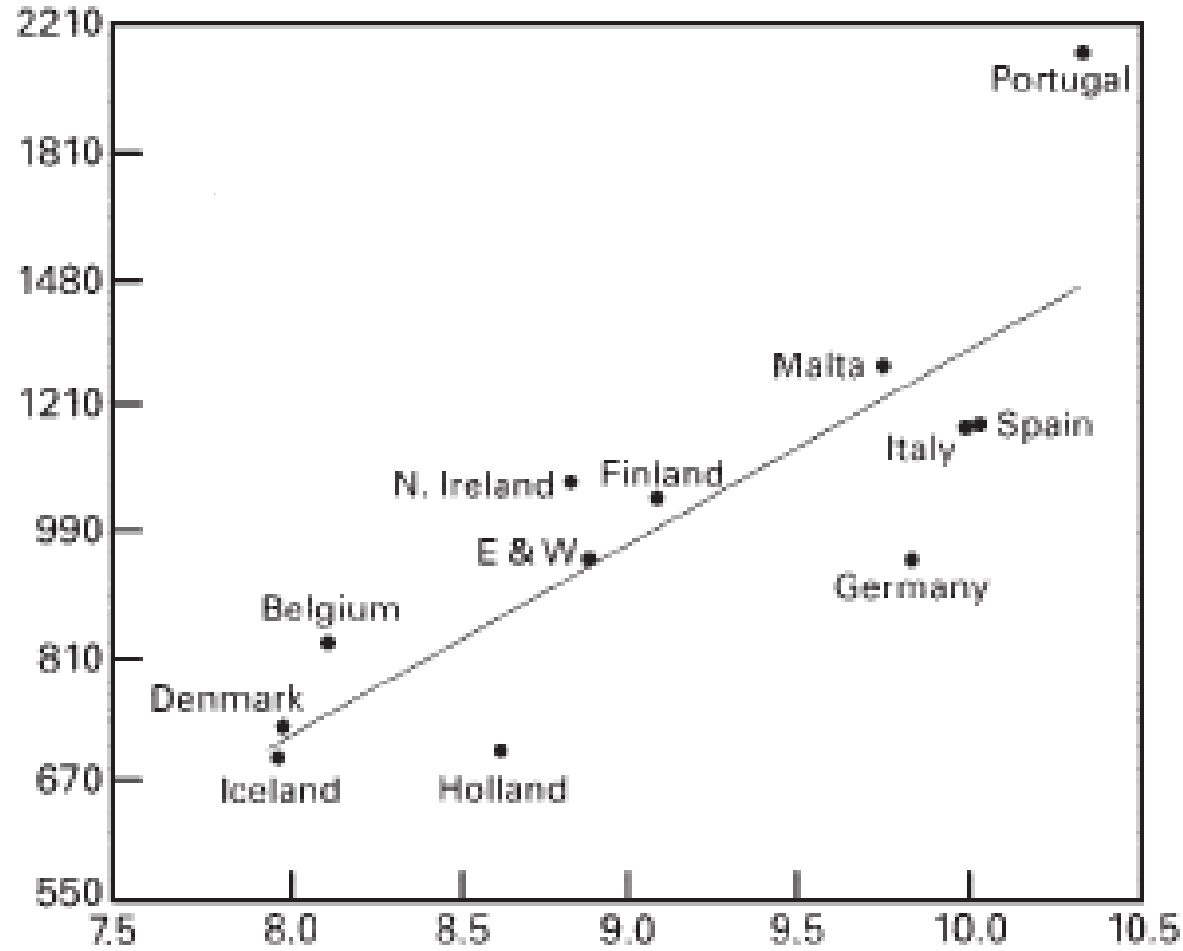
Artères digestives...

## F. Organes cibles de l'HTA

- Cœur, cerveau et rein
- Organes proches du cœur
- Pression artérielle moins amortie par des artères courtes
- Effet prédominant de l'HTA dans ces organes
- Artériolosclérose accélérée dans les artérioles de ces organes

