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 = 1/3 PAS + 2/3 PAD

Pression hémodynamique — Pression hydrostatique

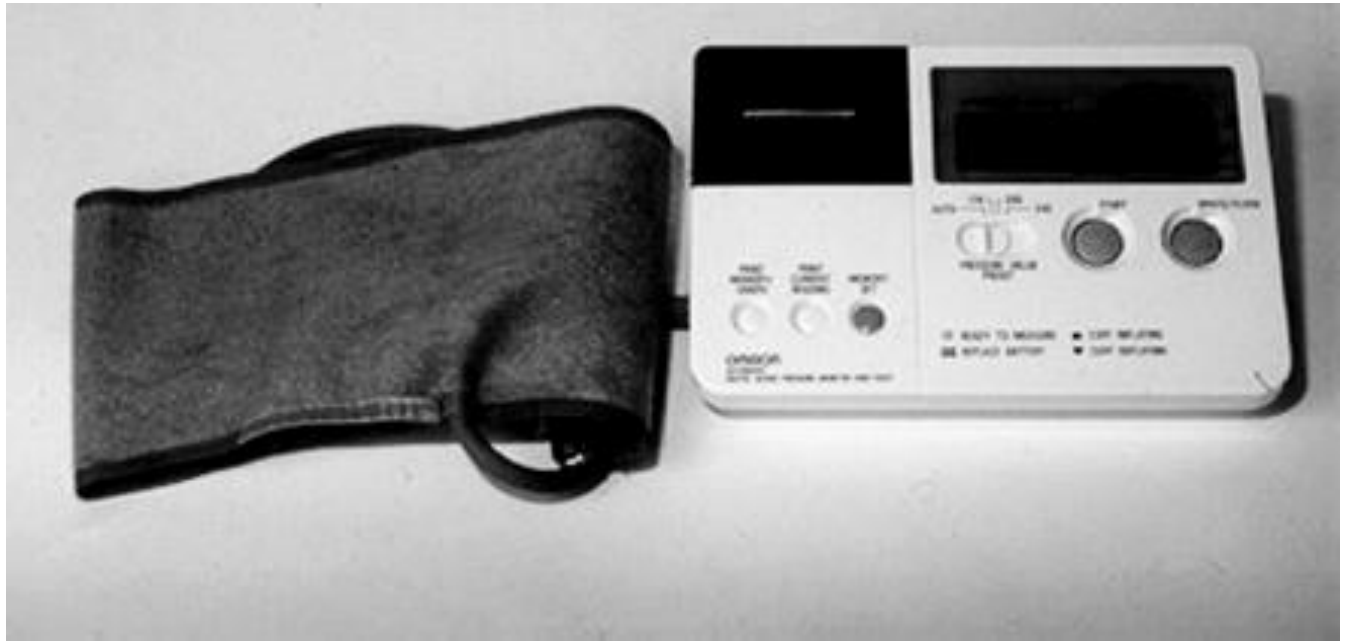
Pression cinétique + pression latérale + pression gravitaire = **pression artérielle**

