

CCO Physiologie appliquée

Décembre 2012

EQUILIBRE IONIQUE ET OSMOTIQUE  
DANS LE MONDE ANIMAL

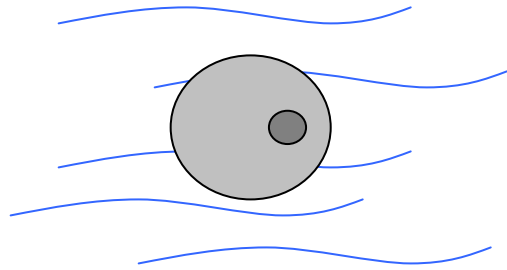
Dr M.FLAMANT

Physiologie

Hôpital Bichat – GHU Nord

# Introduction

- . H<sub>2</sub>O indispensable aux processus physico-chimiques
- . Origine de la vie en milieu marin



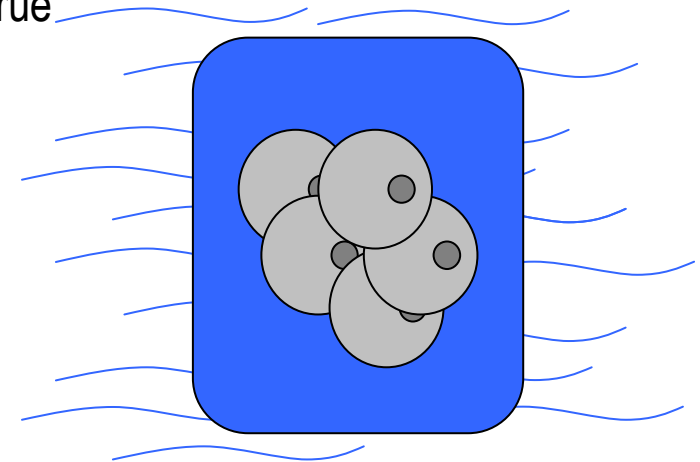
Evolution → pluricellularité

- . Compartimentation des volumes liquidiens avec apparition d'un liquide extra-cellulaire

Représente l'eau d'origine dans lequel la vie monocellulaire est apparue

Le liquide extracellulaire joue un rôle tampon

Rôle nourricier par imbibition

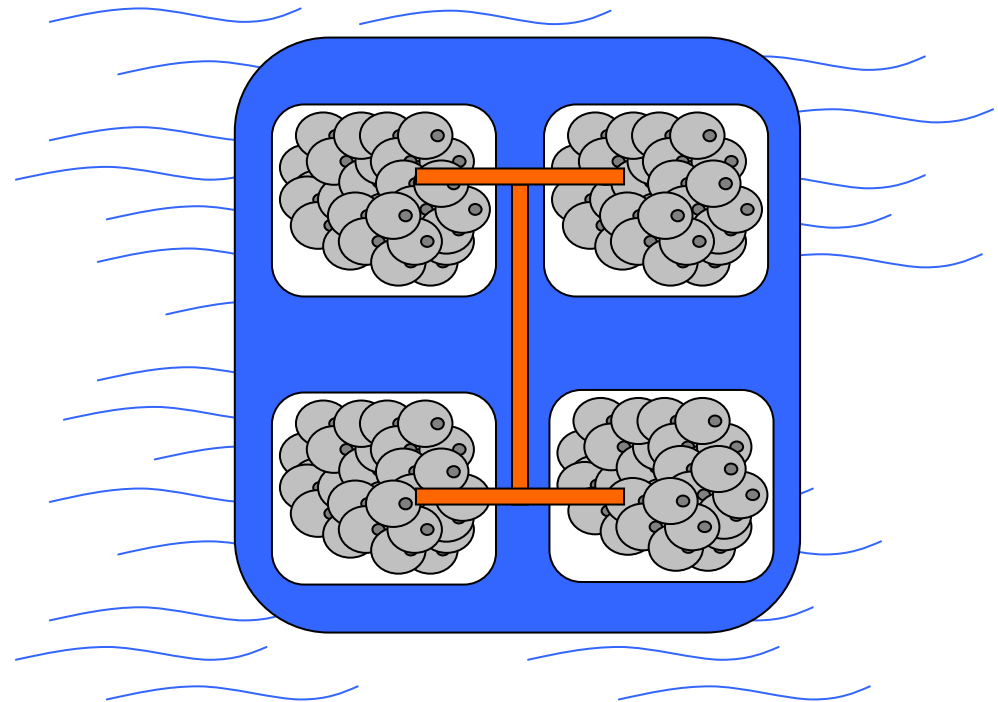


Evolution → tissus

L'augmentation de la cellularité a été conditionnée par la spécialisation du système nourricier.