# F. Mortalité par accident vasculaire cérébral

Mortalité par AVC pour 100.00 personnes et par an



ETUDE INTERSALT, 1988

Nombre de participants = 10079

F. La baisse de la pression artérielle réduit la morbidité et la mortalité cardiovasculaires

Cardiopathie ischémique

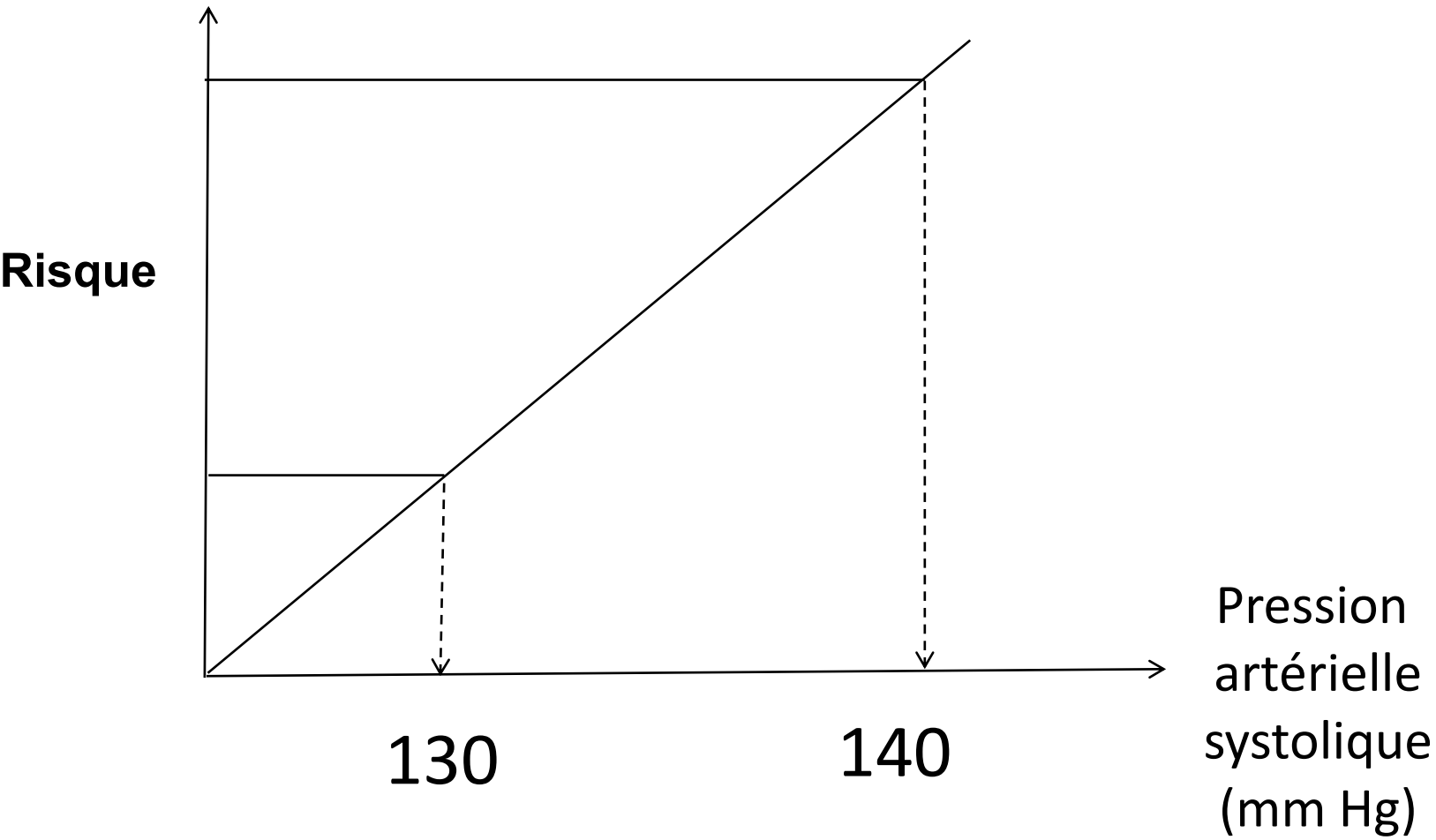
Insuffisance cardiaque

-20 à -30 %

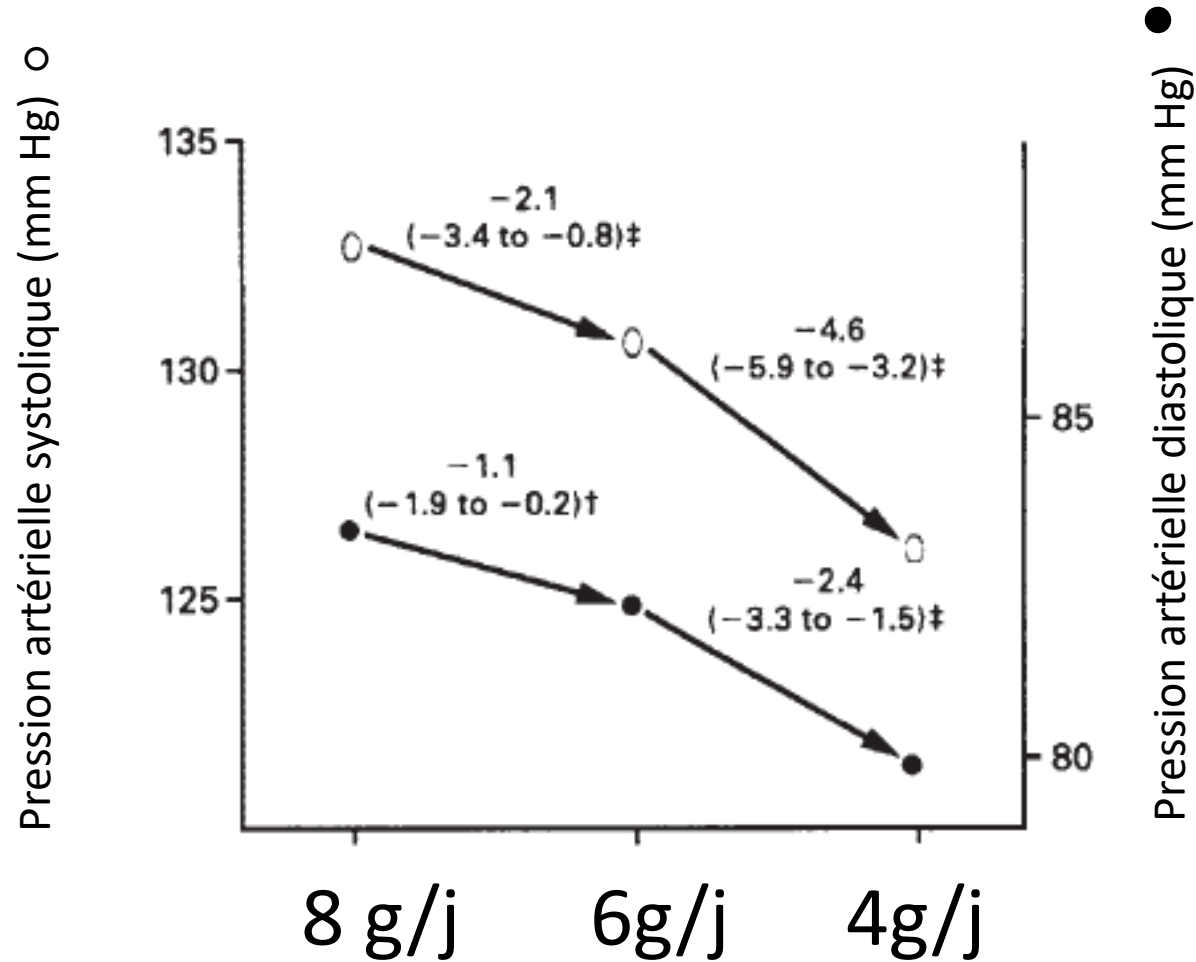
Insuffisance rénale

Accident vasculaire cérébral  
et démence vasculaire

# F. Quelle valeur cible de pression artérielle pour le traitement ?



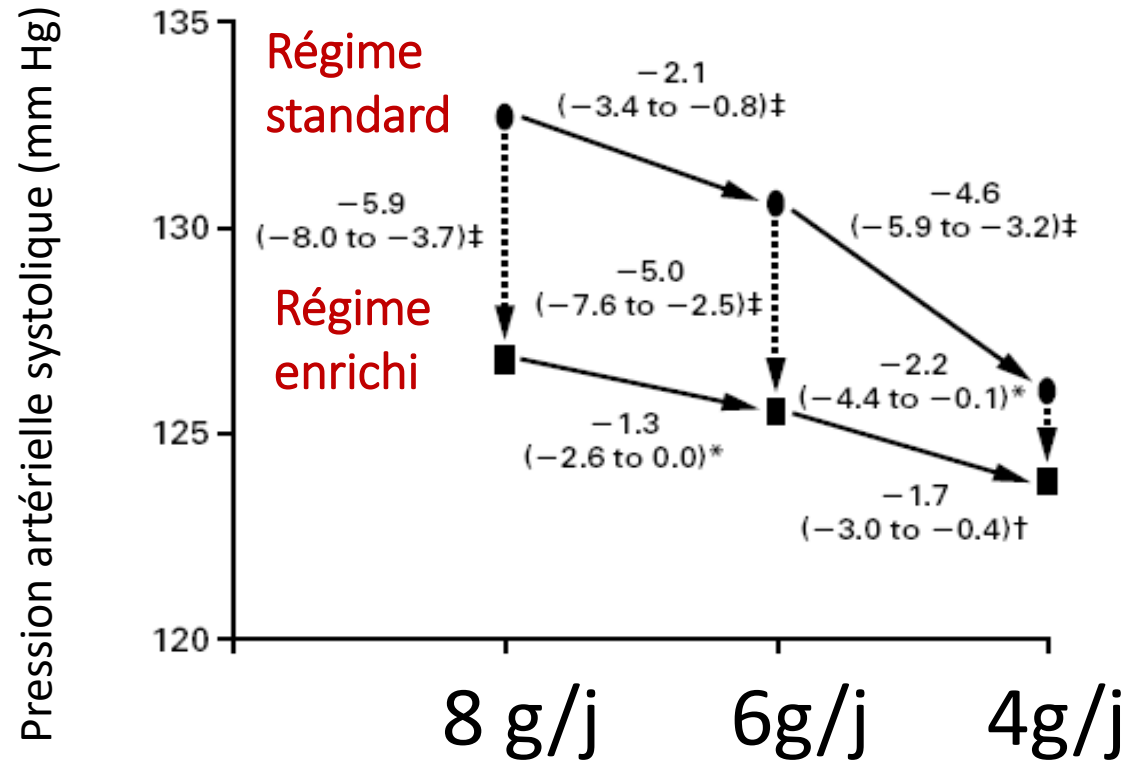
# F. Effet de la réduction des apports sodés sur la pression artérielle de personnes hypertendues



Nombre de participants = 204

Etude DASH study (dietary approach to stop HTA), 2001

# F. Effet de la réduction des apports sodés et de l'augmentation des Apports en fruits et légumes sur la pression artérielle de personnes hypertendues



Nombre de participants = 204

# Pour résumer

- L'HTA est une maladie fréquente
- Elle est associée aux évènements cardiovasculaires graves
- Le risque cardiovasculaire est **REVERSIBLE** en traitant l'HTA
- Sujet de santé publique
- Sujet au croisement de la médecine et des mesures sociétales