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 -

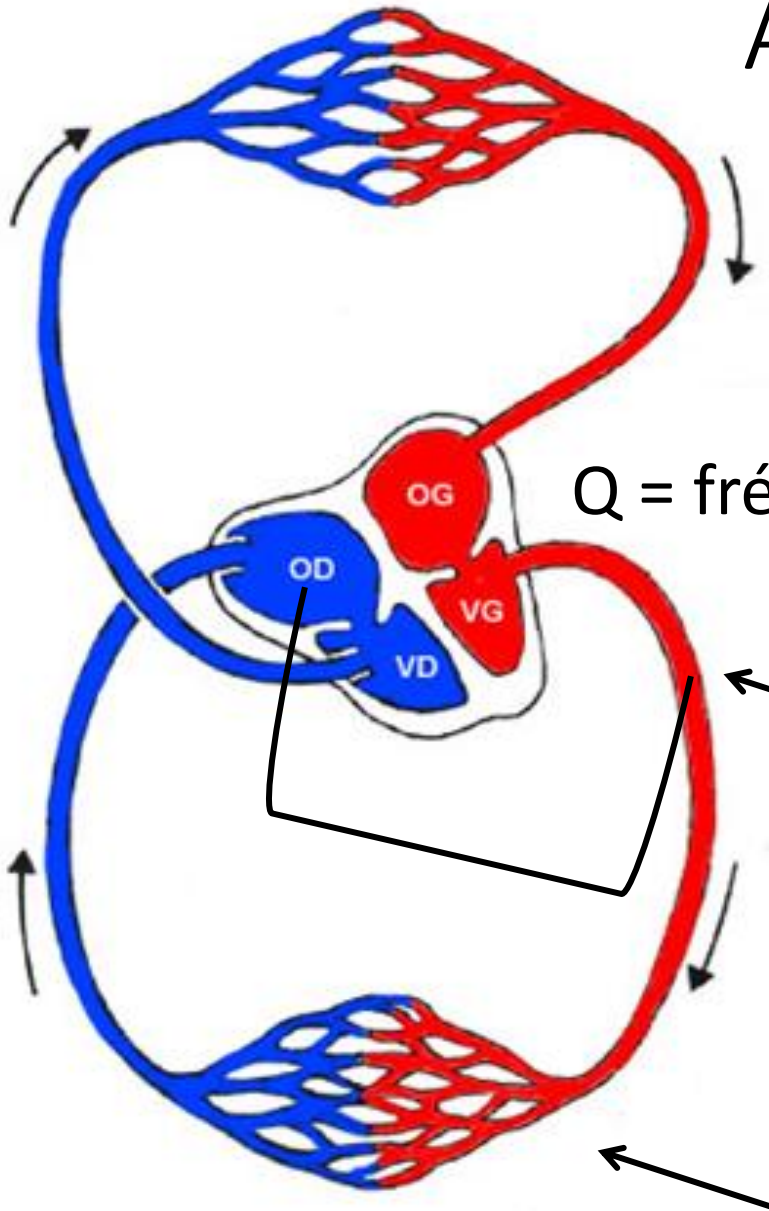
A. Mesure de la pression artérielle



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



$\Delta P = Q \times R$ ➔ loi de Poiseuille

Circulation laminaire

Q = fréquence cardiaque x volume d'éjection ventriculaire

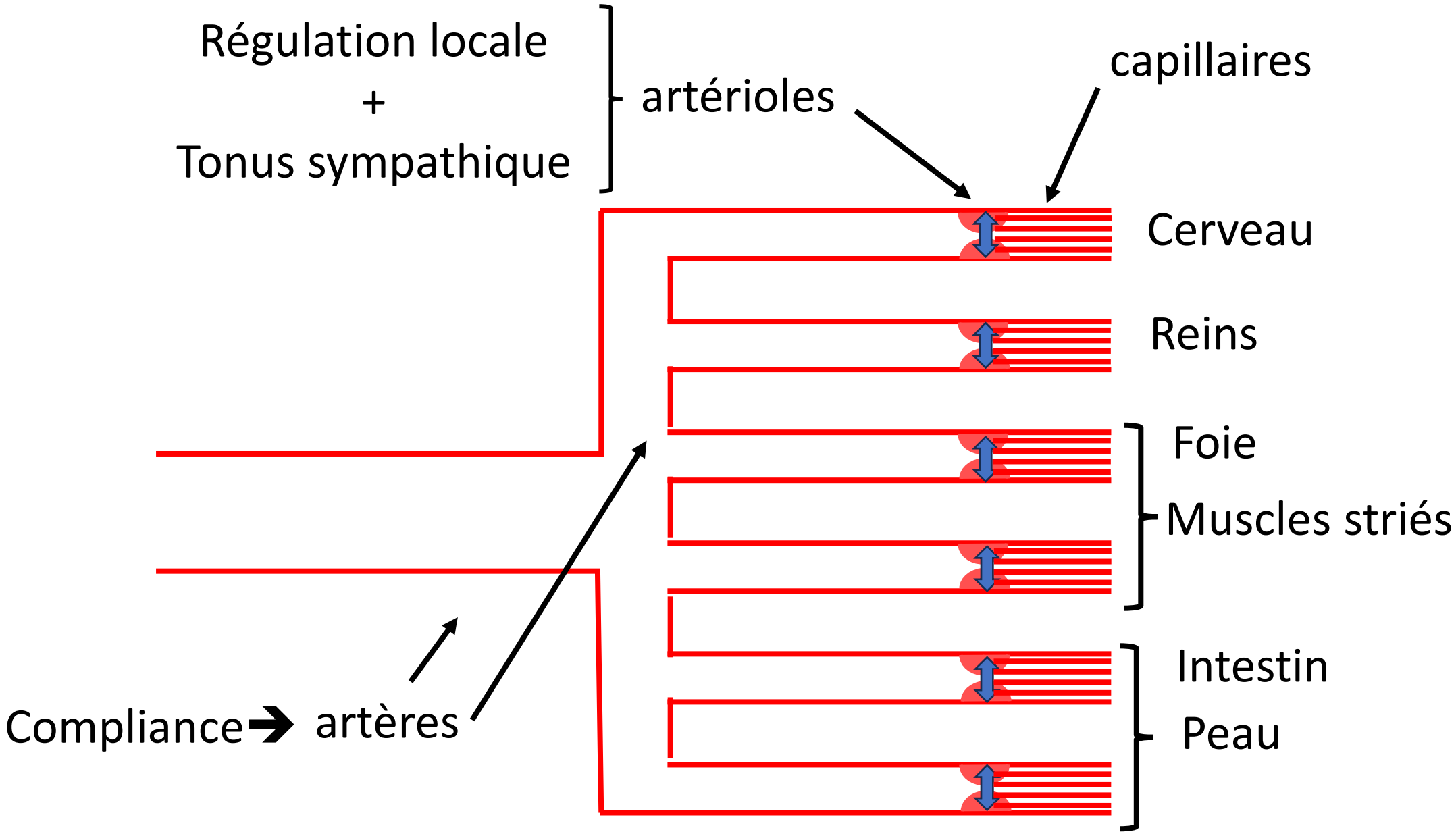
Mesurée au bras

PAM – POD = ΔP

POD ≈ quelques mm de Hg

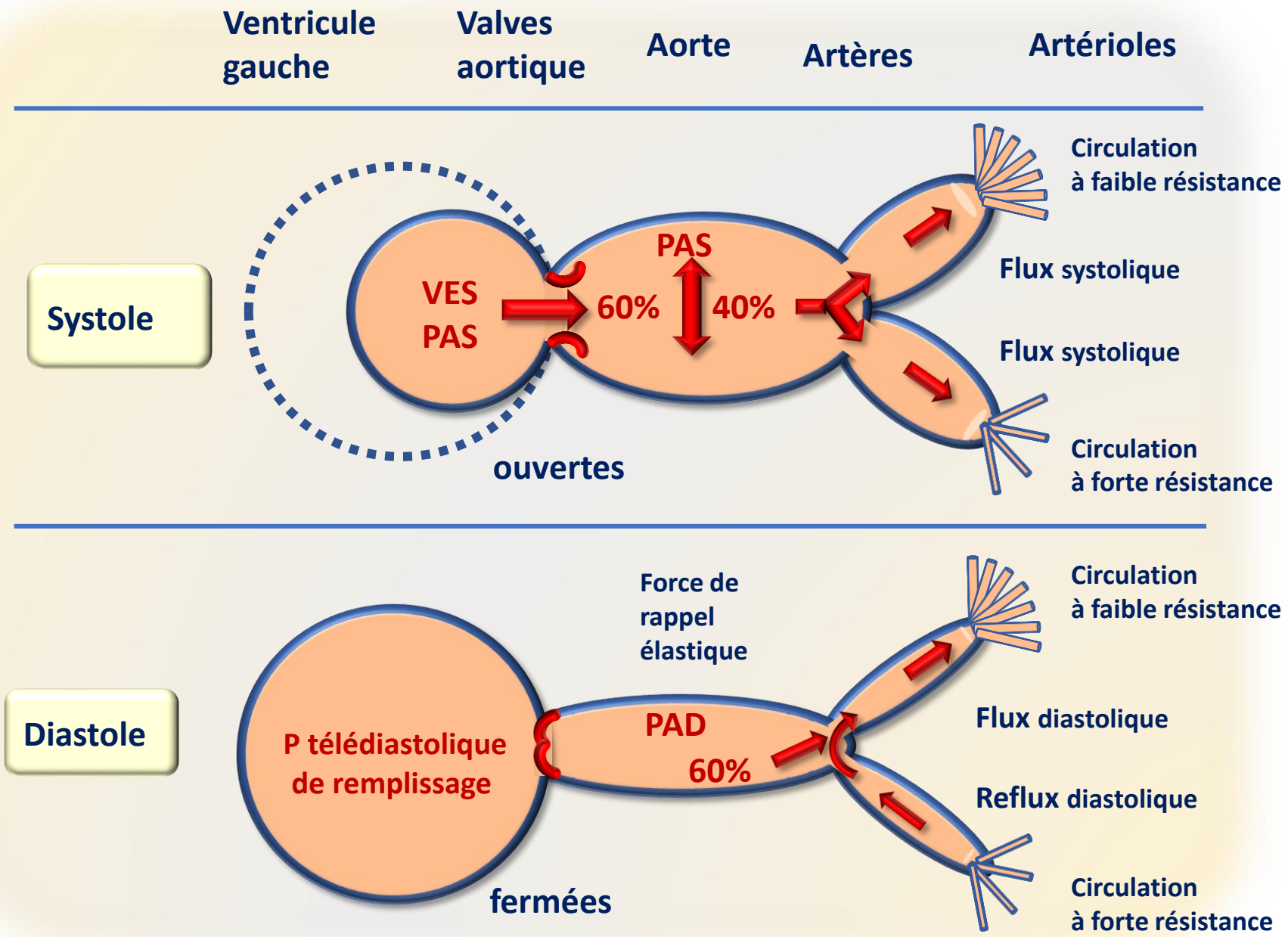
R = artérioles

A. Artères et artérioles



A. Effets de la compliance

- Compliance : ΔV / ΔP
- 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

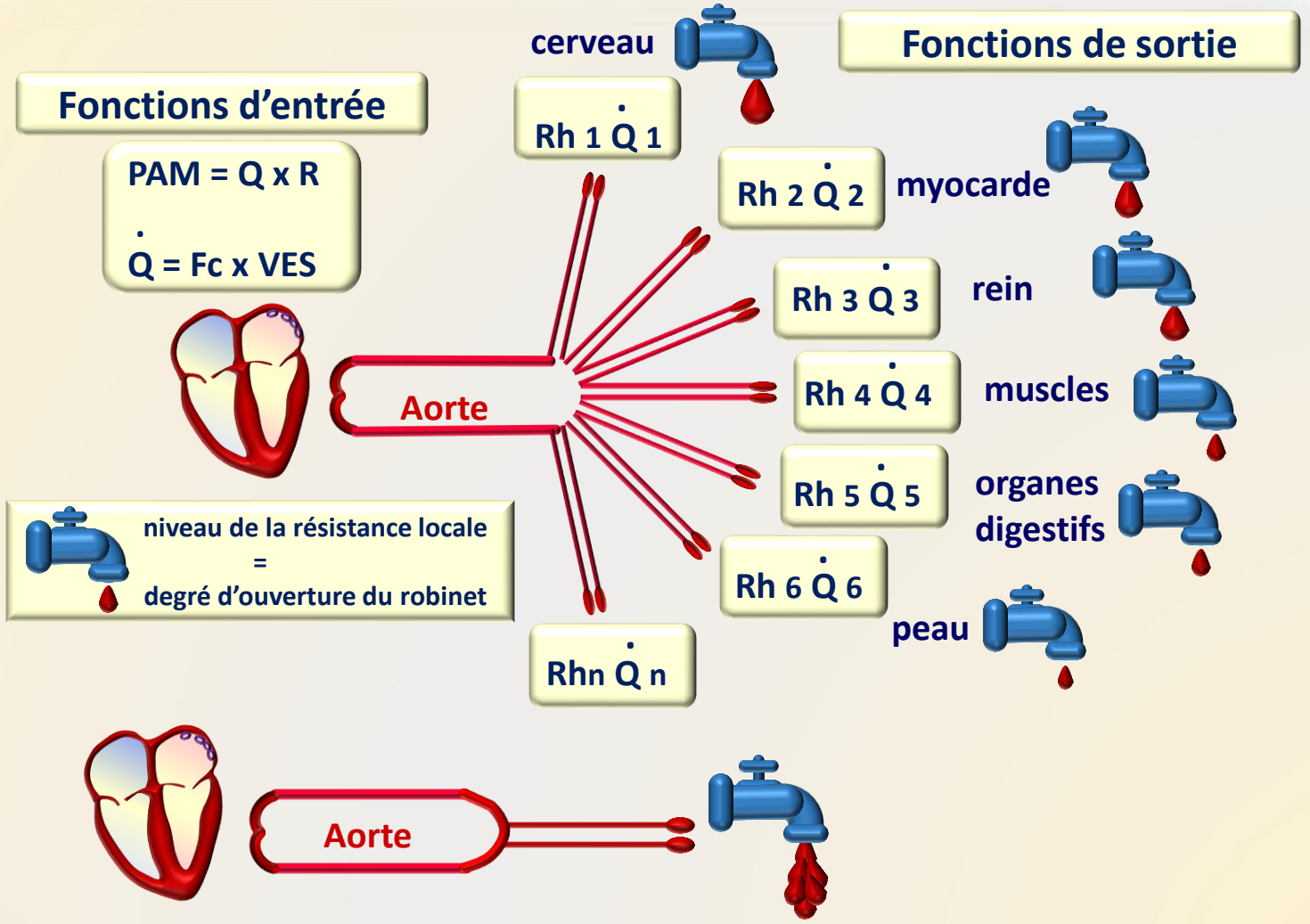


Collège Français des ENSEIGNANTS UNIVERSITAIRES de PHYSIOLOGIE en SANTÉ

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

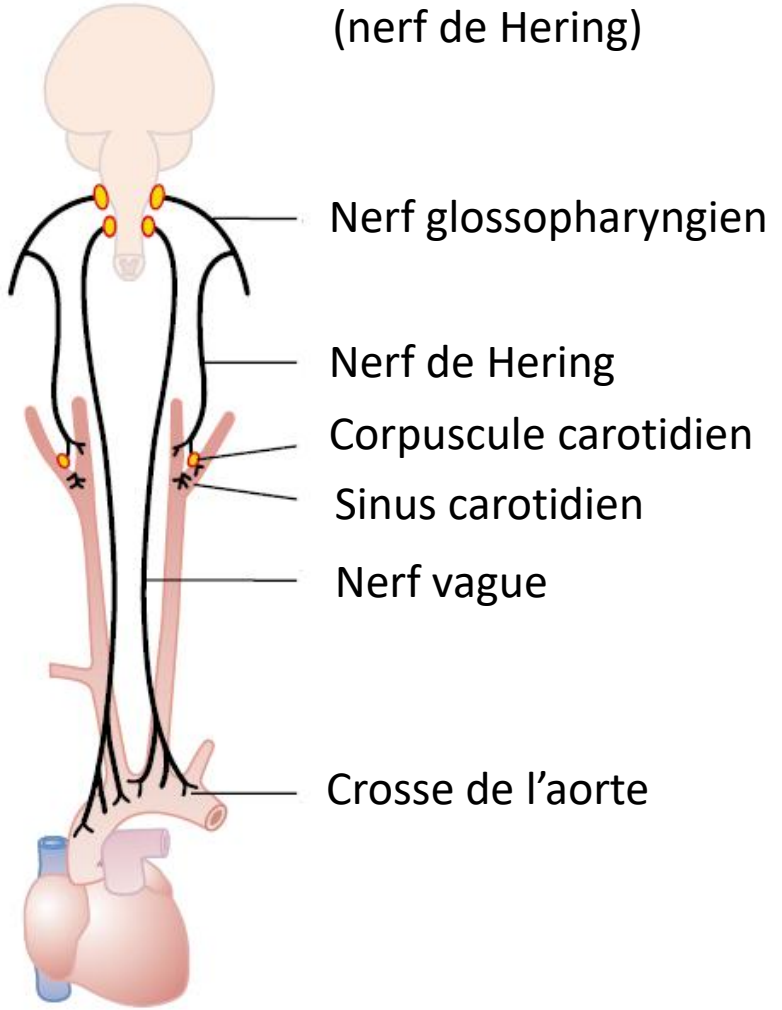
G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

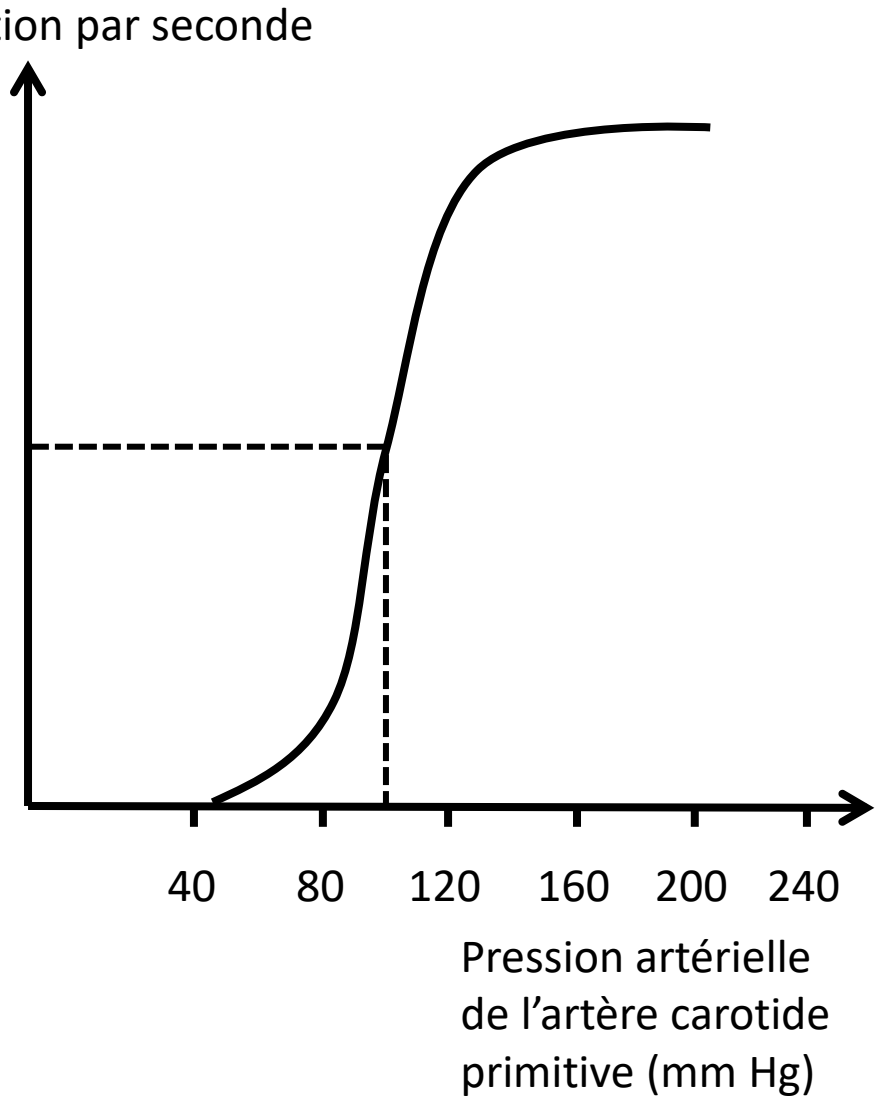
B. Maintien de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires

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

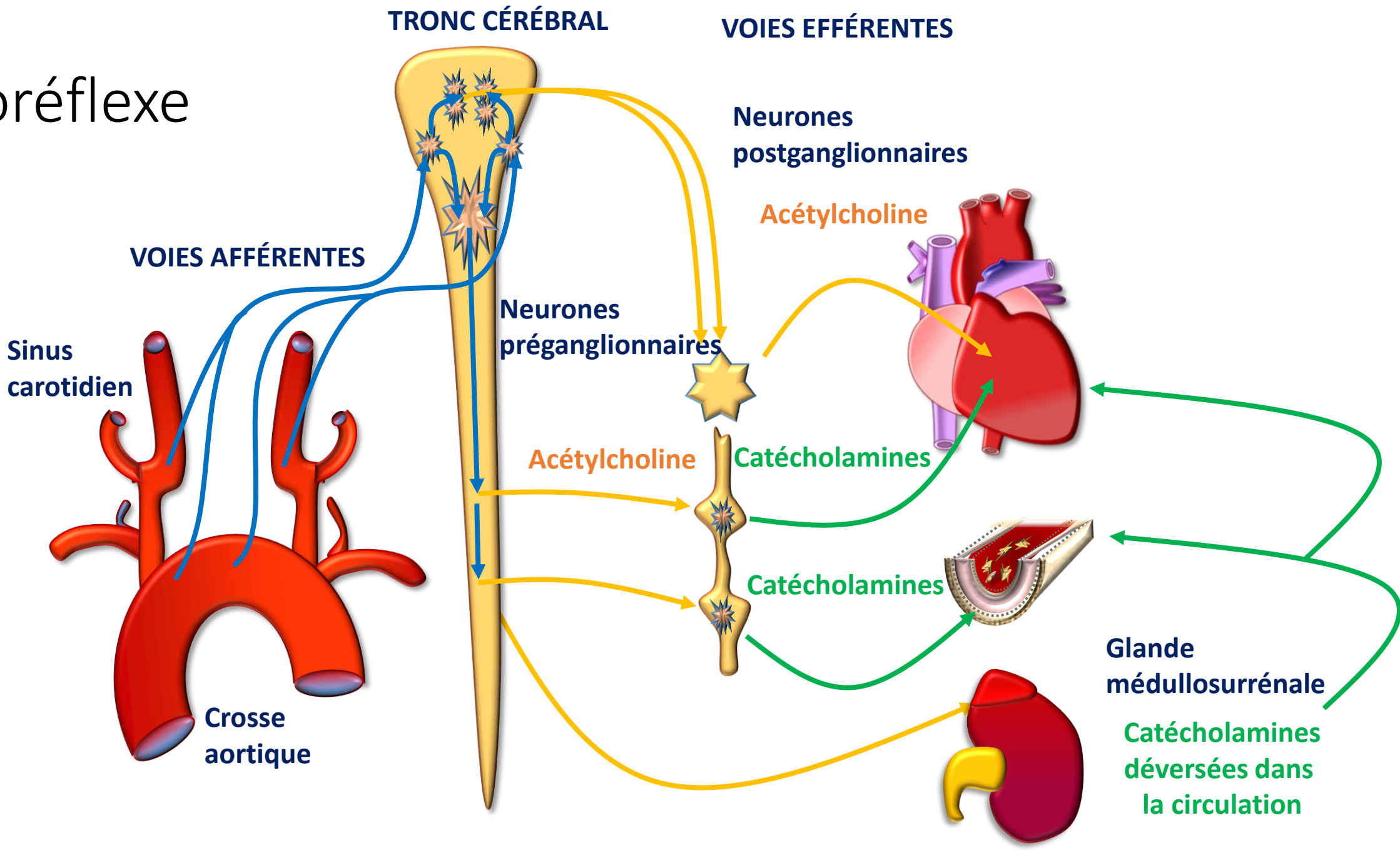
B. Barorécepteurs aortiques et carotidiens

➔ proches du cerveau





B. Baroréflexe

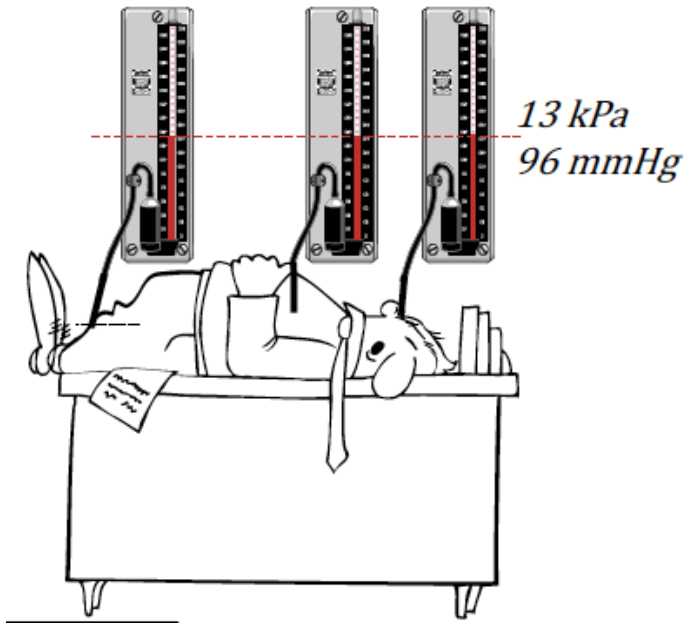


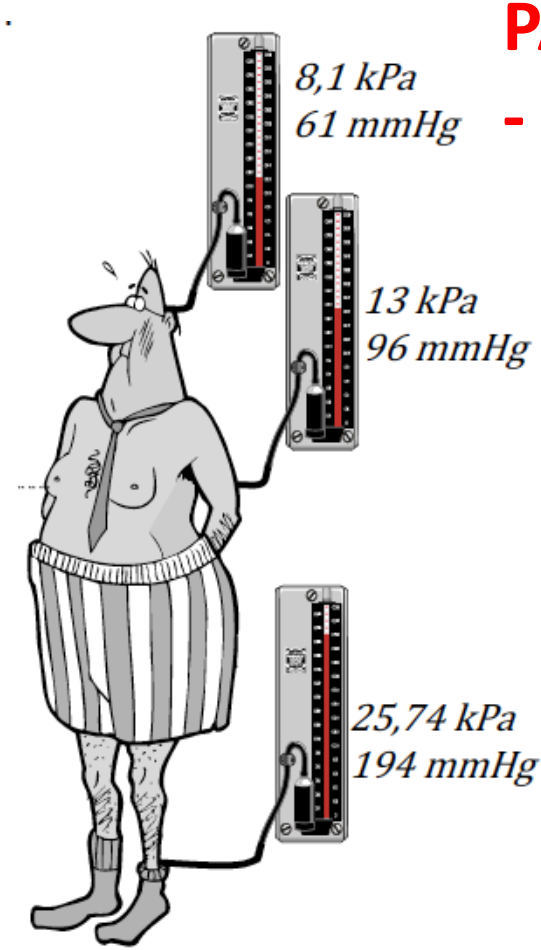
B. Baroréflexe : protection contre les variations de pression artérielle

- 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

- **<u>Définition de la volémie</u>**
  - 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

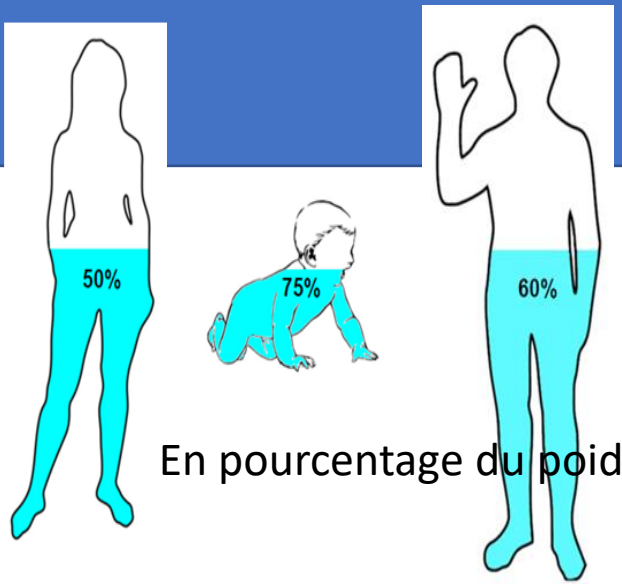
Volume cellulaire

28 litres
(2/3 du volume d'eau totale)

Volume extracellulaire

14 litres
(1/3 du volume d'eau totale)

dont 3,5 L de plasma
= 50 ml/kg de poids corporel



En pourcentage du poids du corps

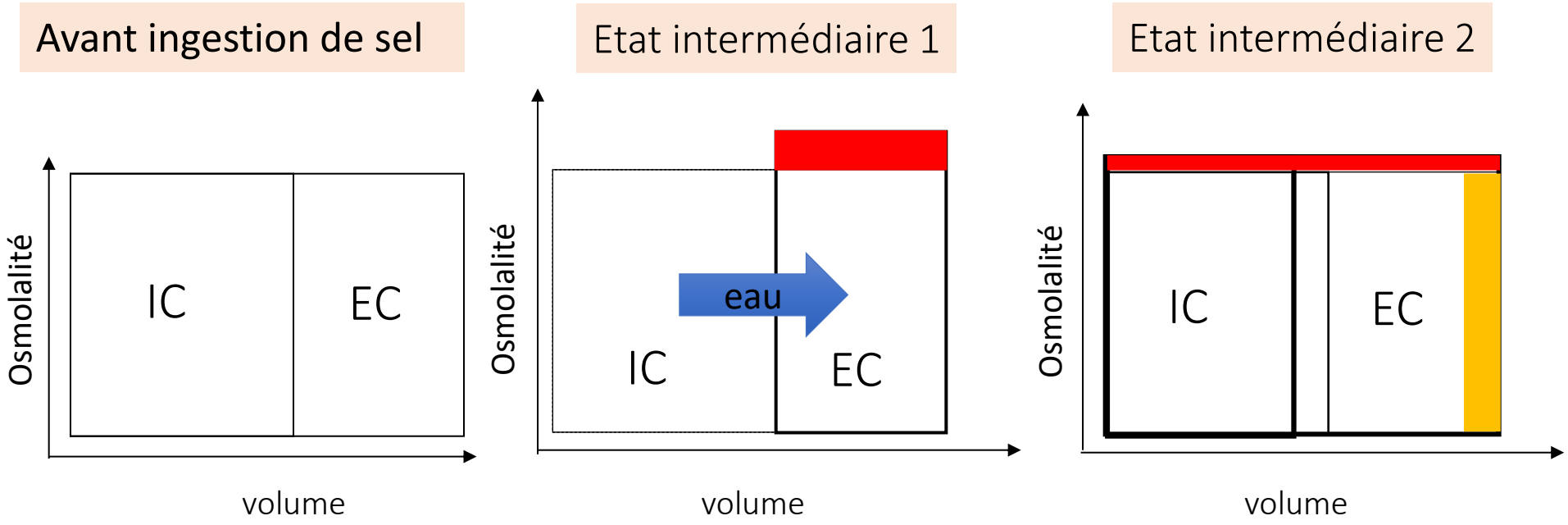
mmol/l	Liquide interstitiel	Plasma
Na^+	144	140 ± 5
K^+	4	4,0 ± 0,5
Ca^{++} ionisé	1,5	1,25 ± 0,05
Mg^{++} ionisé	1	0,90 ± 0,10
Cl^-	114	100 ± 10
HCO_3^-	29	24 ± 2
Phosphates	1,25	1,25 ± 0,25