Sous-compartmentation du liquide extracellulaire

Liquide extra-cellulaire différent en composition mais de même osmolarité que le milieu extérieur



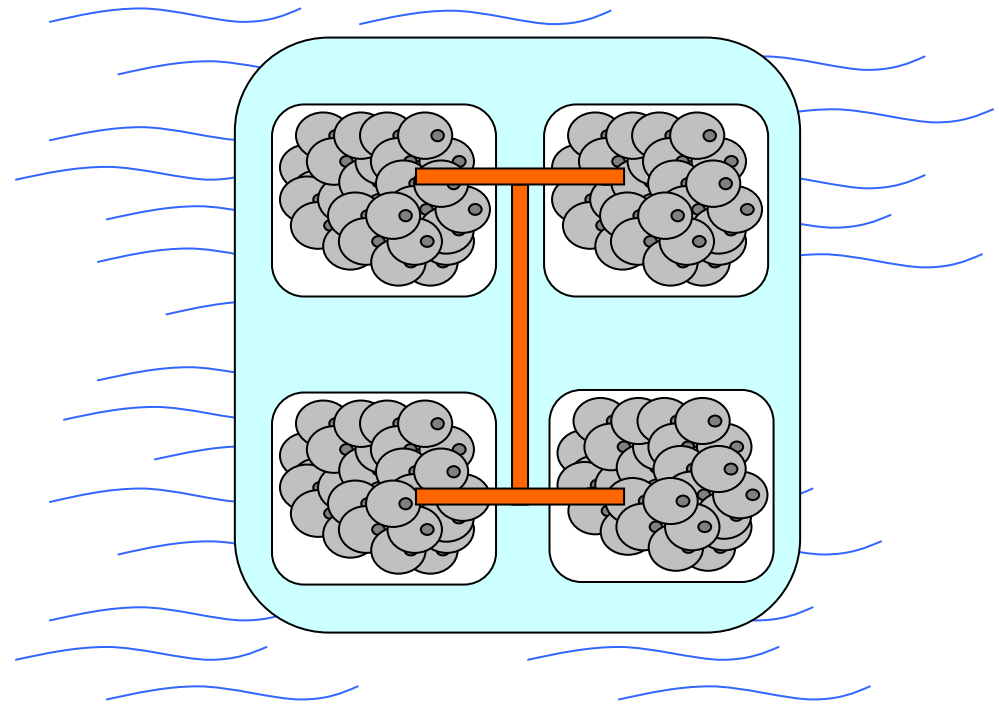
Evolution → environnement interne stable et différent de l'environnement

= repousse les limites de répartition géographique

La répartition géographique des animaux est limitée par des facteurs environnementaux dont la nature osmotique du milieu environnant.

Le maintien d'une osmolarité extracellulaire stable malgré des modifications de l'environnement osmolaire = osmorégulation

Permet le passage de la vie en eau douce puis en milieu aérien.



# Composition des milieux liquidiens

chez la plupart des animaux

electrolytes = 90% du pouvoir osmotique extracellulaire

solutés organiques = 75% du pouvoir osmotique intracellulaire – solutés organiques

Composition extrêmement variable

Invertébrés marins (mollusques / crustacés / méduses...)

## ISOOSMOTIQUES

Composition ionique extracellulaire = eau de mer  $\text{Na}^+$   $\leftrightarrow$

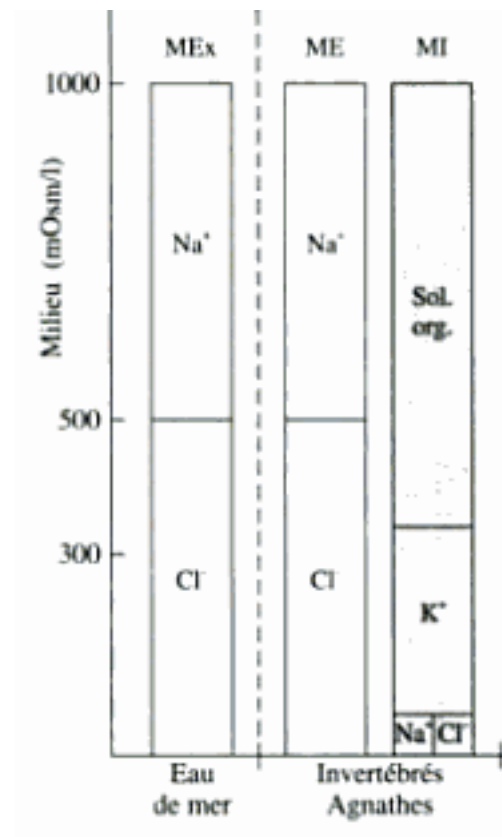
OsmoEC = Osmo Extérieur  $\text{H}_2\text{O}$   $\leftrightarrow$