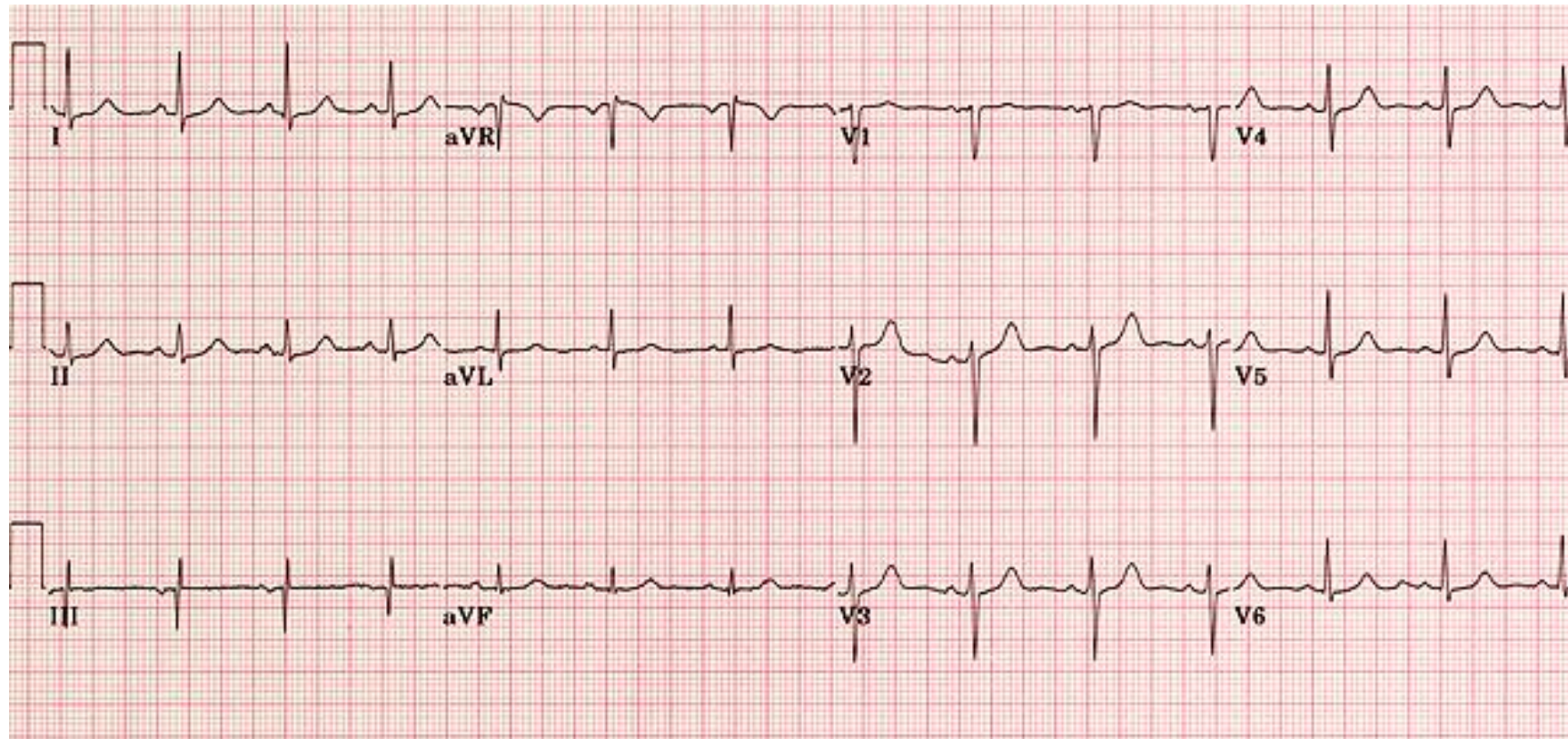
# Plan

- A. Généralités
- B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires
- C. Régulation de la pression artérielle : volémie
- D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique
- E. Régulation de la pression artérielle : relation pression-natriurèse
- F. Approche de l'hypertension artérielle
- G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

# Cas clinique

- Un homme de 60 ans est admis aux urgences pour douleur thoracique constrictive irradiant dans la mâchoire et le bras gauche après un repas.
  - Antécédents : tabagisme, hypertension artérielle, hypercholestérolémie, diabète
  - Interrogatoire: dyspnée et douleurs thoraciques intermittentes à l'effort depuis une semaine
- Sur le plan clinique:
  - Pression artérielle brachiale systolique à 160 mmHg pour une diastolique à 100 mmHg

# Electrocardiogramme normal



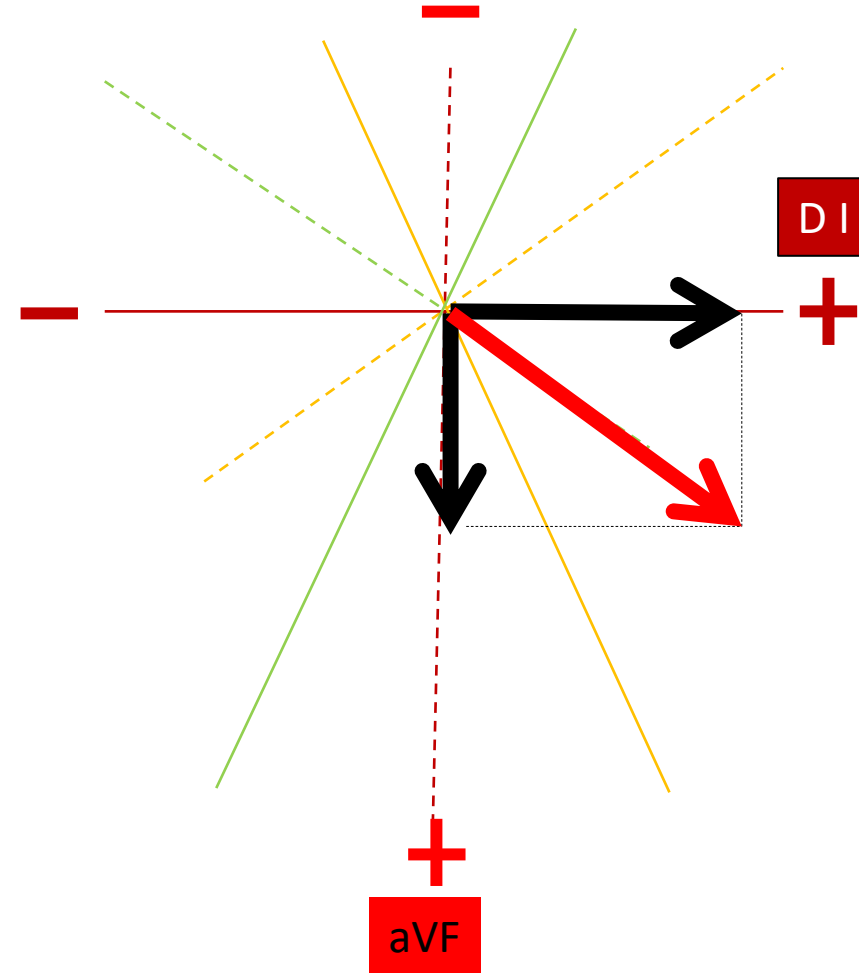
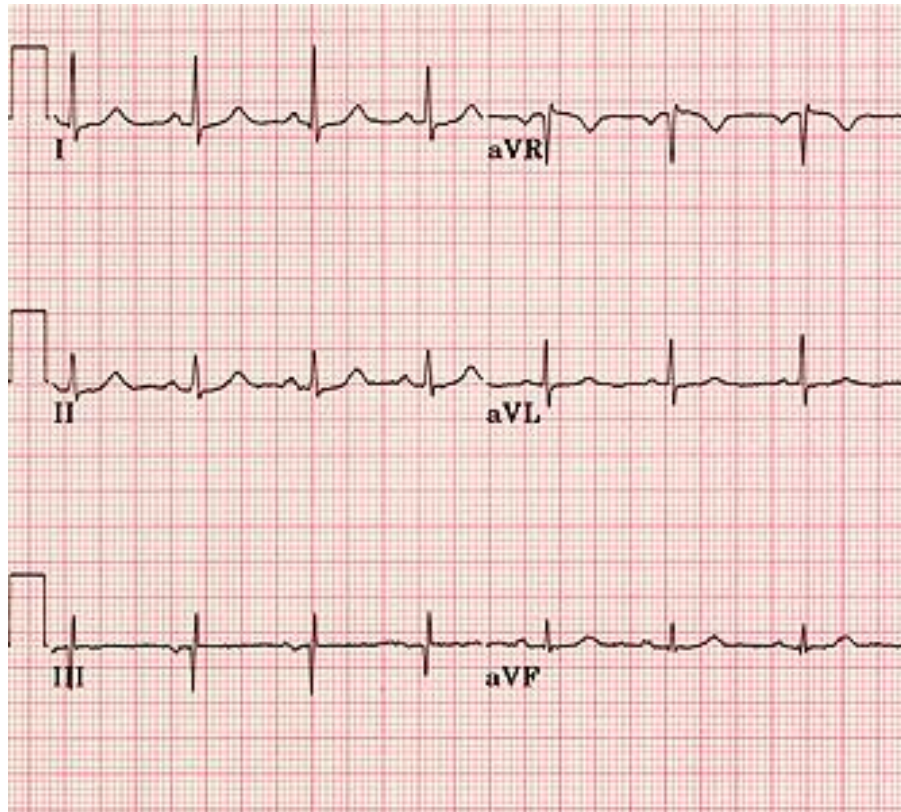
# QCM 1