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)

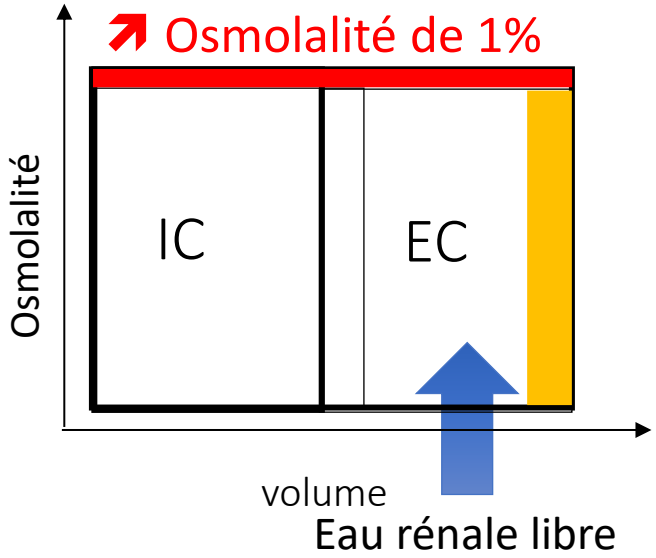


Absorption intestinale de sodium

C. Ingestion de sel (NaCl)

↗ Soif et ADH

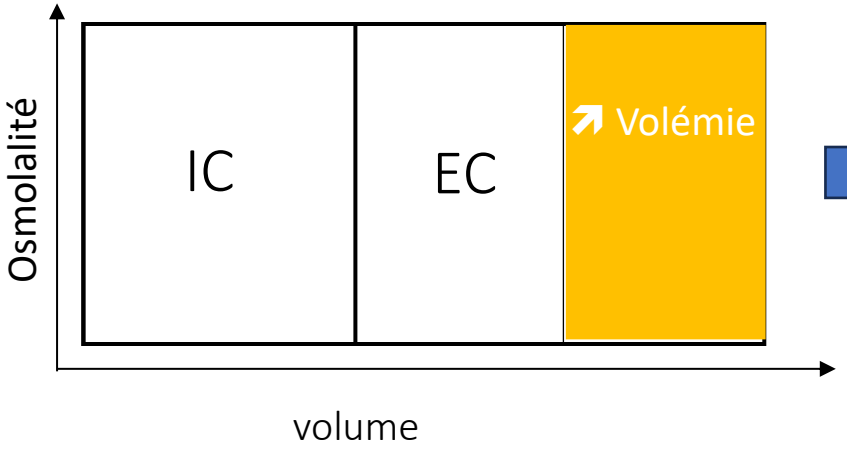
↗ Osmolalité de 1%



Etat intermédiaire 3

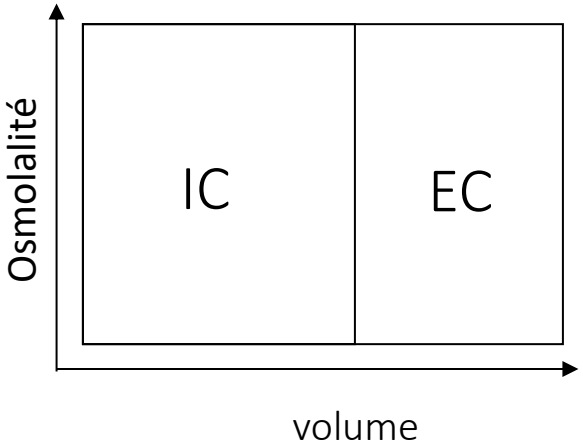
↘ ADH
➔élimination rénale d'eau

↘SRA, catécholamines, aldostérone
➔Elimination rénale de sel



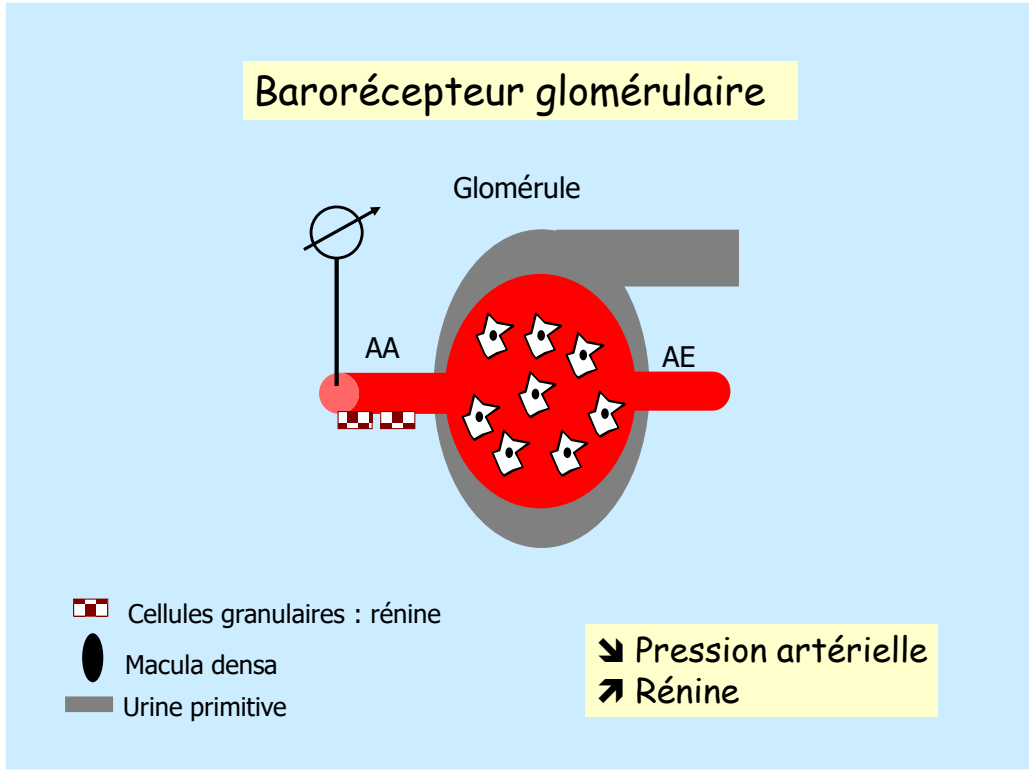
Etat intermédiaire 4

Après régulation
=
Avant ingestion de sel



Volume d'urine

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

↓ **AT1R** Récepteurs de type 1

Reins → Réabsorption de NaCl ←

Glandes corticosurrénales → Production d'aldostérone

C. FAN et sel (NaCl)

↗ PRESSION DANS L'OREILLETTE DROITE

↗ FAN

↘ sécrétion rénine

↘ sécrétion aldostérone

↘ réabsorption rénale de sel

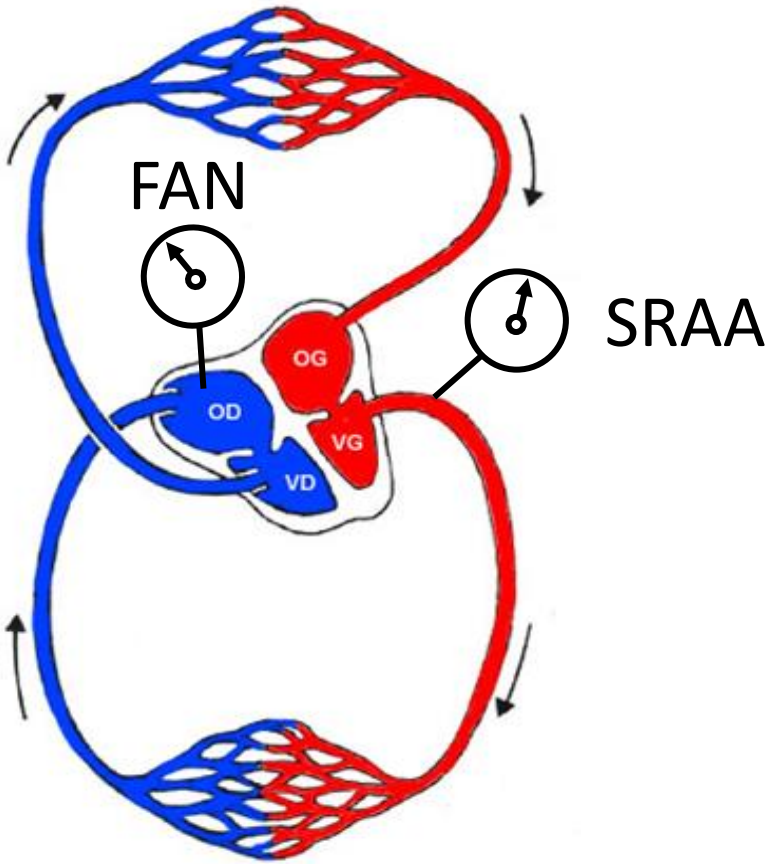
↘ angiotensine II

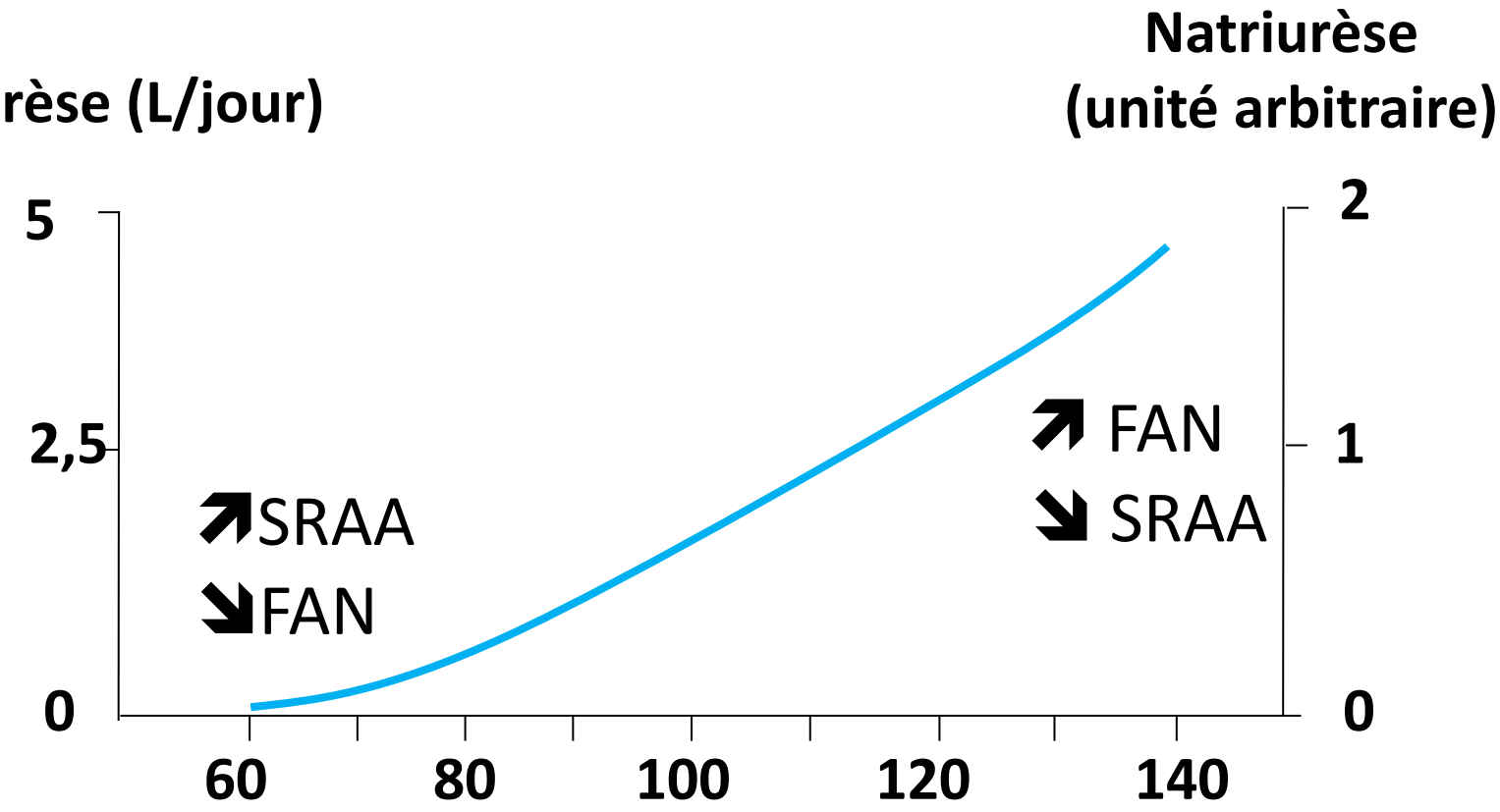


↗ Excrétion rénale de sel

↘ volémie

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

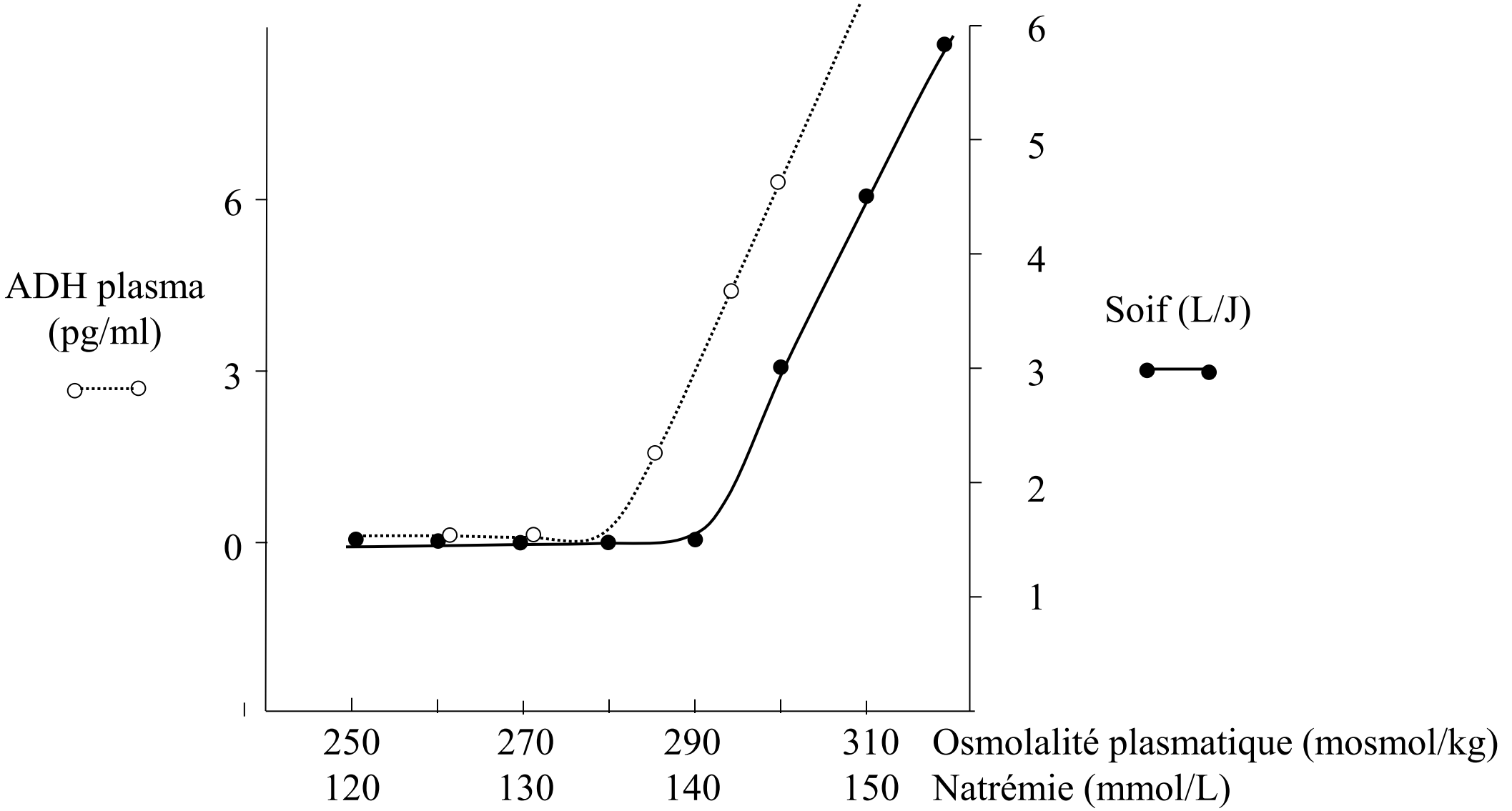
F. Approche de l'hypertension artérielle