Composition ionique intracellulaire différente mais iso-omotique

Énergie pour maintenir différence ionique (Na/K ATPase)

Milieu intérieur stable

Pas de problématique hydroosmolaire sauf modification du milieu extérieur



Vertébrés marins

POISSONS OSSEUX (elasmobranches)

COELACANTHE

SELACIENS (Requin – raie)

Composition ionique extracellulaire = 1/2 NaCl extérieur

OsmoEC = Osmo Extérieur (1/2 pouvoir osmotique = Urée)

Composition ionique intracellulaire différente mais iso-omotique

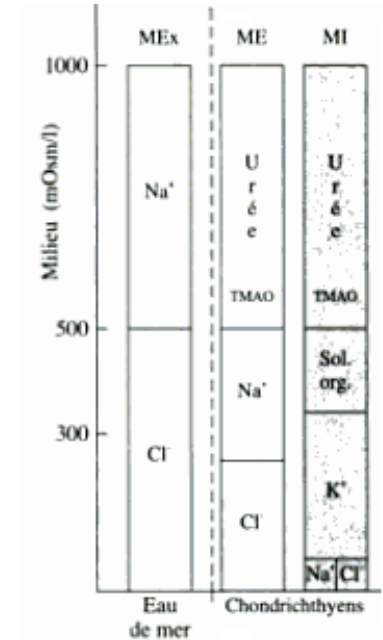
→ Iso-osmotiques

Problématique = perte d'Urée et gain de NaCl

H<sub>2</sub>O ↔

Na<sup>+</sup> ↑

Urée ↓



TELEOSTENS MARINS (la plupart des poissons d'eau de mer)

Composition ionique extracellulaire = 1/3 eau de mer

→ Hypo-osmotiques

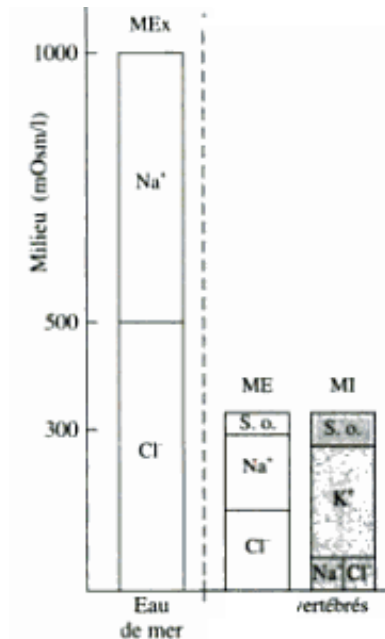
H<sub>2</sub>O ↓

Na<sup>+</sup> ↑

Composition ionique intracellulaire différente mais iso-omotique

Problématique = perte hydrique et gain sodé (DIC et HEC)

Les poissons d'eau de mer luttent contre la déshydratation intracellulaire



## ANIMAUX DULCIFORMES (eau douce)

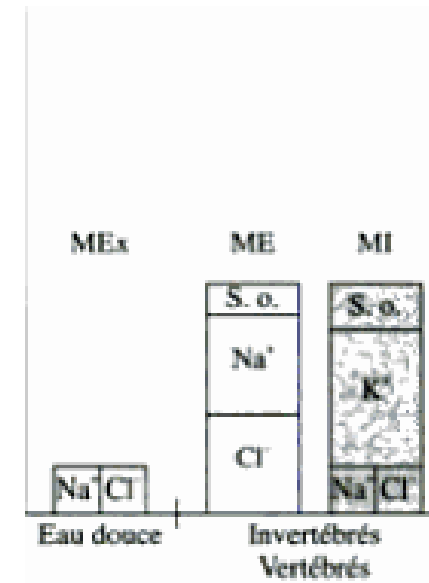
Composition ionique extracellulaire = 1/3 eau de mer