Le centre électrique du cœur correspond à la définition suivante :

- A/ position de la 3<sup>e</sup> électrode précordiale ;
- B/ extrémité du ventricule gauche ;
- C/ centre géométrique du triangle formé par les 3 dérivationes décrites par Einthoven;
- D/ l'axe de projection de D1;
- E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : C

# Axe électrique normal du cœur



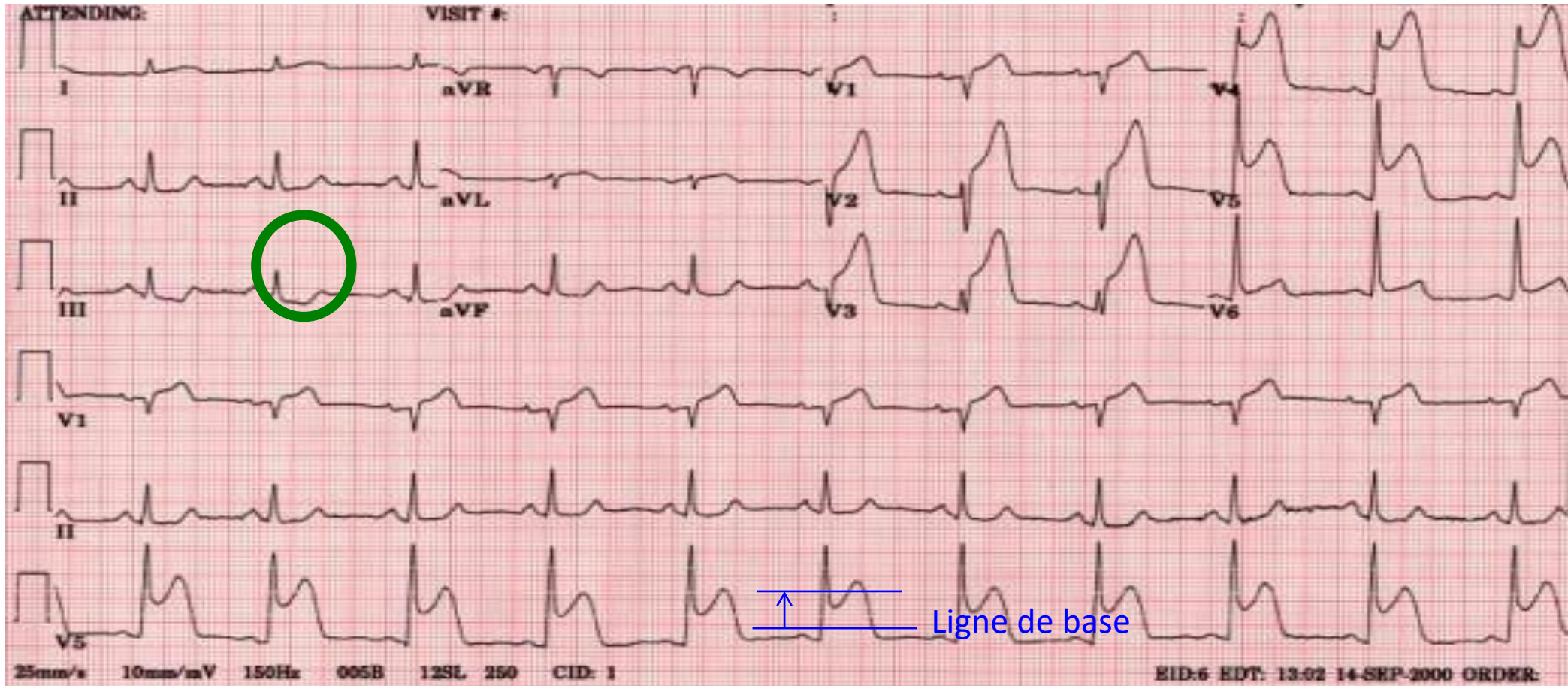
# QCM

L'électrocardiogramme de votre patient permet de savoir quelle artère coronaire est oblitérée en cas d'infarctus parce que :

- A/ les règles d'Einthoven le prédisent ;
- B/ les études anatomo-cliniques ont établi des correspondances ;
- C/ les artères coronaires se bouchent l'une après l'autre ;
- D/ la zone infarctée continue de produire un potentiel d'action ;
- E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : B

# Infarctus antérieur étendu en phase aiguë



Sus-décalage du segment ST en antérieur étendu

Miroir (sous-décalage ST en inférieur)

## QCM 2

Sur cet électrocardiogramme, vous diagnostiquez une occlusion de :

A/ l'artère circonflexe;

B/ de l'artère coronaire droite;