G. Exercices en rapport avec l'enseignement à distance

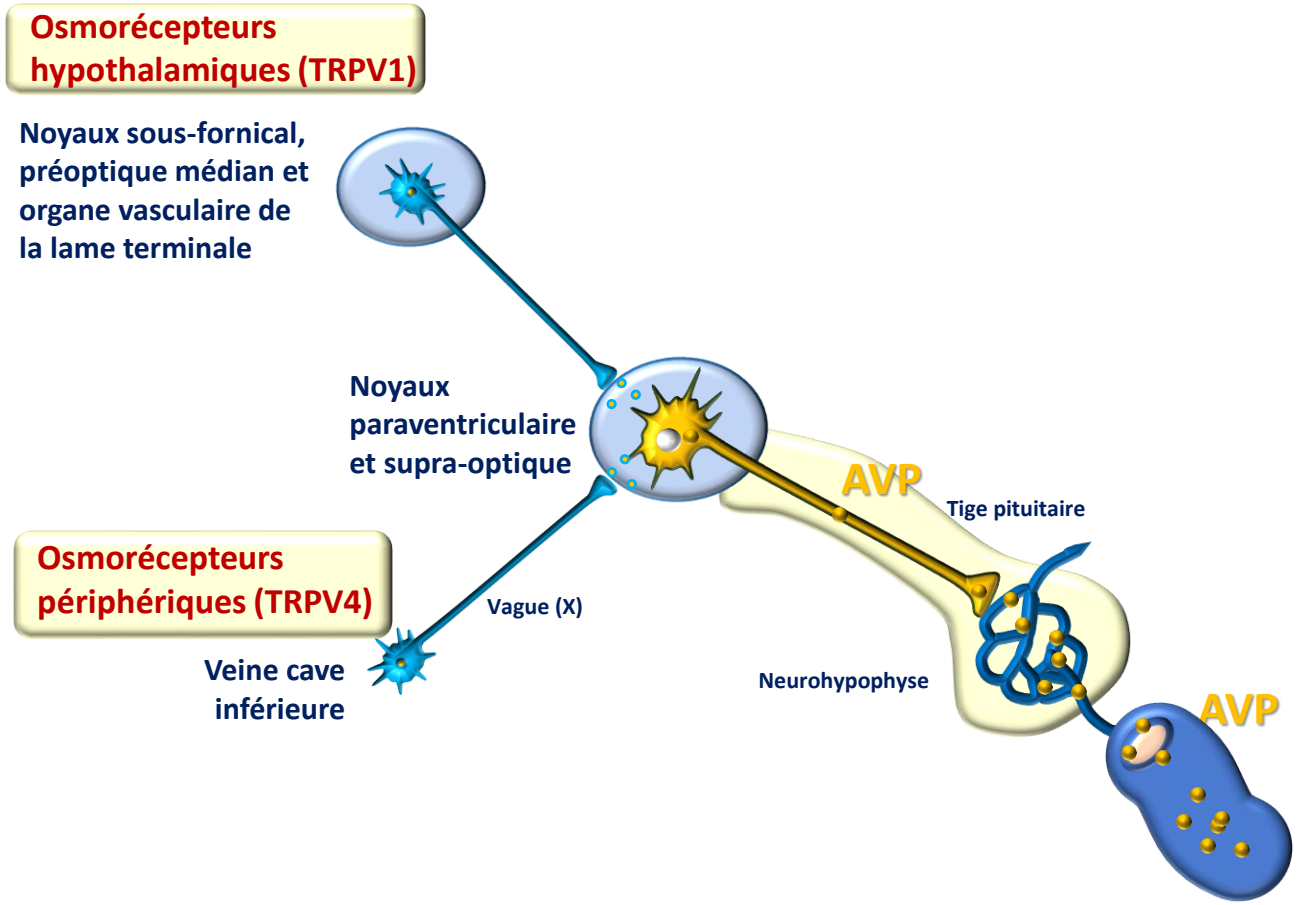
D. La concentration de sel dans le sang (natrémie) détermine le contenu en eau du sang

- 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

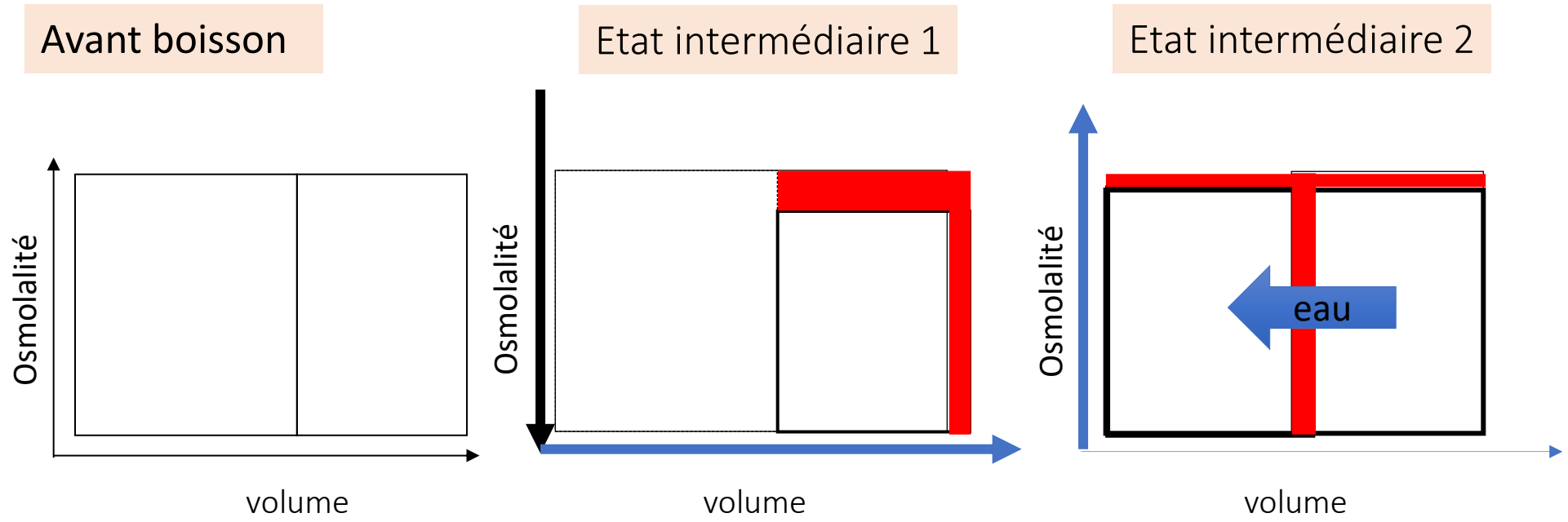
D. Relation entre la soif et la sécrétion d'ADH



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

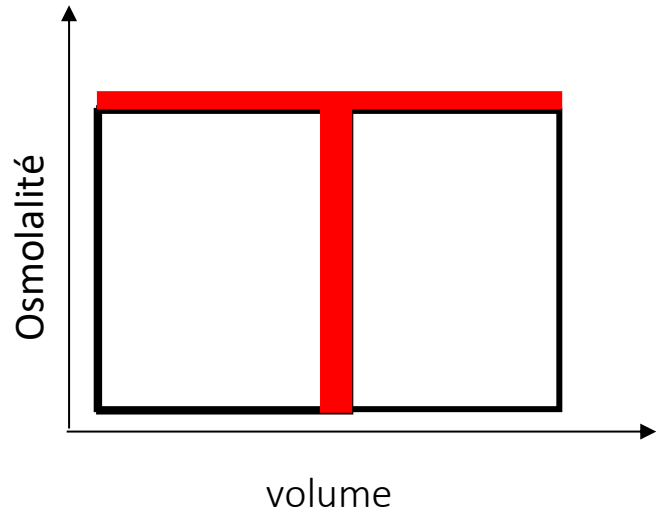


D. Boisson (eau)



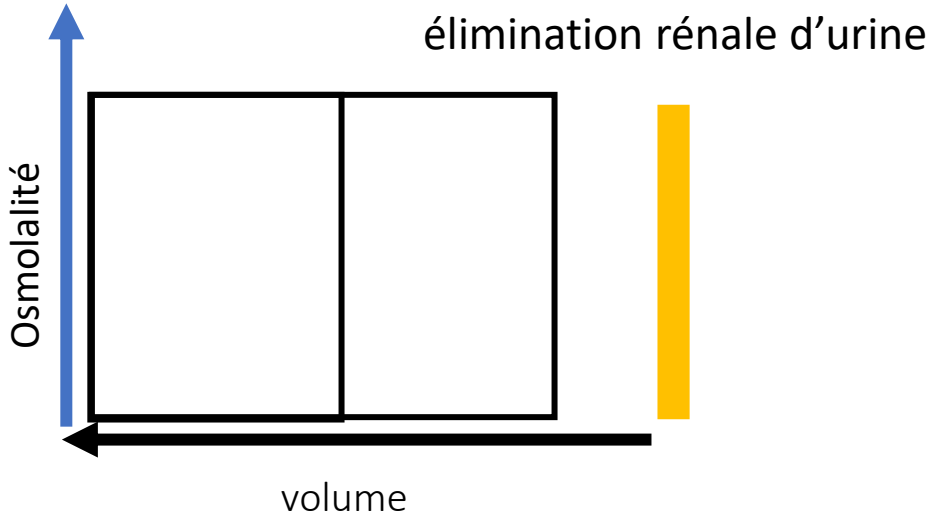
D. Boisson (eau)