→ Hyper-osmotiques

$H_2O \uparrow$   
 $Na^+ \downarrow$

Problématique = gain hydrique et perte sodée (HIC et DEC)

Composition ionique intracellulaire différente mais iso-omotique

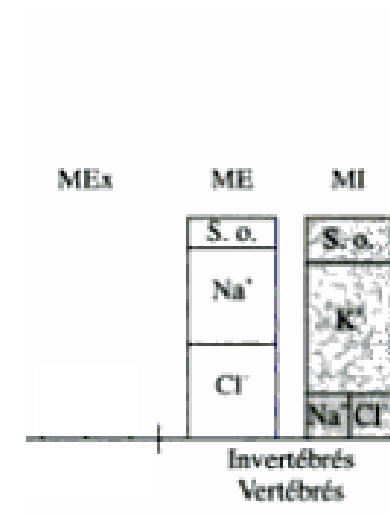


## ANIMAUX TERRESTRES

Composition ionique extracellulaire = 1/3 eau de mer

Milieu extérieur non aqueux = entrées non directement déterminé par le milieu environnant

De façon générale  $H_2O \downarrow$   
 $Na^+ \downarrow$



# Osmorégulation

## 1/ Espèces sténohalines

Absence de régulation de l'osmolarité  
Vie incompatible avec des modifications salines importantes  
Limitation géographique

Exemple : coraux



## 2/ Espèces euryhalines

Espèces ayant une capacité à réguler leur osmolarité extracellulaire en réponse à

A - Modification du milieu extérieur (conditions aquatiques)

- changement volontaire de milieu (migration remontée de cours d'eau ex: Saumon - Anguille)
- modification dans le temps de la salinité locale (ex: poissons, crustacés ou mollusques des régions estuariennes)

B- Variation des apports hydro-osmotiques (espèces aériennes)



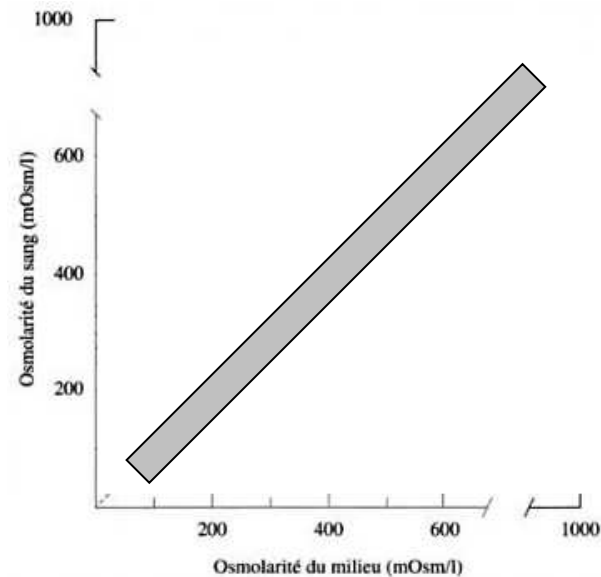


## Différents types de régulation

### 1- Osmoconformes

Osmolarité du milieu intérieur suit l'osmolarité du milieu extérieur

Concerne la plupart des invertébrés marins pour lesquels l'osmorégulation n'est pas nécessaire (mollusques et certains vers)



### Mécanismes de survie des osmoconformes

Régulation intracellulaire par modulation des osmolytes organiques

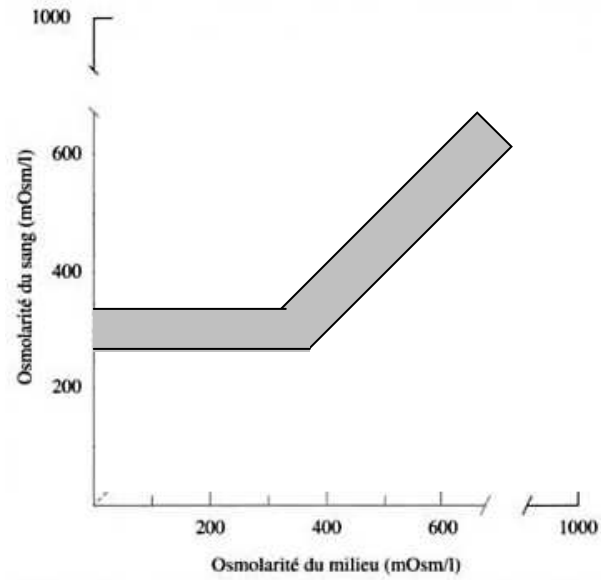
Baisse de l'osmolarité : baisse des synthèses protéiques et perte d'AA intracellulaire