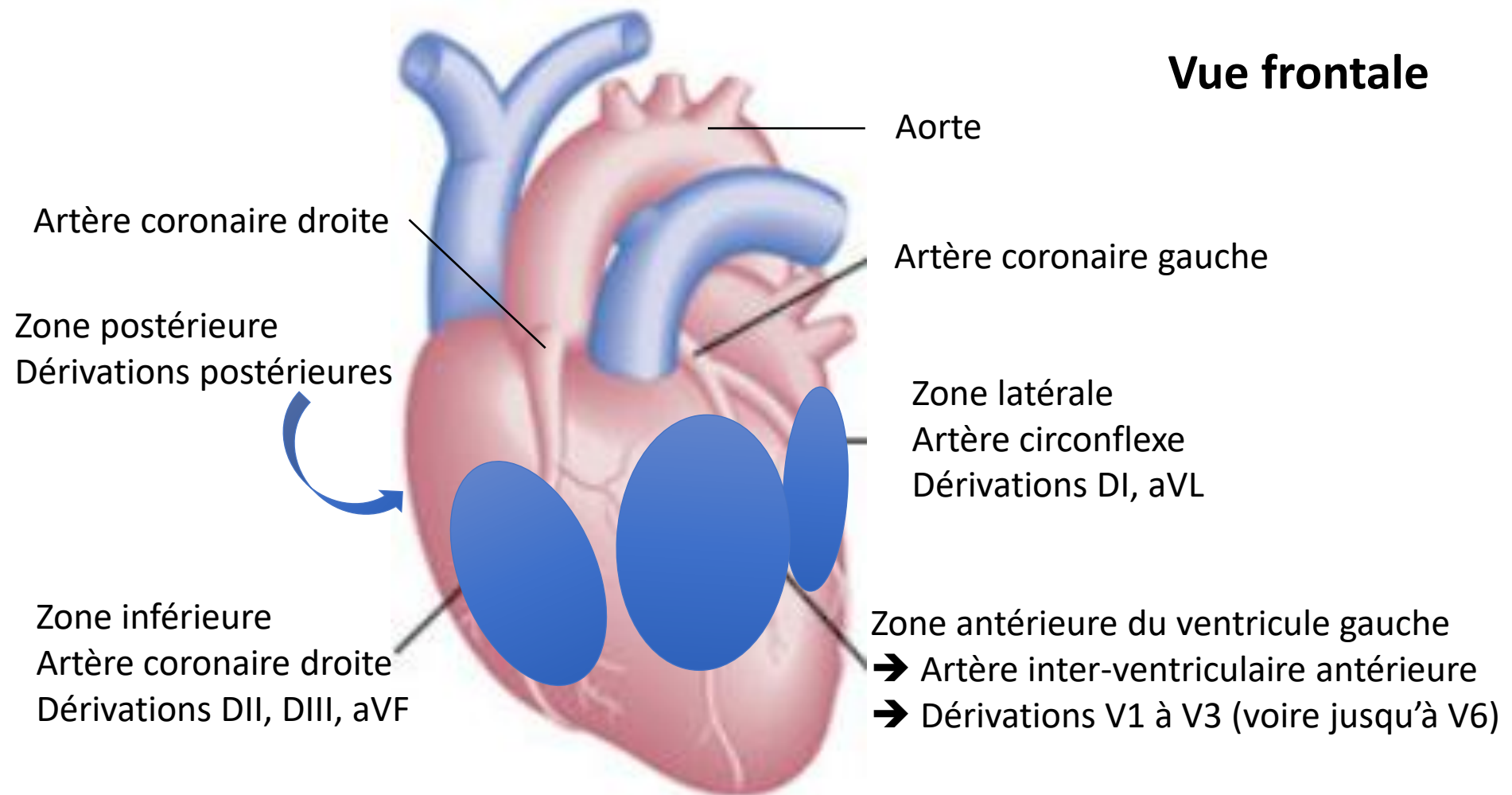
C/ de l'artère ventriculaire postérieure ;

D/ de l'artère inter-ventriculaire antérieure ;

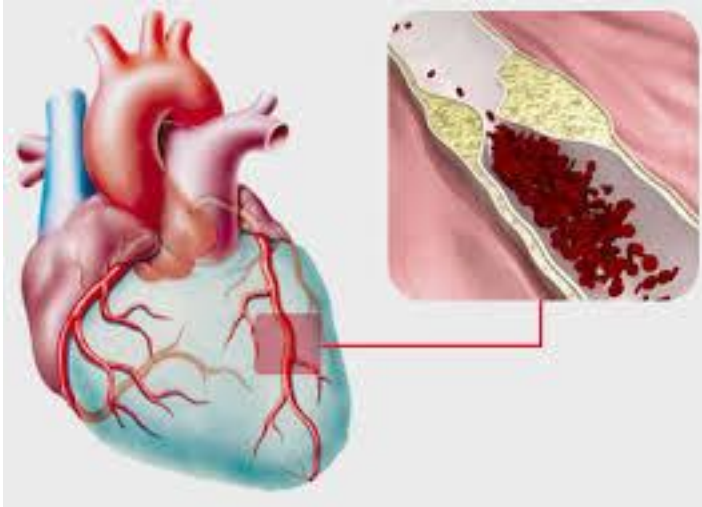
E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : D

# Dérivations ECG et territoires myocardiques



# Infarctus du myocarde



- Infarctus du myocarde
  - Obstruction d'une artériole coronaire
  - Déséquilibre entre les besoins des cellulaires myocardiques et les apports
  - Hypoxie -> souffrance cellulaire = ischémie
  - Si ischémie > 6h = nécrose tissulaire = infarctus = baisse de la performance ventriculaire

Conséquence possible d'un IDM = Insuffisance cardiaque

# Chez ce patient insuffisant cardiaque, quelques années plus tard...

- Apparition d'œdèmes des membres inférieurs et de dyspnée quelques jours après une consommation d'huîtres
- Pression artérielle : 90 / 60 mmHg
- Fc 110 bpm
- Impossibilité de respirer en position allongée (dort assis sur un fauteuil)
- œdèmes des membres inférieurs



# Interprétation des paramètres hémodynamiques

- Loi de Poiseuille :  $\Delta P = Q \times R$
- $\Delta P = PAM$  (basse : 70 mm Hg)
- PAM abaissée en permanence =  $Q \times R$  abaissés en permanence
- $Q = Fc \times \text{Volume d'éjection ventriculaire gauche}$
- Insuffisance cardiaque gauche =  $\blacktriangledown$  Volume d'éjection ventriculaire gauche

# INFO



Chez ce patient, les huîtres favorisent l'apparition des œdèmes parce que :

les huîtres contiennent de l'eau et du sel;

la volémie augmente rapidement suite à la consommation d'huîtres ;

# QCM 4

Chez ce patient, les œdèmes se forment par :

- A/ l'augmentation de la pression sanguine dans les capillaires ;
- B/ l'augmentation de la pression oncotique dans les capillaires ;
- C/ la baisse du coefficient de perméabilité hydraulique des capillaires ;
- D/ l'augmentation de la volémie ;
- E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : A, D