↘ Soif et ADH

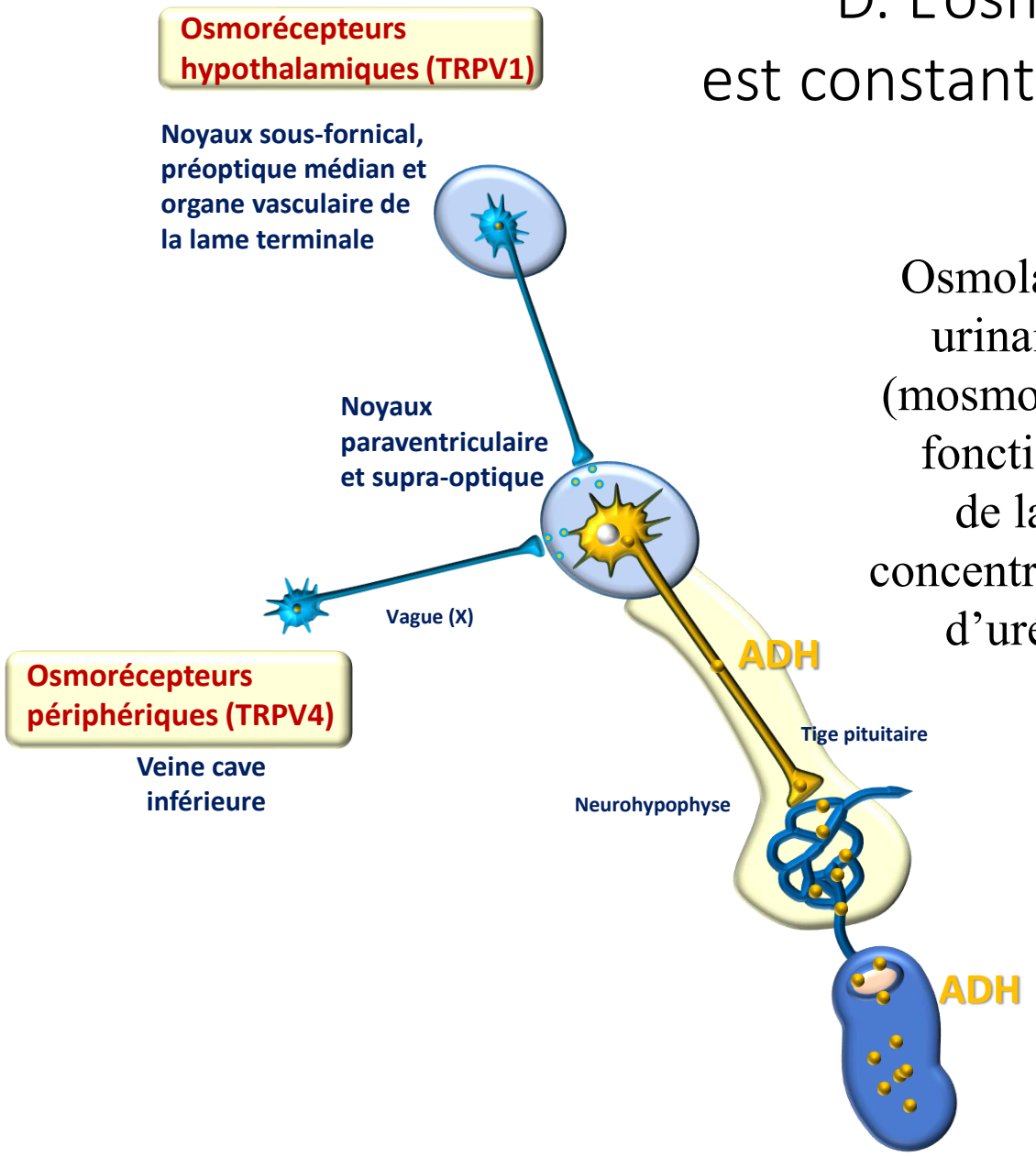


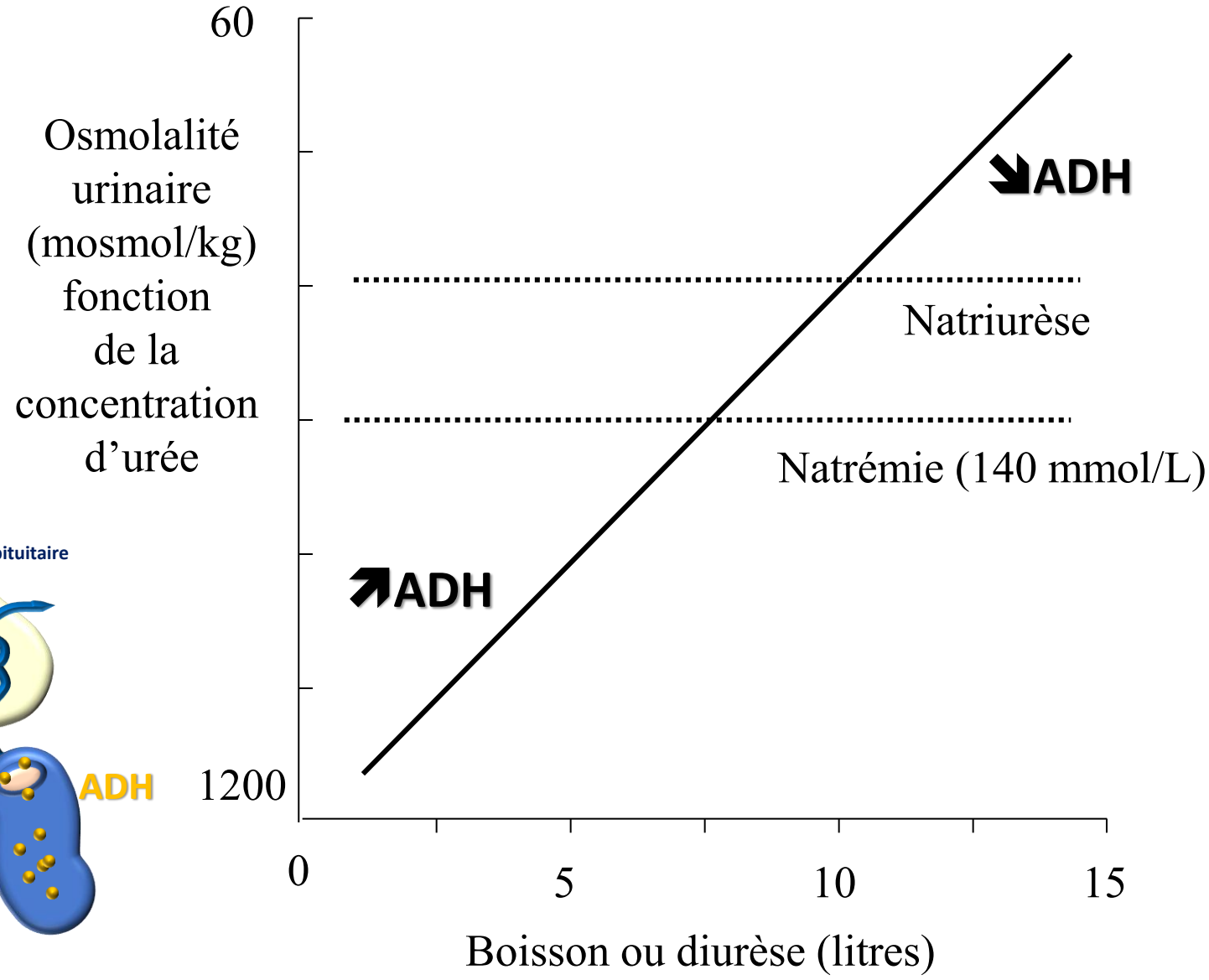
Etat intermédiaire 3

Après régulation
=
Avant boisson



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





Plan

A. Généralités

B. Régulation de la pression artérielle : aspects cardiovasculaires

C. Régulation de la pression artérielle : volémie

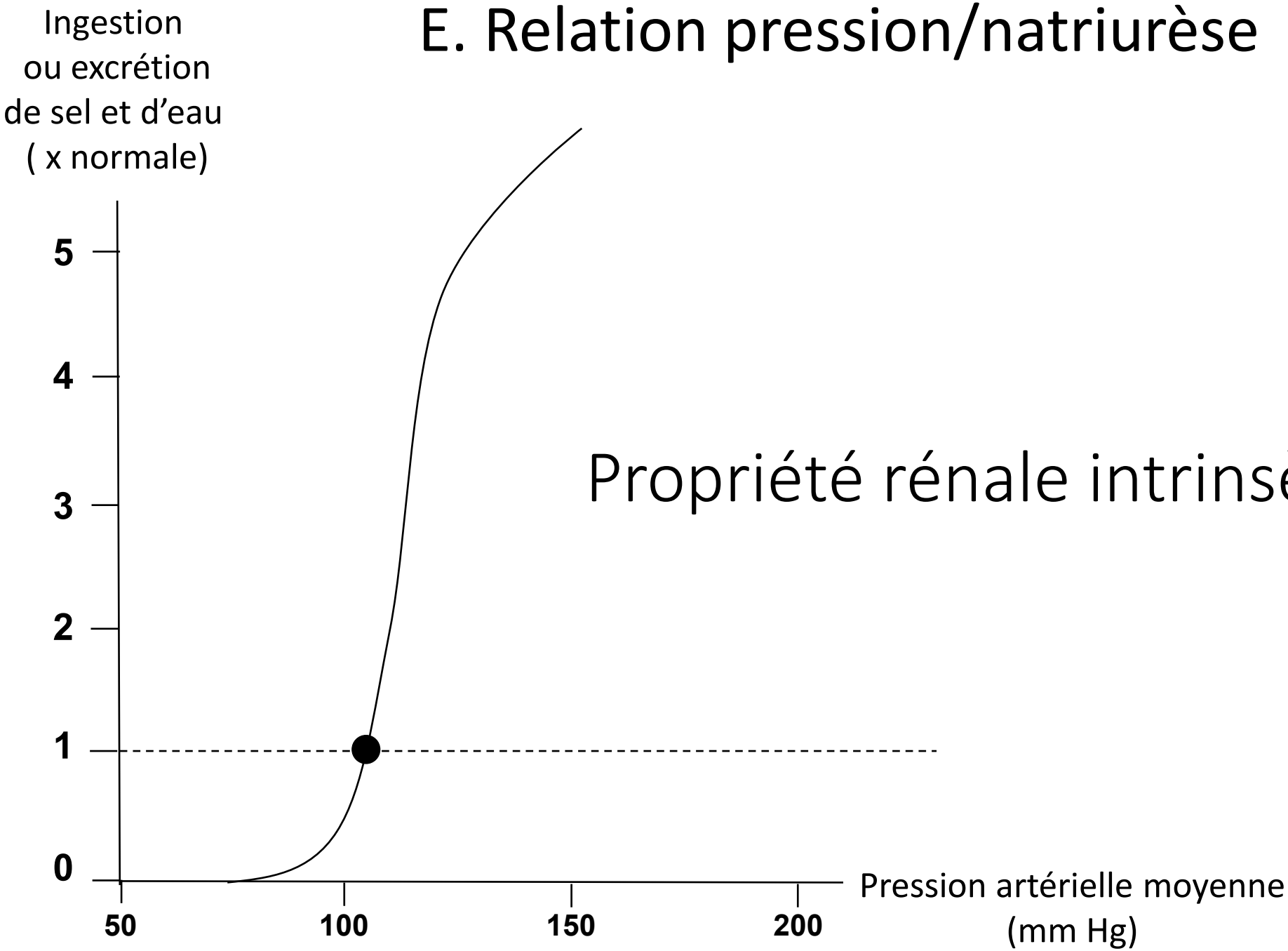
D. Régulation de la pression artérielle : osmolalité plasmatique

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



Propriété rénale intrinsèque

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

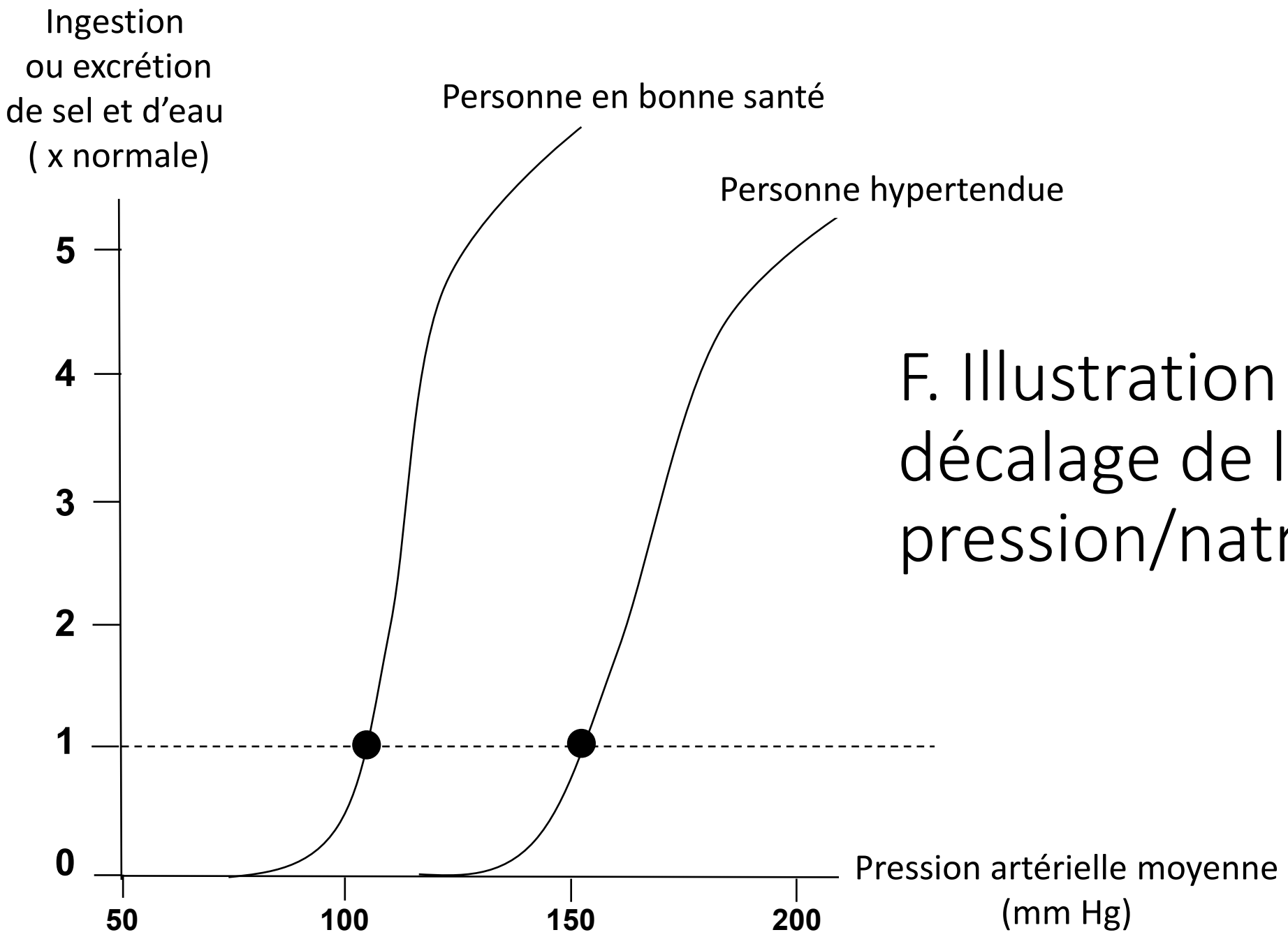
F. Approche de l'hypertension artérielle

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

F. Illustration du décalage de la relation pression/natriurèse



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

pression cinétique + pression de pesanteur + Pression latérale

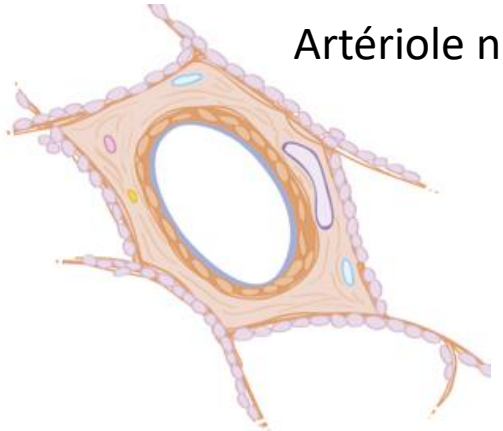
S'exerce dans le sens du vaisseau (longitudinal)

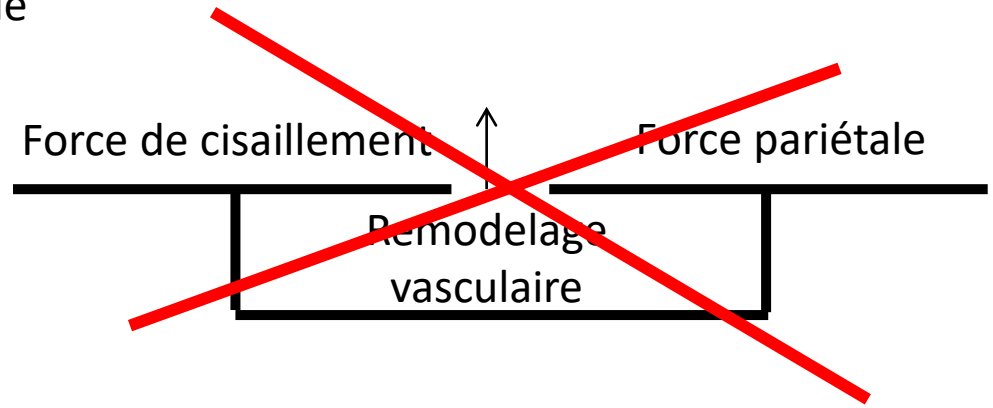
➔ Force de cisaillement

S'exerce sur la paroi du vaisseau (transversal)

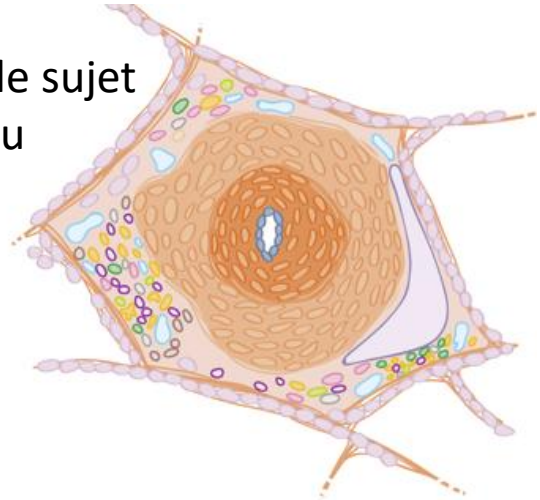
➔ Force pariétale

Artériole normale

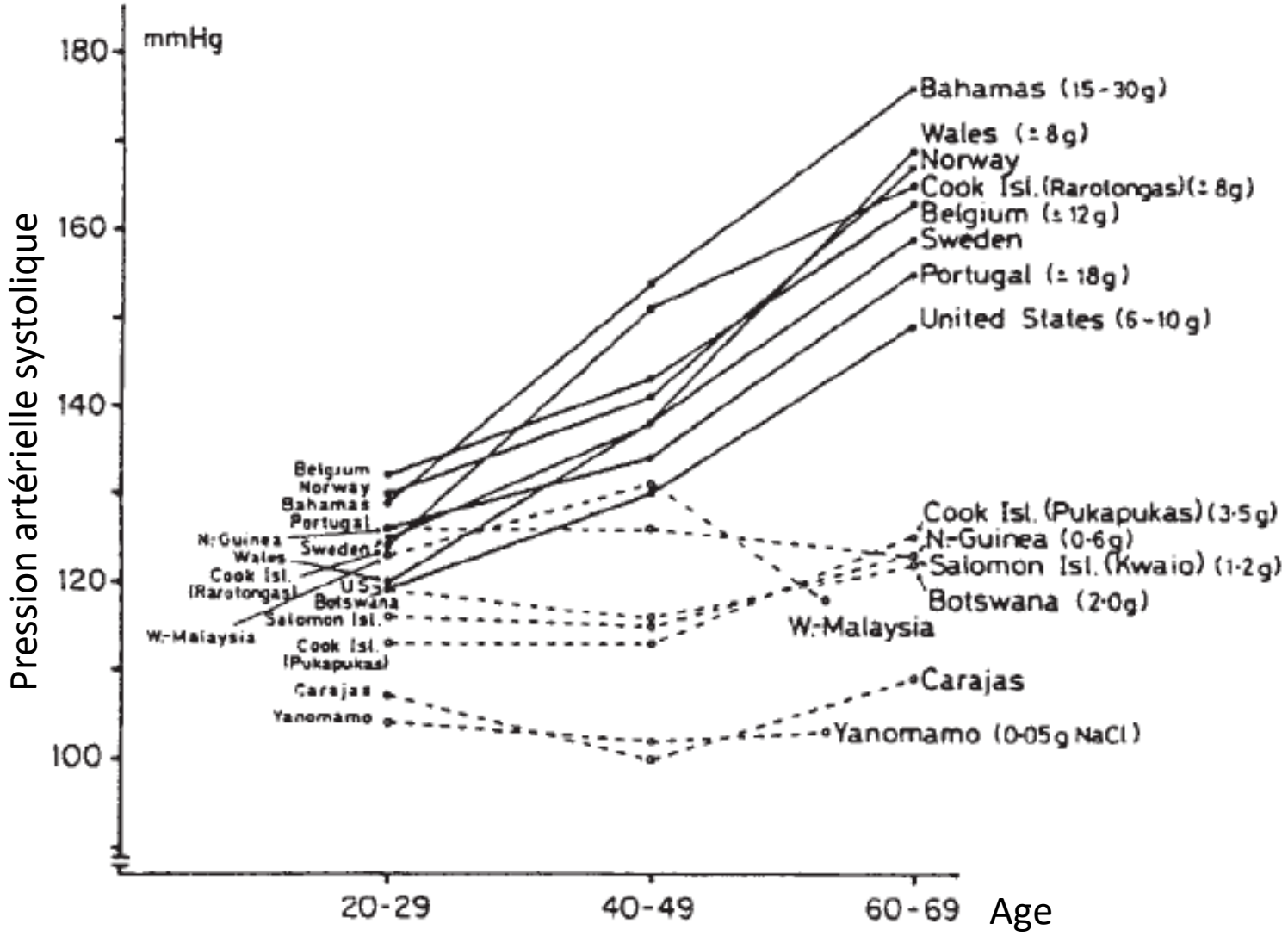




Artériole de sujet hypertendu



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 : épaississement 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