Augmentation de l'osmolarité : augmentation des synthèses protéiques

## Différents types de régulation

### 1a- Osmorégulateurs partiels

Osmolarité reste stable en situation hyposomotique → Hyperosmorégulateurs  
Osmoconformes en situation hyperosmotique



Exemples: néreide

Eau de mer < 9 g/L osmorégulateur

Eau de mer > 9g/L osmoconforme

## 2- Osmorégulateurs

Osmolarité reste stable quel que soit l'osmolarité → Hyperhypoosmorégulateurs ou Homeosmotiques

### A- Vertebres marins

Dans leur milieu naturel  
En eau saumâtre ou douce

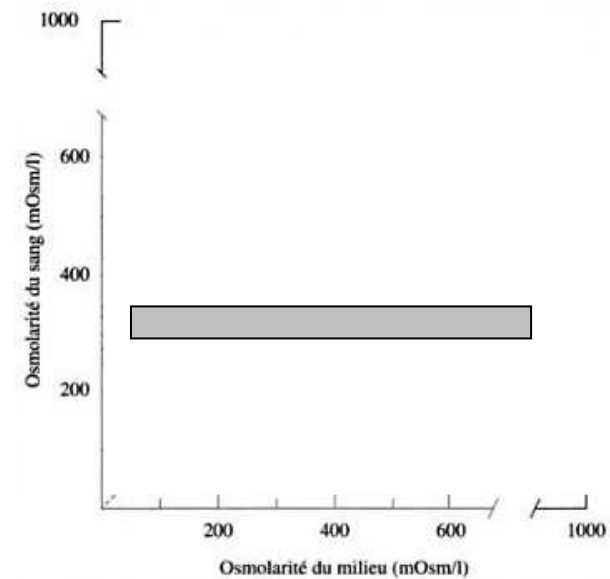
hypoosmoregulateurs  
hyperosmoregulateur

Forts

Faibles

Poissons migrateurs

Selaciens dont l'osmolarité est élevée



### B- Mammifères et arthropodes

Une osmorégulation complète est le pré-requis à une vie où les concentrations osmolaires entrantes ne sont pas stabilisées.

Chez les mammifères, rôle principale du rein

# Mécanismes de l'Osmorégulation

## ISOOSMOTIQUES

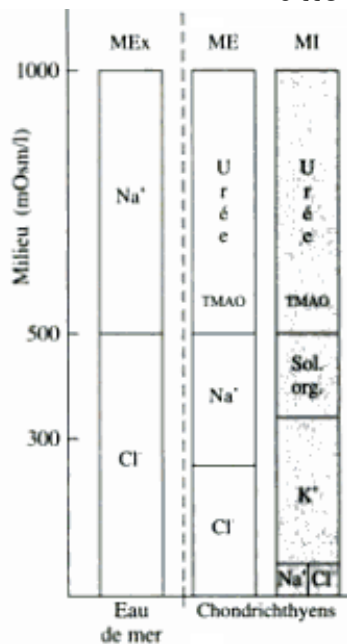
### Invertébrés marins

osmolarité et composition similaires à l'environnement  
pas de phénomène actif nécessaire

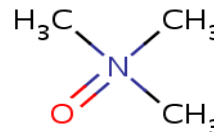
### Vertébrés (sélaciens)

Osmolarité similaires à l'environnement  
Lutte contre l'intoxication au NaCl et à la perte d'Urée

#### A- Lutte contre la perte d'urée



- . ↑↑ réabsorption tubulaire rénale d'urée (EF10% vs 40% chez l'homme)
- . ↑↑ production d'Urée par cycle de l'urée
- . Présence d'un stabilisateur protéique (oxyde de triméthylamine ou TMAO) empêchant la dénaturation protéique par l'urée.