# Applications de la relation de Starling en clinique

c = capillaire

i = interstitiel

P = pression sanguine

$\pi$  = pression oncotique

$P_c \nearrow$  dans  
l'insuffisance  
cardiaque

Différence de pression sanguine

Différence de  
pression oncotique

$$\text{Débit d'ultrafiltration} = K[(P_c - P_i) - \sigma(\pi_c - \pi_i)]$$

Coefficient de  
perméabilité hydraulique

Coefficient de  
réflexion protéique

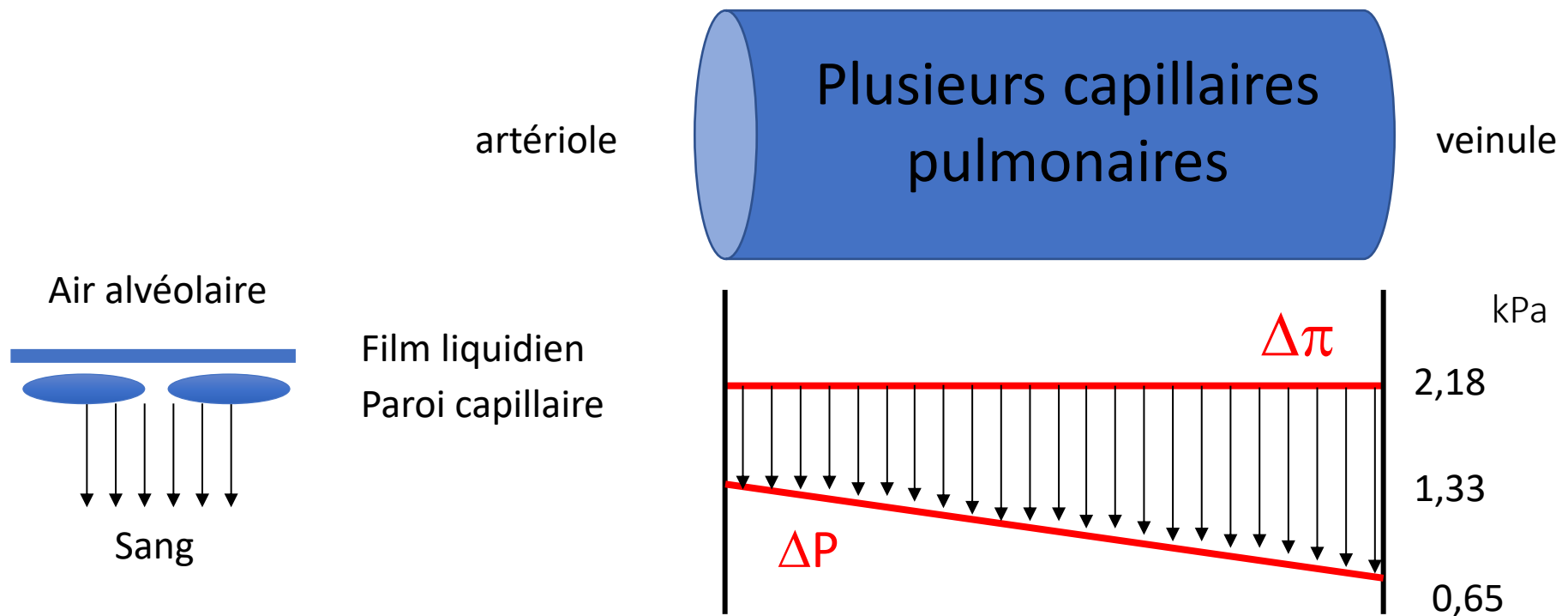
# Augmentation de $P_c$ dans l'insuffisance cardiaque

- Défaillance du VG = accumulation de plasma en amont
- D'abord dans l'OG et la circulation pulmonaire (œdème pulmonaire)
- Ensuite dans le VD et l'OD et la circulation systémique (œdème des membres inférieurs)

# Capillaires alvéolaires pulmonaires

$\Delta P$  = différence de pression sanguine

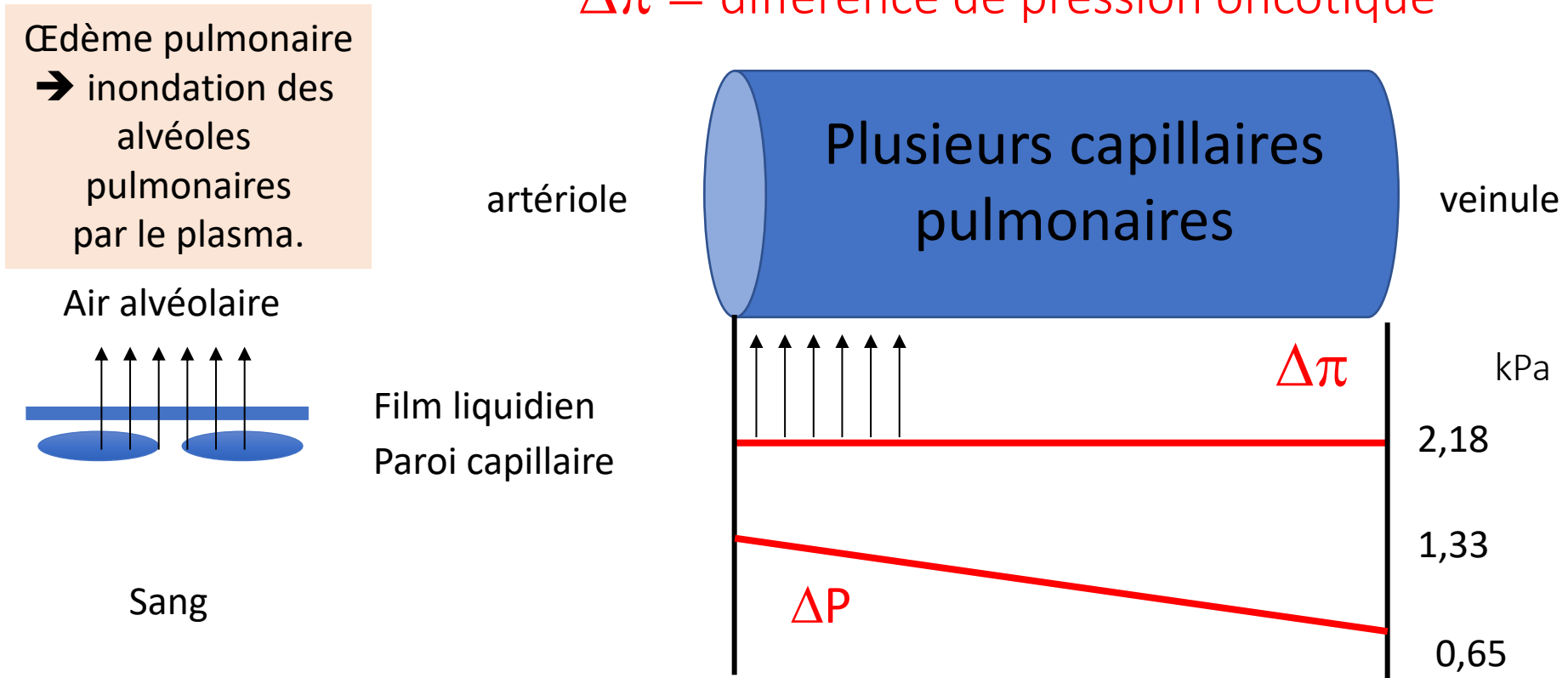
$\Delta \pi$  = différence de pression oncotique



# Effets de l'insuffisance cardiaque sur l'ultrafiltration dans les capillaires pulmonaires

$\Delta P$  = différence de pression sanguine

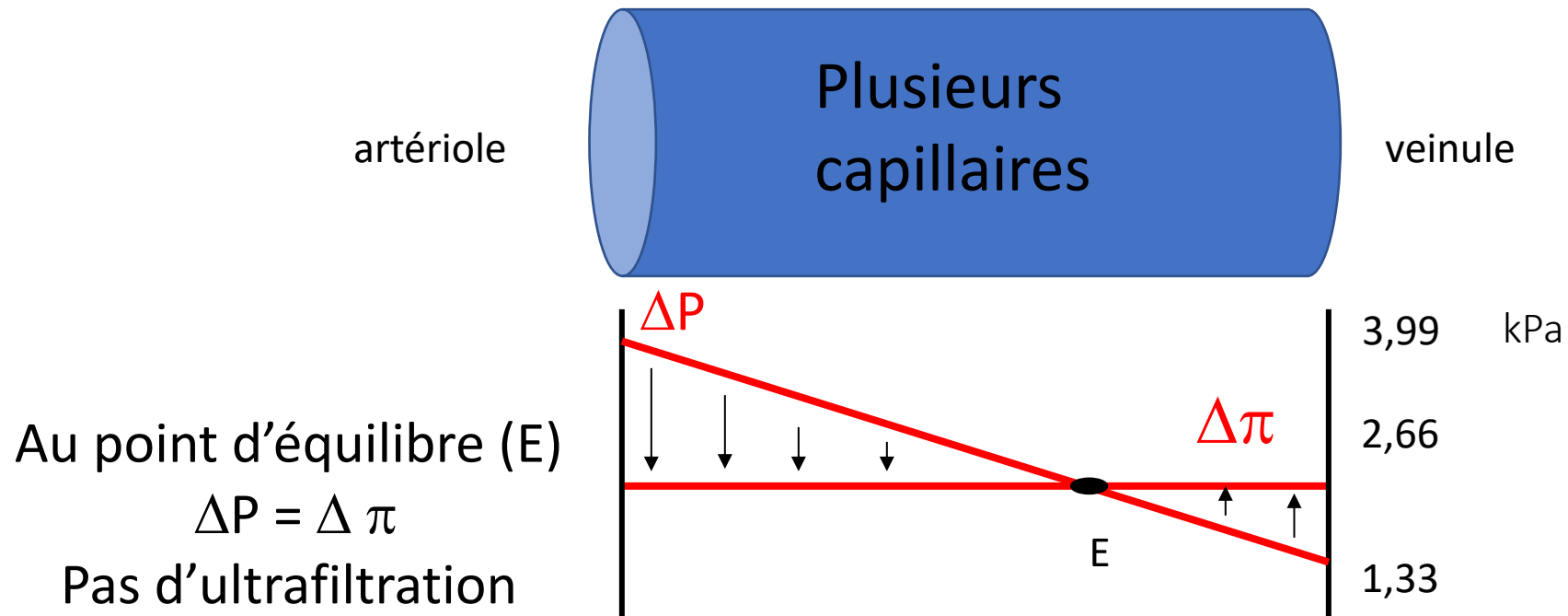
$\Delta \pi$  = différence de pression oncotique