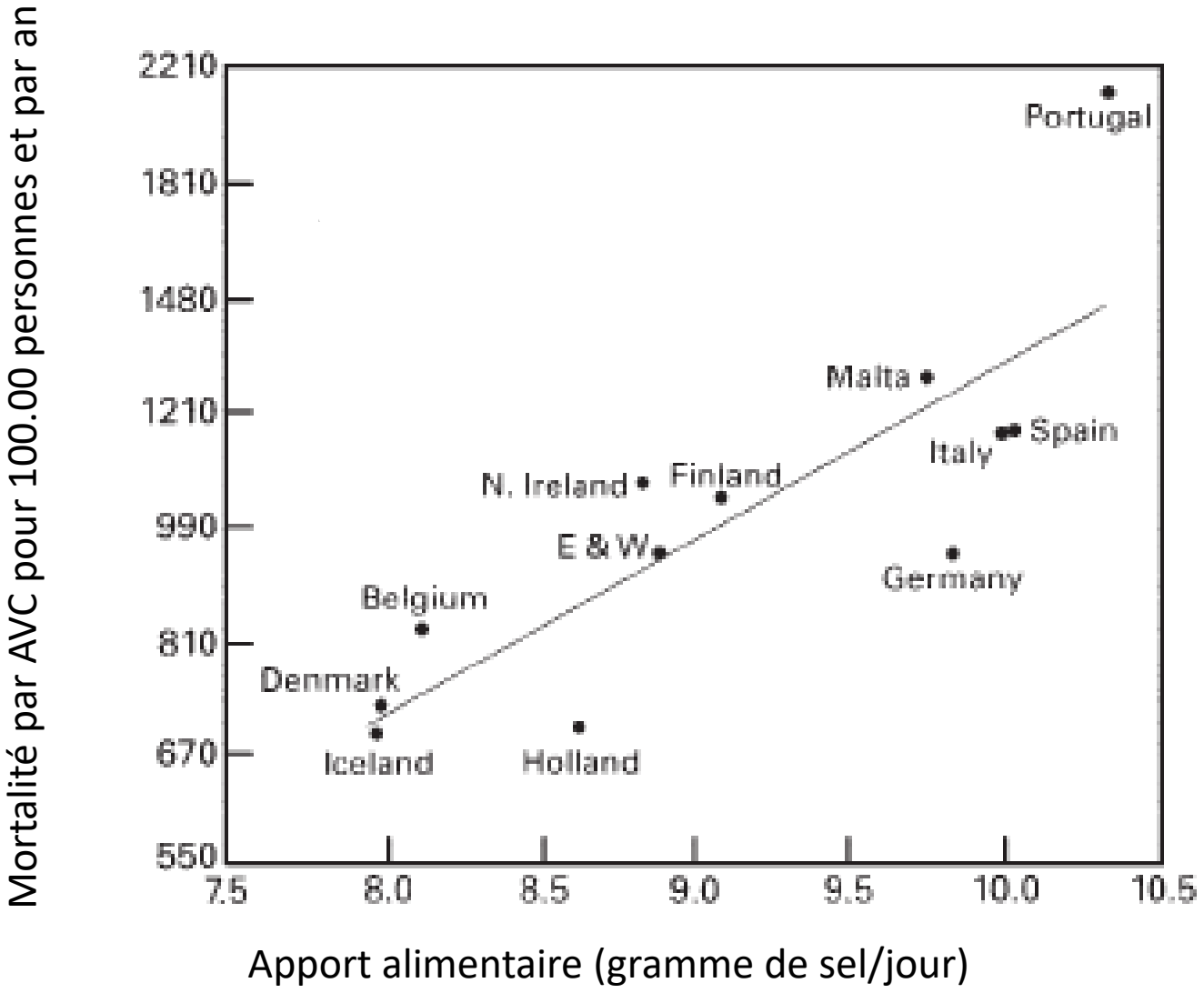
Artères des membres inférieurs : artériopathie oblitérante des membres inférieurs et amputation

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



ETUDE INTERSALT, 1988

Nombre de participants = 10079

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

Cardiopathie ischémique

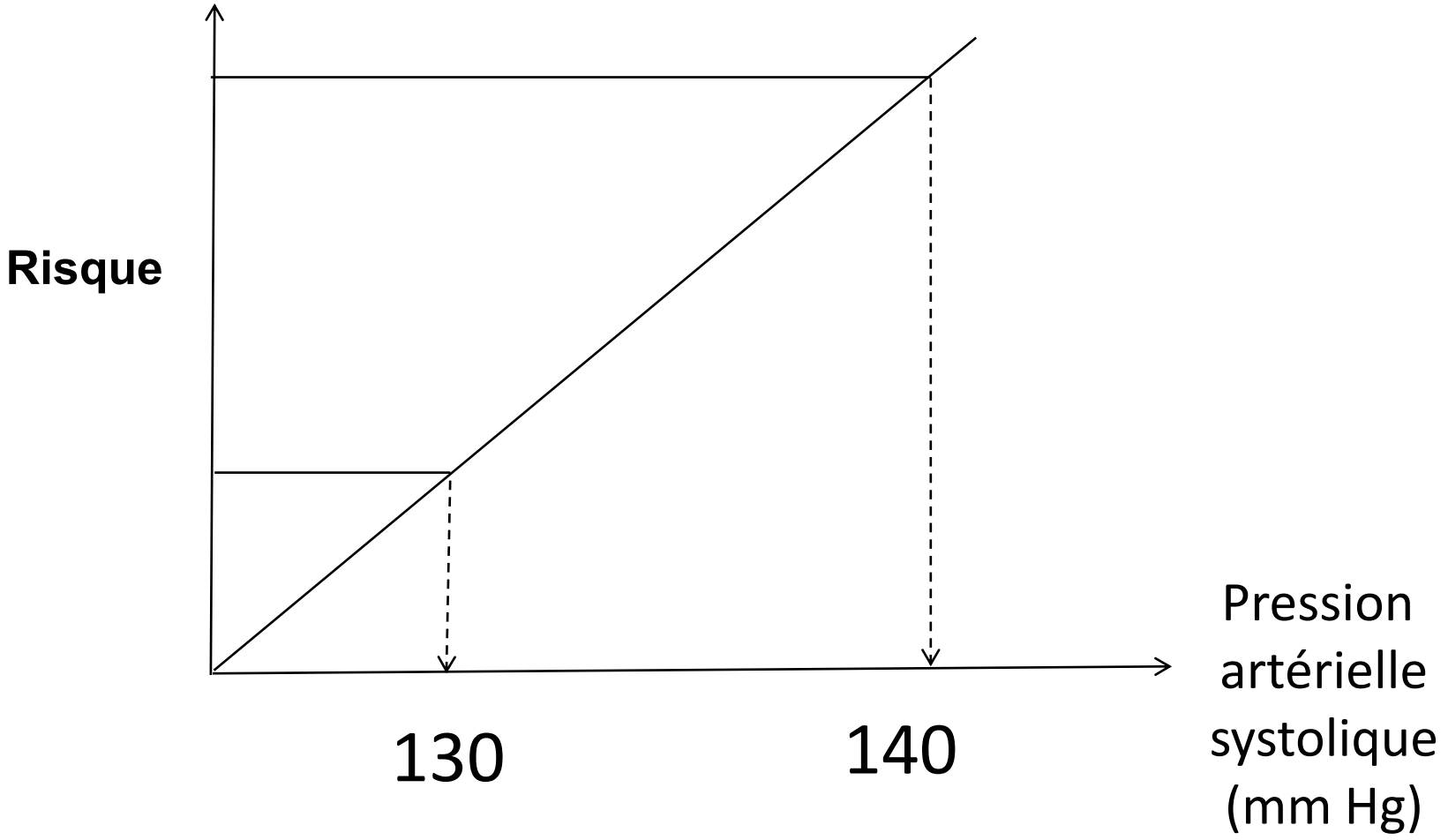
Insuffisance cardiaque

Insuffisance rénale

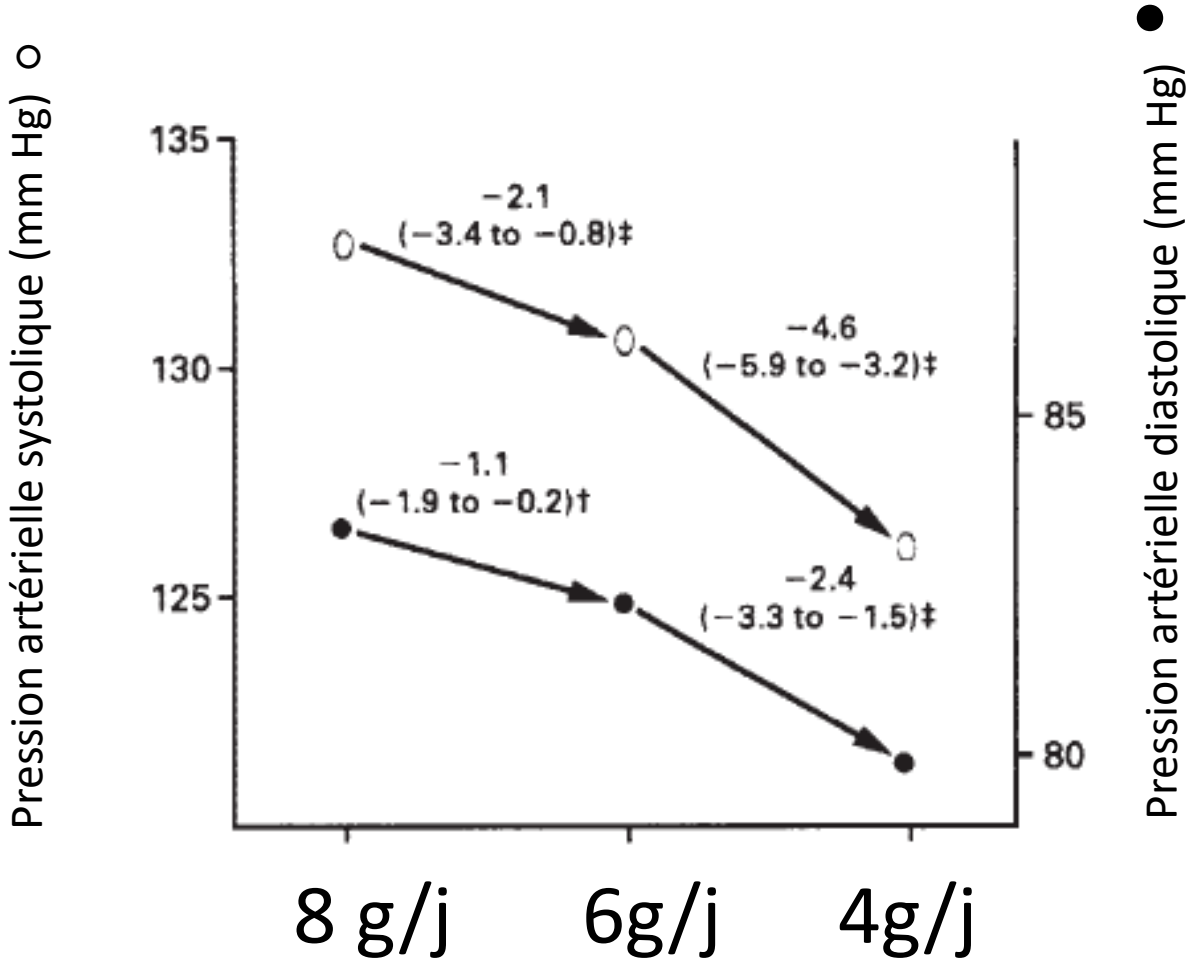
Accident vasculaire cérébral et démence vasculaire

-20 à -30 %

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



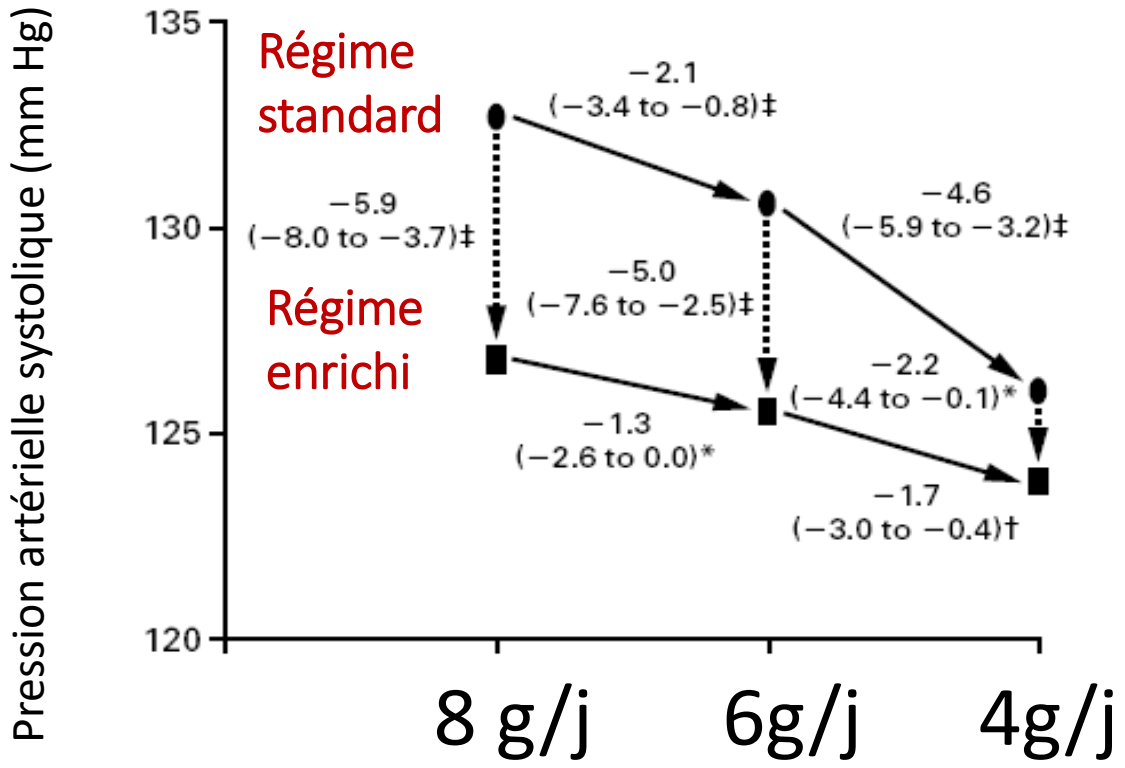
F. Effet de la réduction des apports sodés sur la pression artérielle de personnes hypertendues



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

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

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

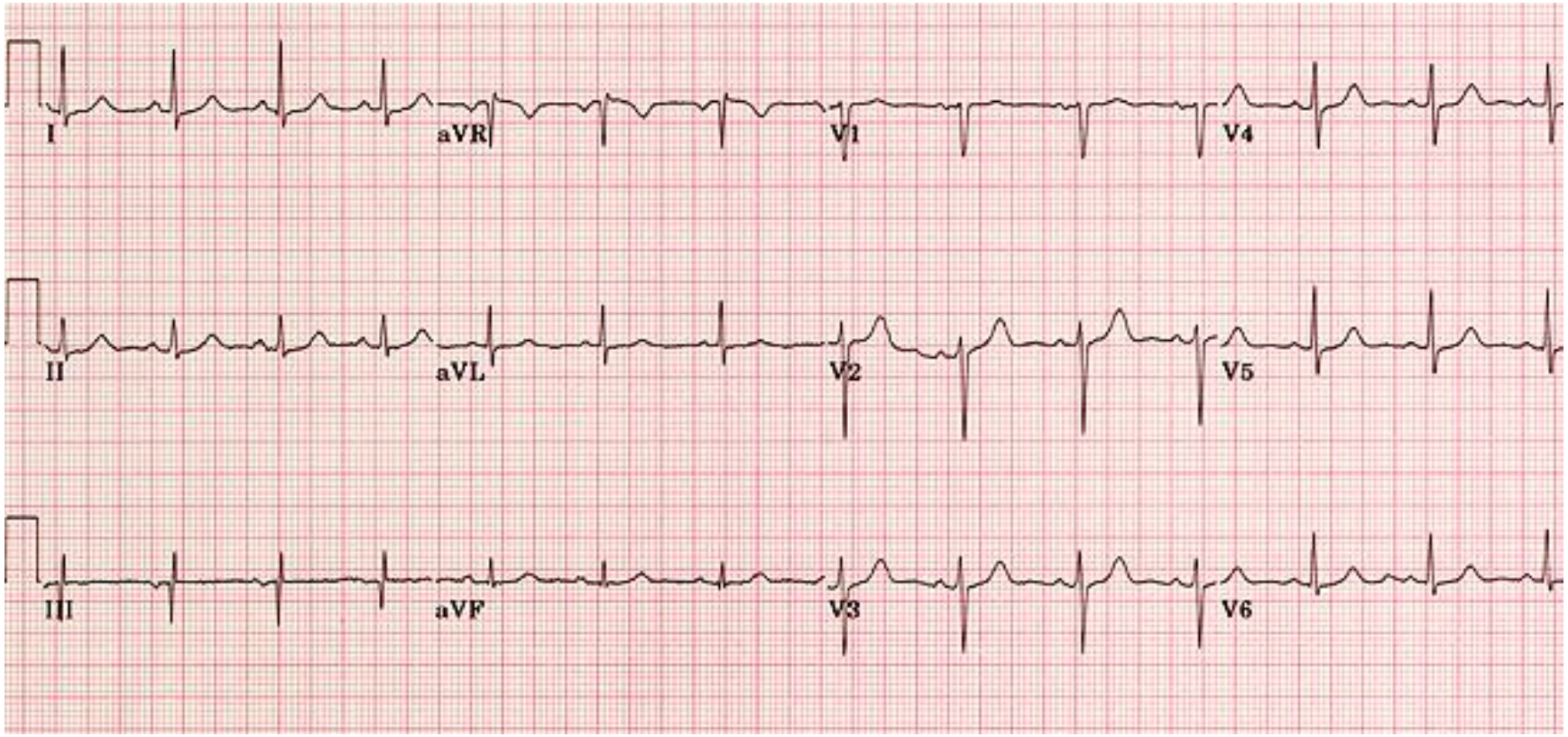
F. Approche de l'hypertension artérielle