TMAO

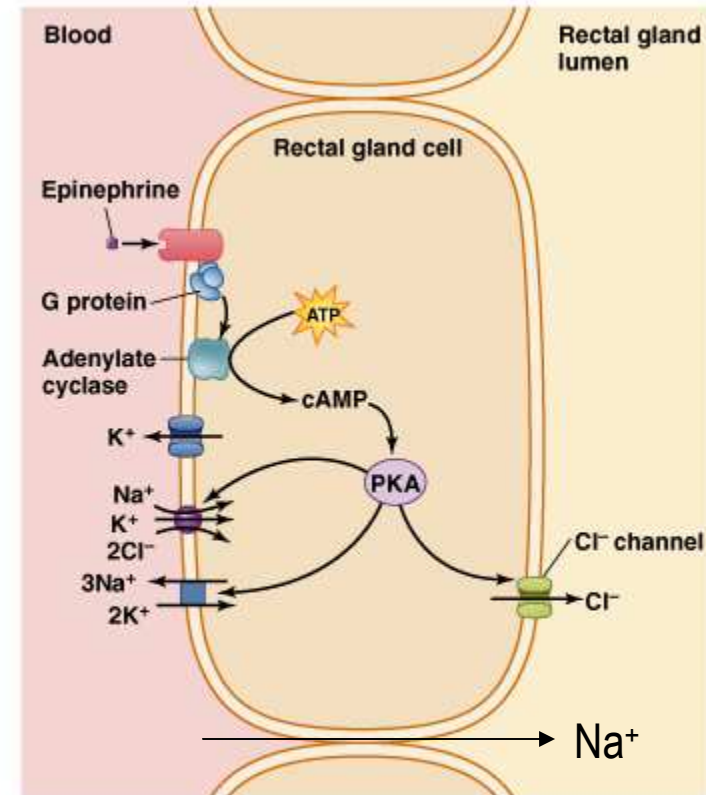
## B- Lutte contre l'intoxication par le NaCl

. Diffusion passive de  $\text{Na}^+$  dans les branchies | ← Entrée  $\text{Na}^+$   
. Urines isotoniques

. Boivent peu  
. Sécrétion nette de  $\text{Na}^+$   
. par des glandes rectales | ← Sortie  $\text{Na}^+$

### Cellule polarisée

NaKCl2 énergisée par Na/K ATPase  
Permet un transport de  $\text{Cl}^-$  du sang vers le milieu extérieur  
Sécrétion de  $\text{Na}^+$  suivant un gradient électrique



# HYPOOSMOTIQUES

## Vertébrés en milieu marin

Poissons téléostéens

Mammifères marins

Reptiles marins

Contenu en NaCl inférieur à l'environnement

Lutte contre l'intoxication par le NaCl (diffusion passive branchiale)

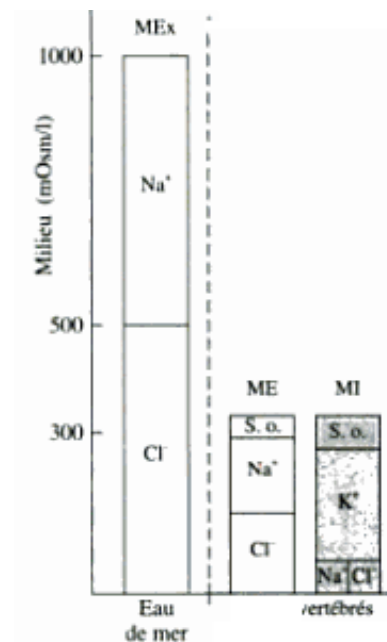
Osmolarité inférieure à l'environnement

Lutte contre la perte d'eau

Poissons+++ (branchies et téguments)