# Capillaire sanguin périphérique

$\Delta P$  = différence de pression sanguine

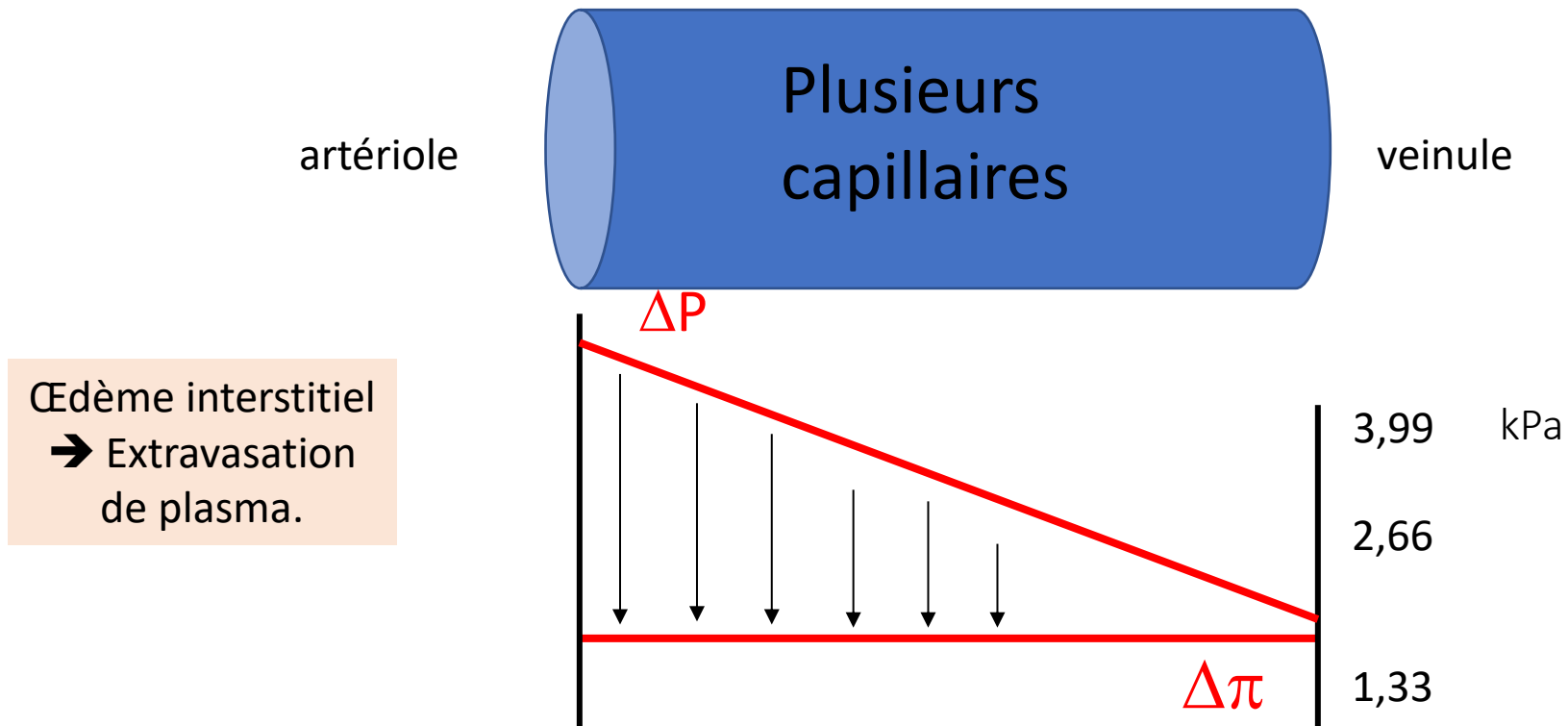
$\Delta \pi$  = différence de pression oncotique



# Effets de l'insuffisance cardiaque sur l'ultrafiltration dans les capillaires sanguins périphériques

$\Delta P$  = différence de pression sanguine

$\Delta \pi$  = différence de pression oncotique



# QCM 5

Ce patient présente une insuffisance cardiaque sévère parce que :

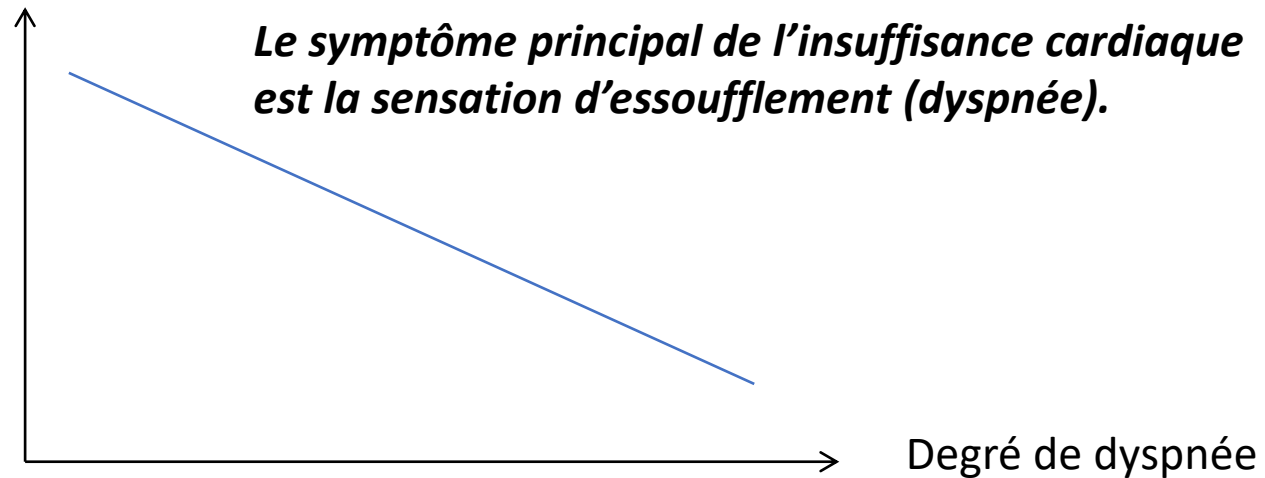
- A/ Il se sent essoufflé quand il court ;
- B/ il se sent essoufflé quand il marche vite ;
- C/ Il se sent essoufflé quand en montant deux étages à pied ;
- D/ Il se sent essoufflé quand il est allongé ;
- E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : D