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



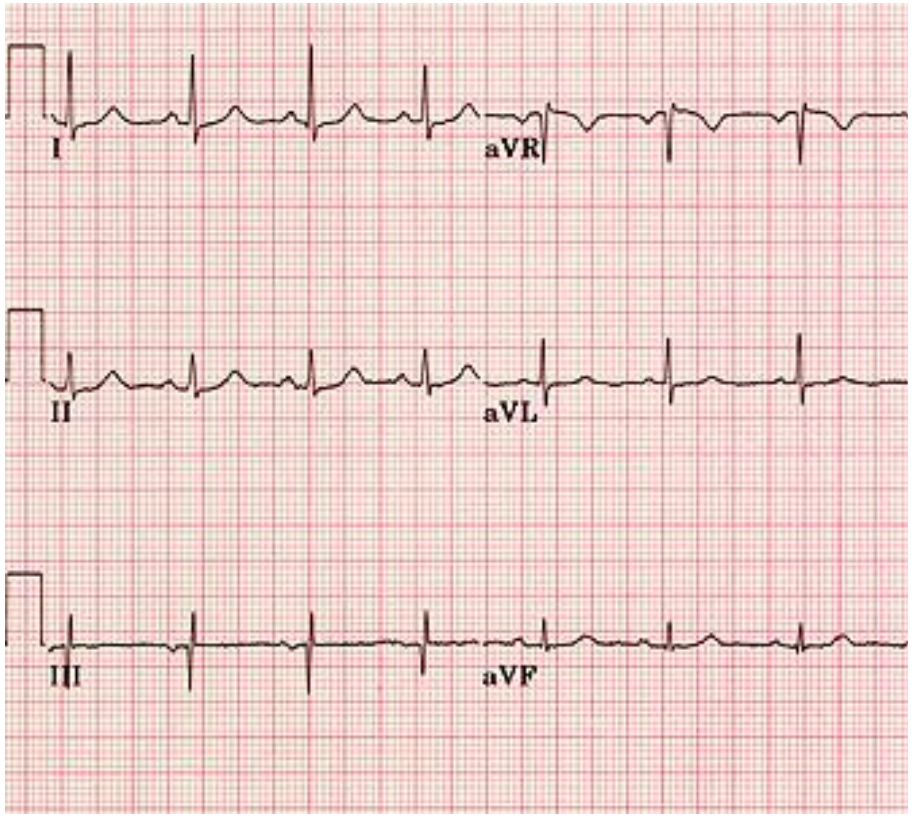
QCM 1

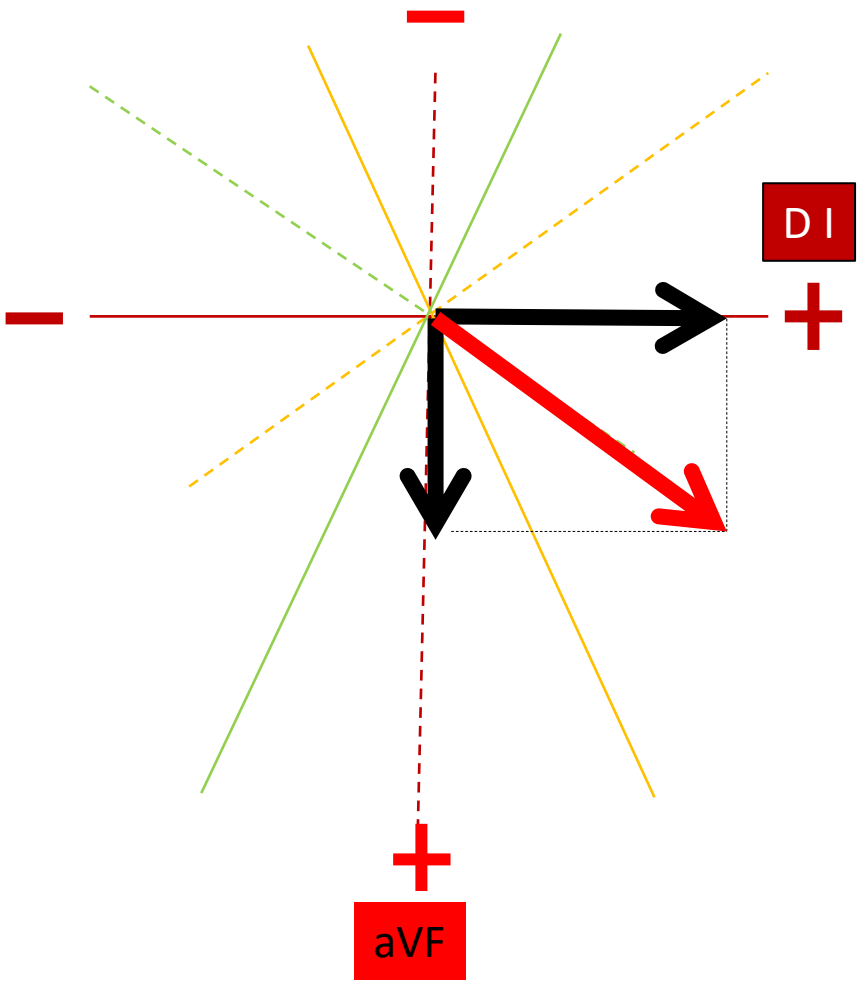
Le centre électrique du cœur correspond
à la définition suivante :

A/ position de la 3^{e} électrode précordiale ;
B/ extrémité du ventricule gauche ;
C/ centre géométrique du triangle formé par les 3 dérivations 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





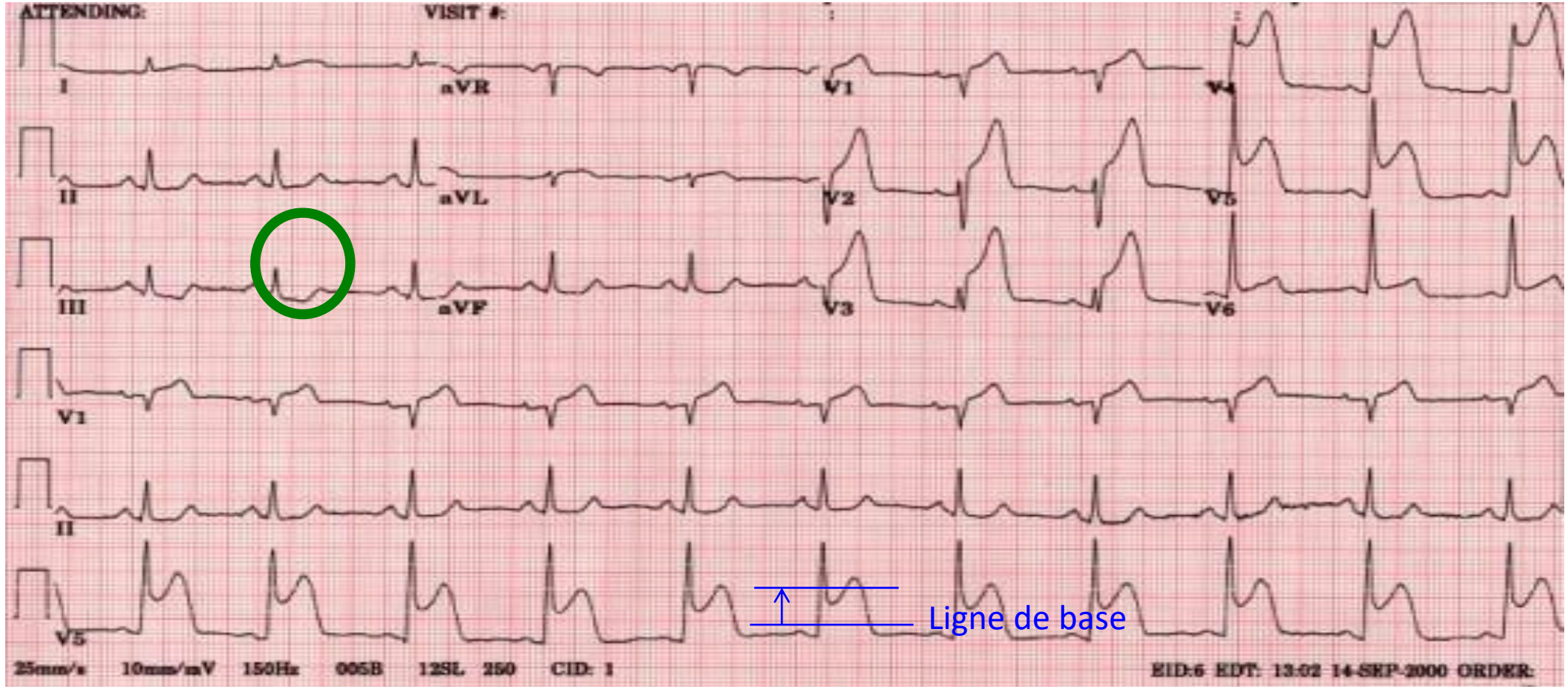
QCM

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 infarcie 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

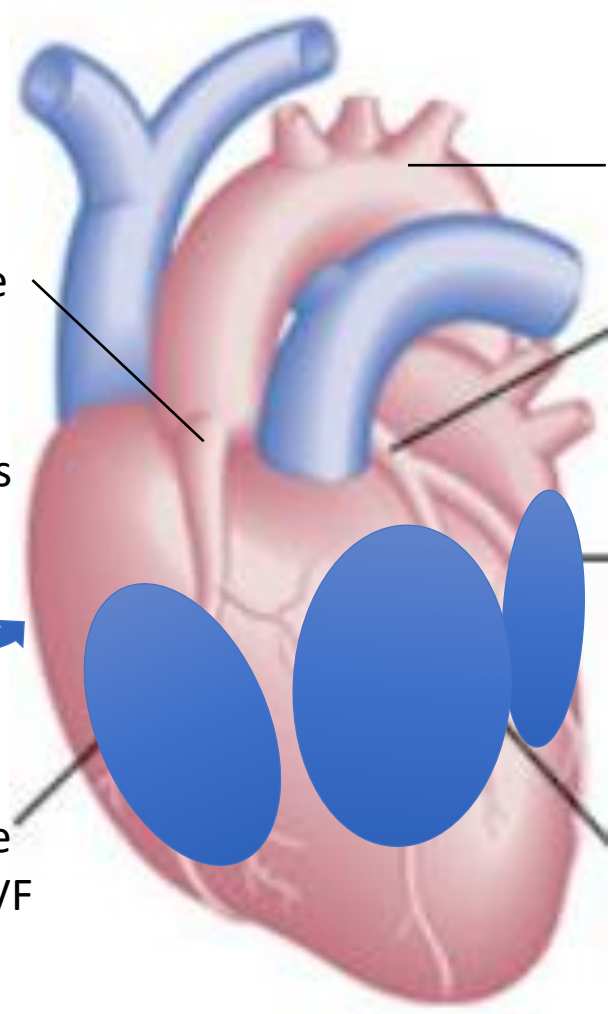
Sur cet électrocardiogramme, vous diagnostiquez une occlusion de :

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

Vue frontale



Aorte

Artère coronaire droite

Artère coronaire gauche

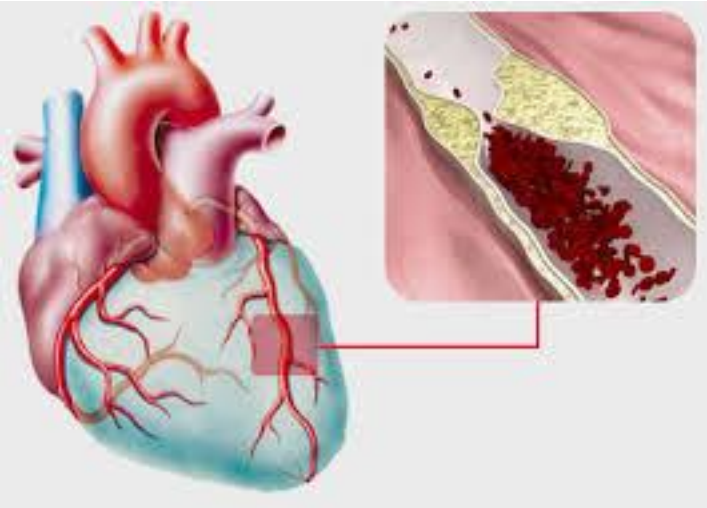
Zone postérieure
Dérivations postérieures

Zone latérale
Artère circonflexe
Dérivations DI, aVL

Zone inférieure
Artère coronaire droite
Dérivations DII, DIII, aVF

Zone antérieure du ventricule gauche
➔ Artère inter-ventriculaire antérieure
➔ Dérivations V1 à V3 (voire jusqu'à V6)

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)
- oedèmes des membres inférieurs



Interprétation des paramètres hémodynamiques

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

π = pression oncotique

Pc ↗ dans l'insuffisance cardiaque

Différence de pression sanguine

Différence de pression oncotique

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

Cœfficient de perméabilité hydraulique

Cœfficient de réflexion protéique

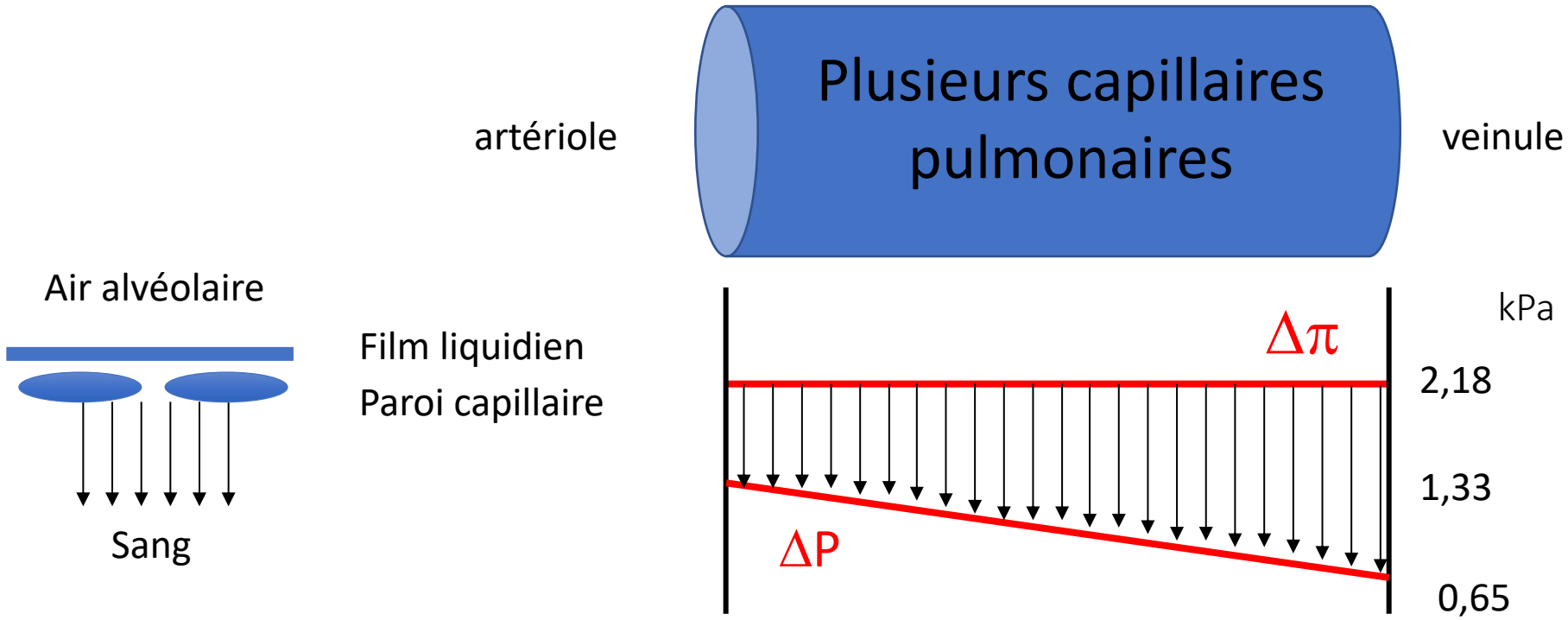
Augmentation de Pc dans l'insuffisance cardiaque

- 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

ΔP = différence de pression sanguine

$\Delta \pi$ = différence de pression oncotique

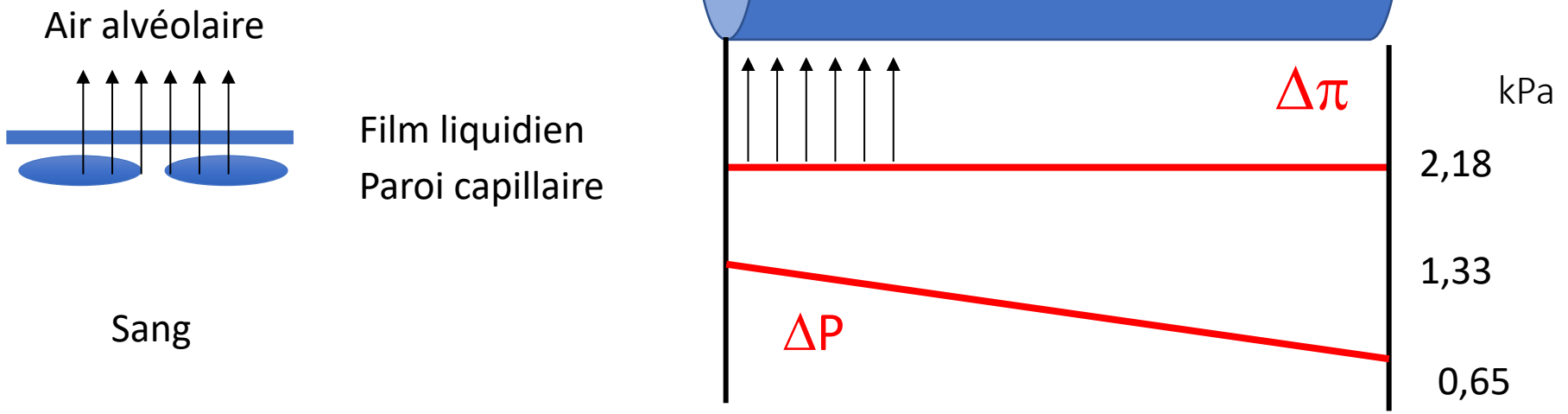


Effets de l'insuffisance cardiaque sur l'ultrafiltration dans les capillaires pulmonaires