# Stades de l'insuffisance cardiaque

***L'insuffisance cardiaque*** comporte quatre stades de gravité croissante de I à IV

Débit cardiaque



# QCM 6

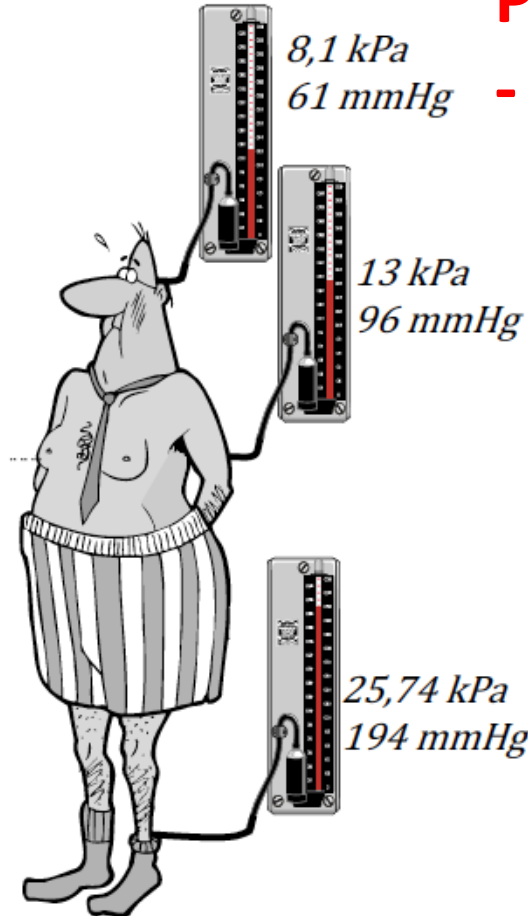
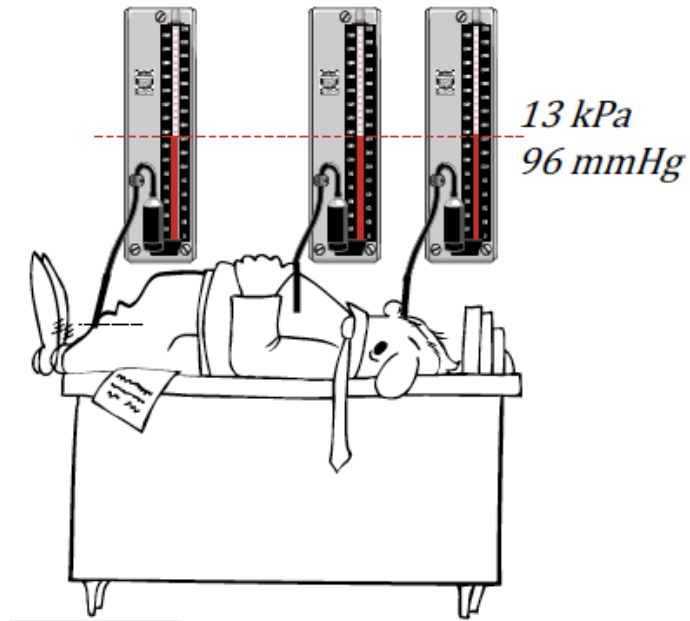
Le patient respire moins bien en décubitus qu'assis parce que la position allongée augmente :

- A/ le débit dans les capillaires lymphatiques ;
- B/ la pression artérielle mesurée au bras droit ;
- C/ la pression artérielle pulmonaire dans la partie des poumons situés au-dessus du cœur ;
- D/ les zones pulmonaires concernées par l'œdème ;
- E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : C, D

# Effets de la gravité sur la PAM

**PAM = P hémodynamique**



**PAM = P hémodynamique  
- P hydrostatique**

**PAM = P hémodynamique**

**PAM = P hémodynamique  
+ P hydrostatique**

# QCM 7

Au bout de trois semaines de rééducation cardiovasculaire vous félicitez votre patient parce que son débit cardiaque a augmenté. En effet, vous avez mesuré :

- A/ une baisse de sa capacité aérobie ;
- B/ une baisse de la fréquence cardiaque pour le même niveau d'effort;
- C/ une augmentation de la capacité vitale ;
- D/ une augmentation de la pression artérielle ;
- E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : B

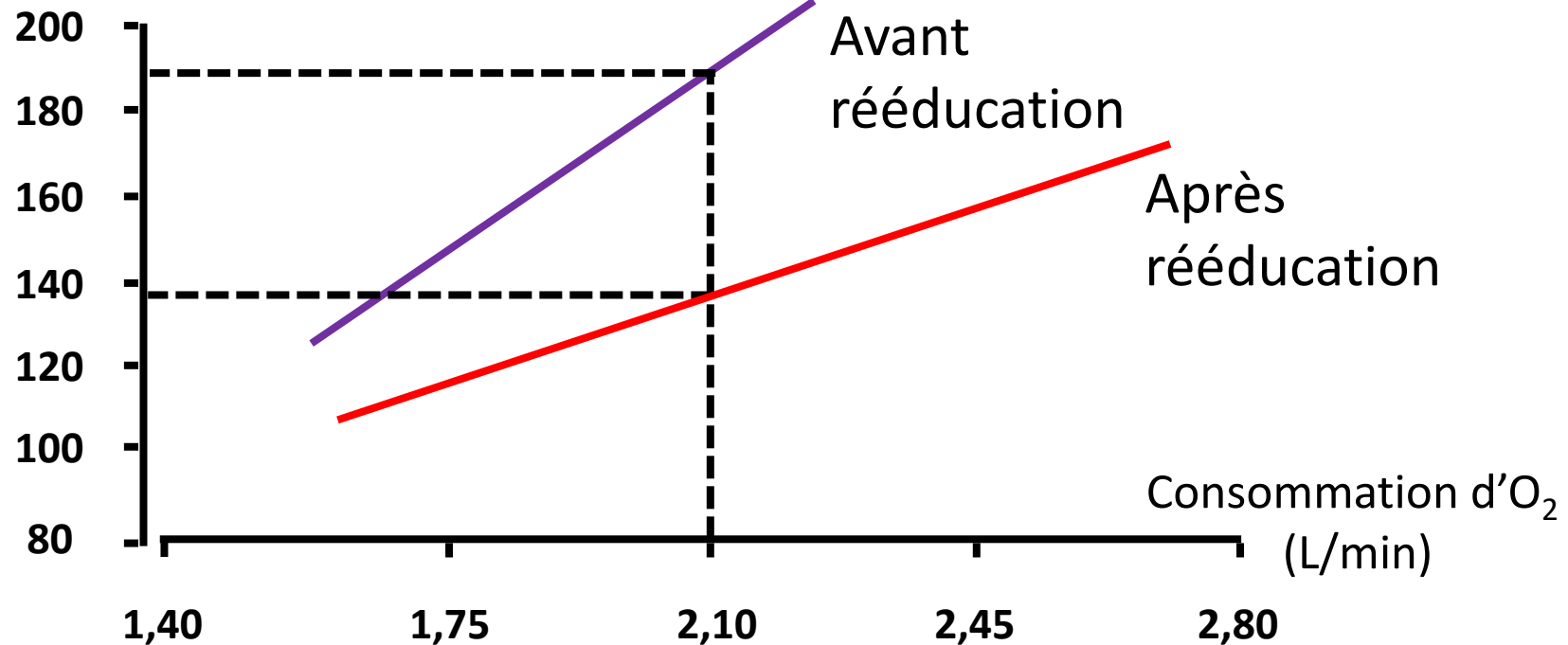
# Rééducation cardio-vasculaire

Consommation d'O<sub>2</sub> ⇔ fréquence cardiaque x volume d'éjection systolique

Effet de la rééducation

→ augmentation du volume d'éjection systolique

Fréquence cardiaque  
(battement/min)



Merci pour votre attention !



Prochain cours présentiel

Compartimentation fonctionnelle des métabolismes