ΔP = différence de pression sanguine

$\Delta \pi$ = différence de pression oncotique

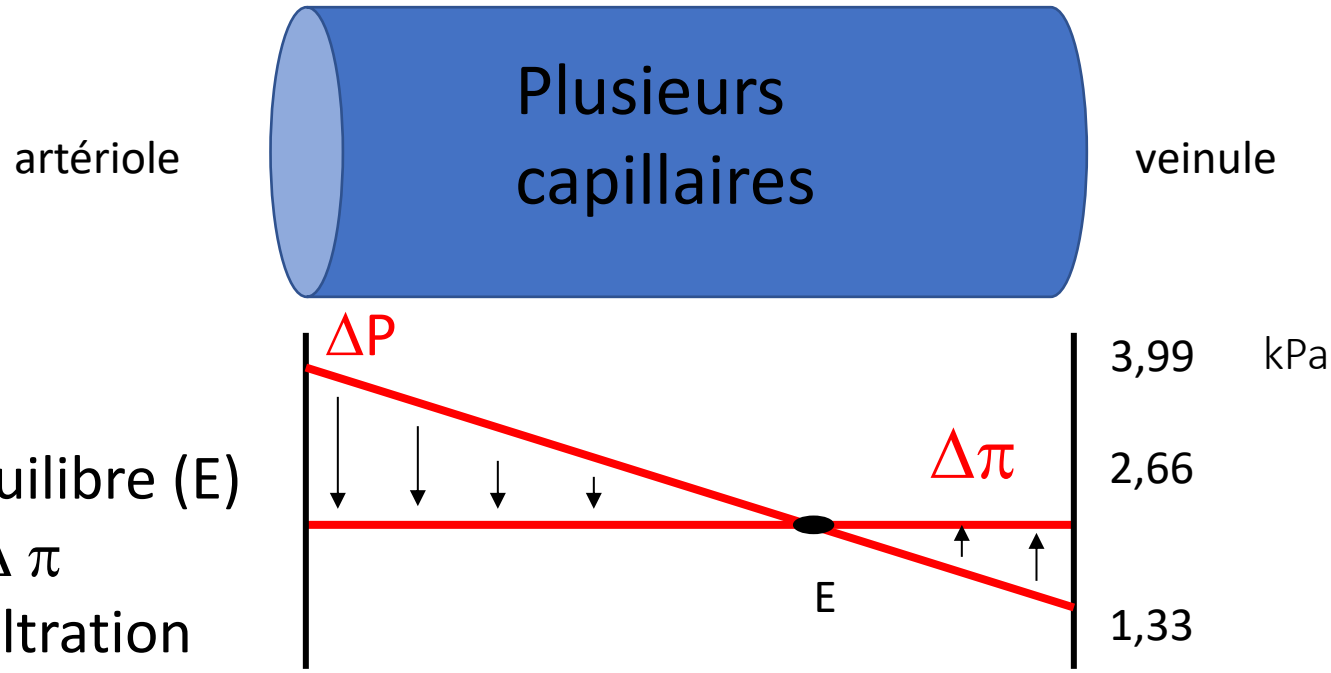
Œdème pulmonaire ➔ inondation des alvéoles pulmonaires par le plasma.



Capillaire sanguin périphérique

ΔP = différence de pression sanguine

$\Delta \pi$ = différence de pression oncotique



Au point d'équilibre (E)

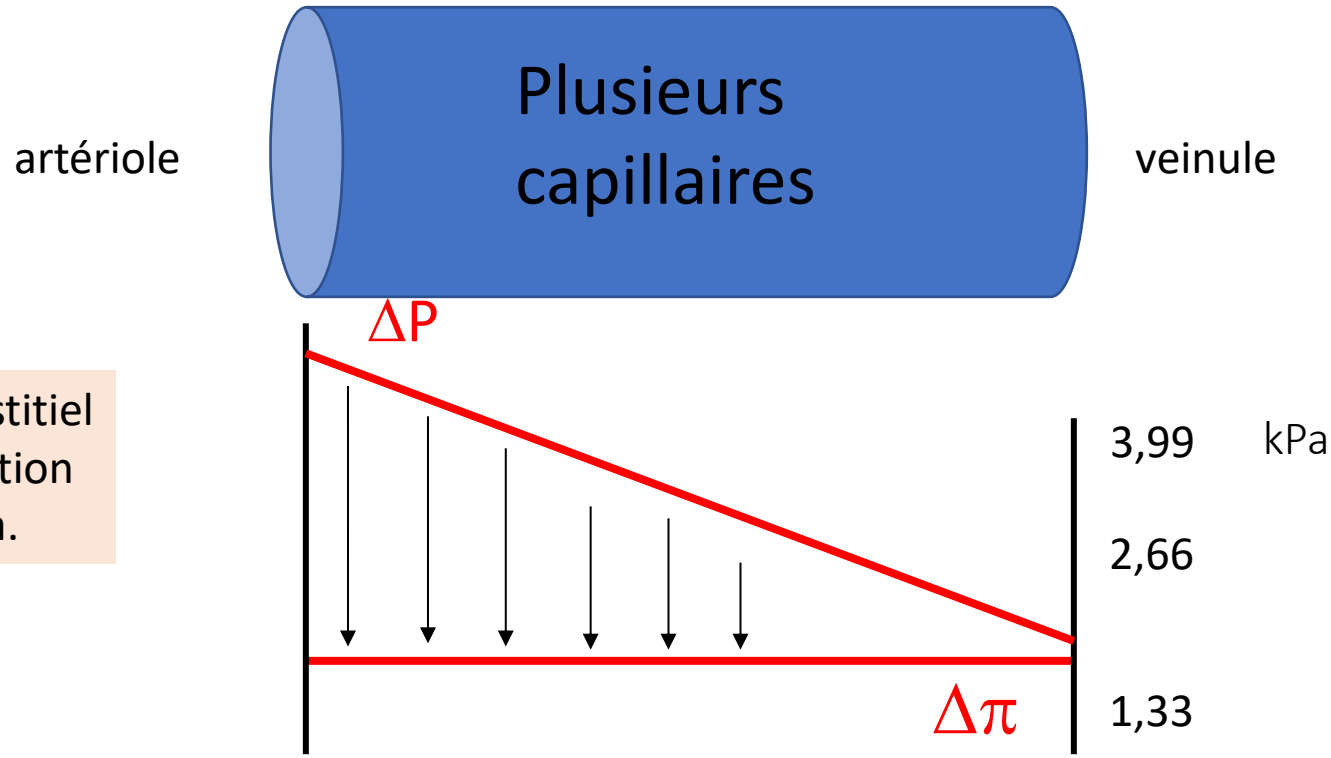
$\Delta P = \Delta \pi$

Pas d'ultrafiltration

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

ΔP = différence de pression sanguine

$\Delta\pi$ = différence de pression oncotique



Œdème interstitiel
➔ Extravasation de plasma.

QCM 5

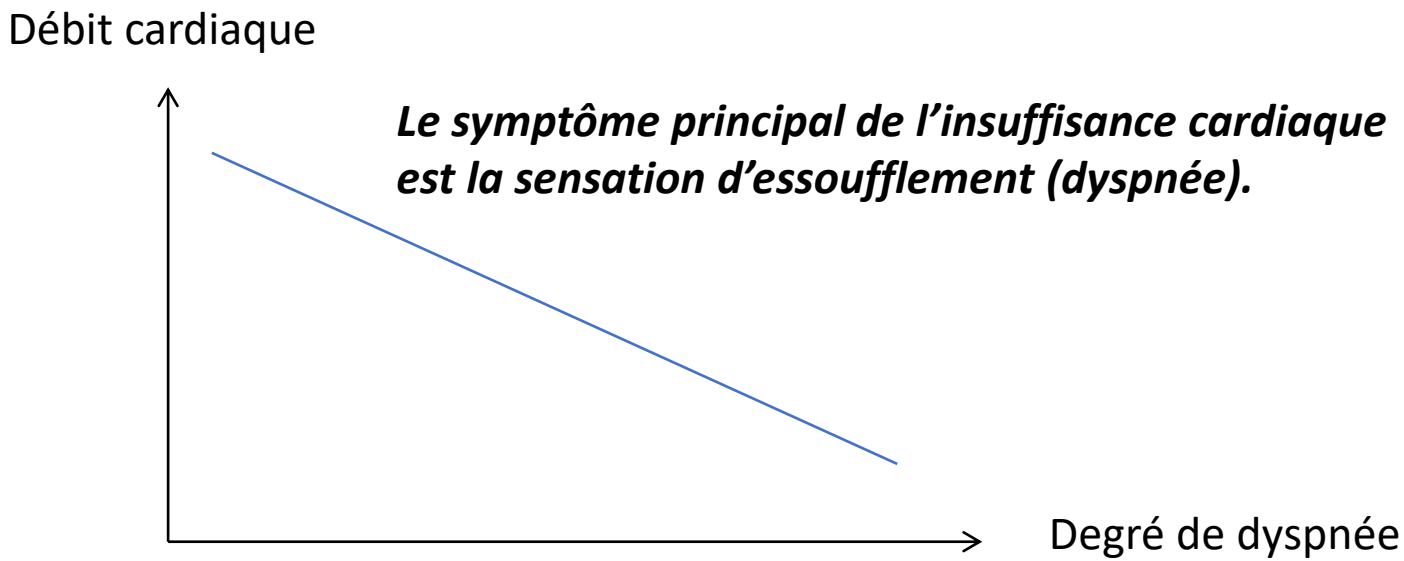
Ce patient présente une insuffisance cardiaque sévère parce que :

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



QCM 6

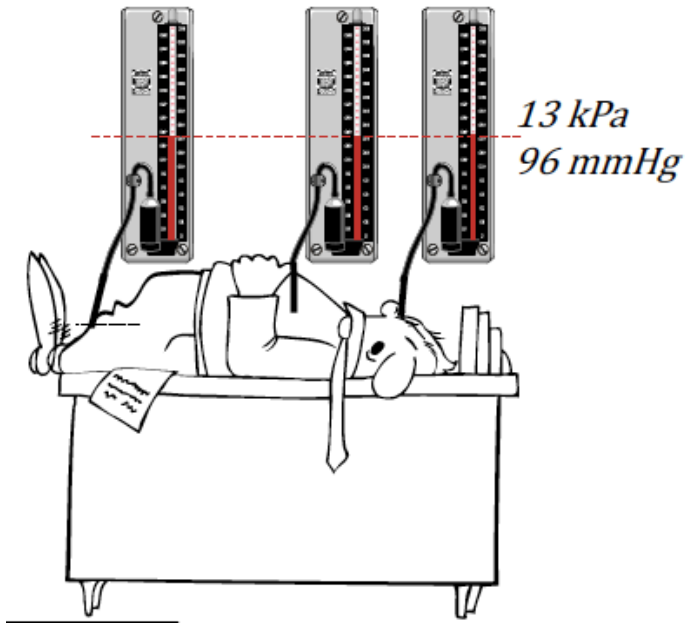
Le patient respire moins bien en décubitus qu'assis parce que la position allongée augmente :

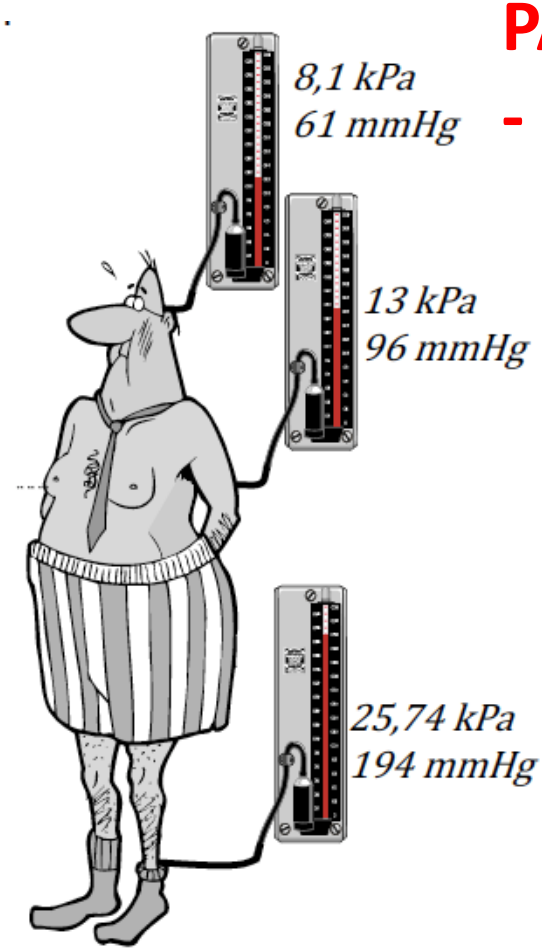
A/ le débit dans les capillaires lymphatiques ;
B/ la pression artérielle mesurée au bras droit ;
C/ la pression artérielle pulmonaire dans la partie des poumons situés au-dessus du cœur ;
D/ les zones pulmonaires concernées par l'œdème ;
E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

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 :

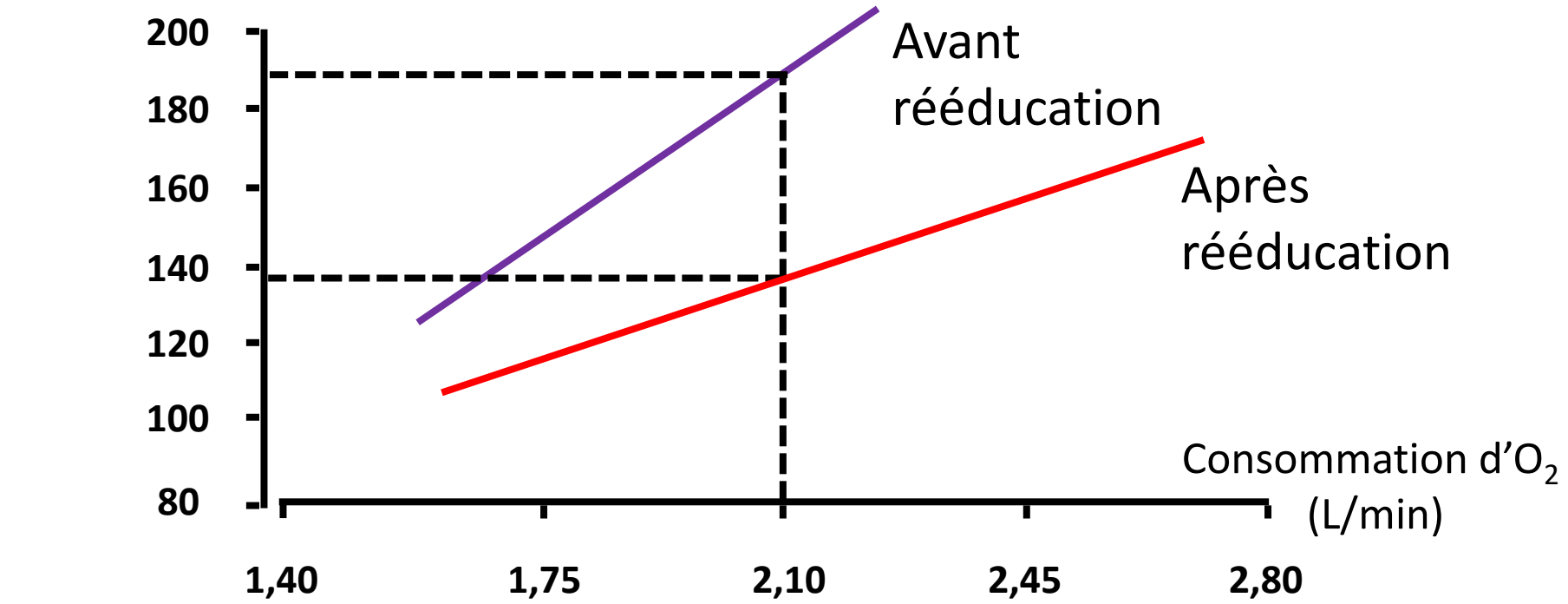
A/ une baisse de sa capacité aérobie ;
B/ une baisse de la fréquence cardiaque pour le même niveau d'effort;
C/ une augmentation de la capacité vitale ;
D/ une augmentation de la pression artérielle ;
E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Réponse : B

Rééducation cardio-vasculaire

Consommation d'O_2 ⇔ fréquence cardiaque x volume d'éjection systolique

Effet de la rééducation
➔ augmentation du volume d'éjection systolique



Merci pour votre attention !

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR | FACULTÉ DE MÉDECINE

Prochain cours présentiel

Compartimentation fonctionnelle des métabolismes