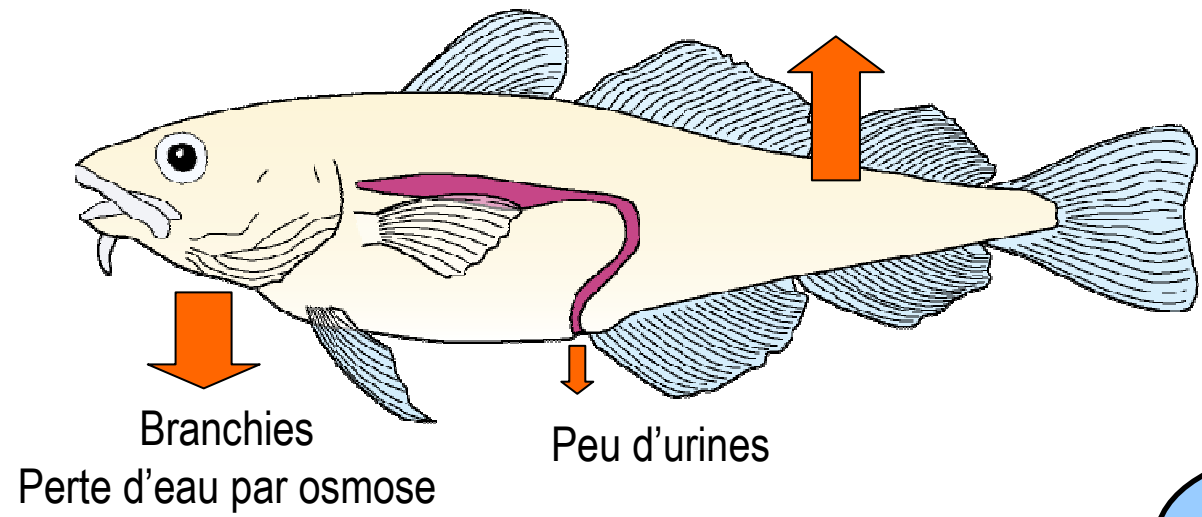
Mammifères 0 (tégument imperméable)

→ Moyens différents en fonction des espèces



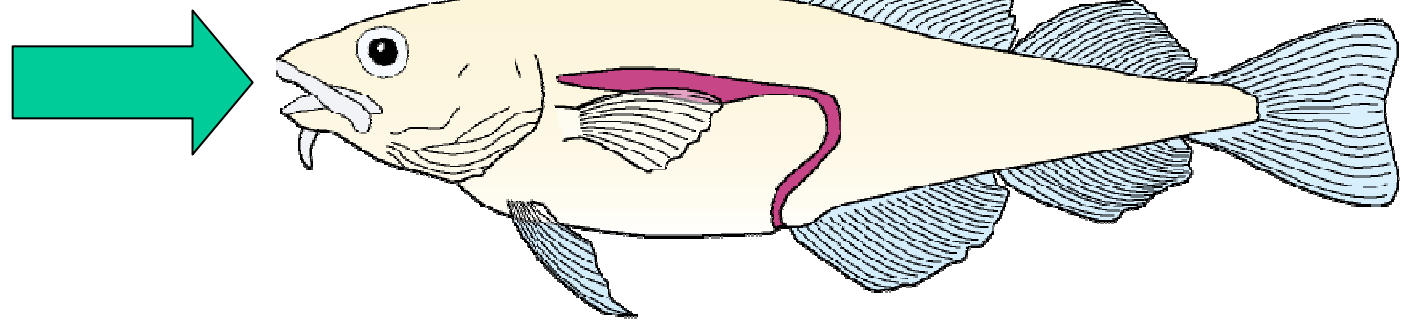
Poissons téléostéens

Tégument  
Perte d'eau par osmose (fonction des espèces - écailles)



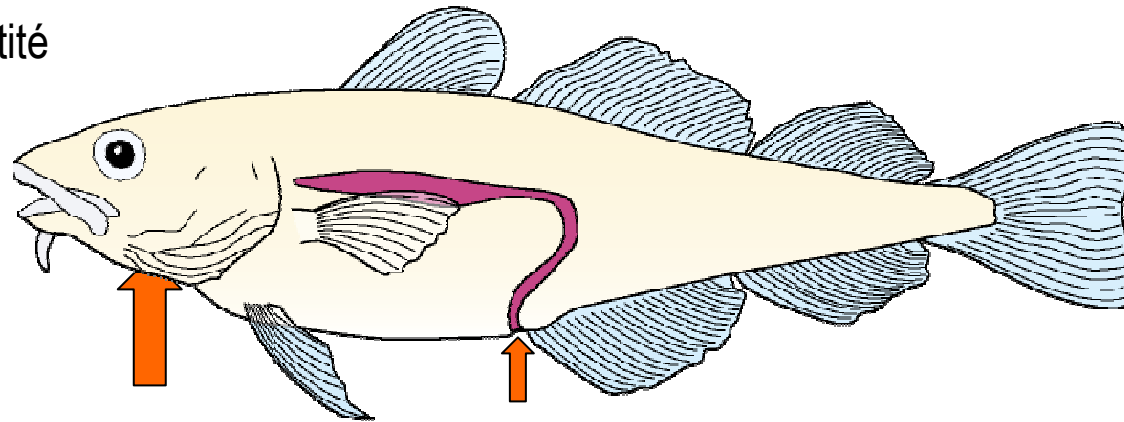
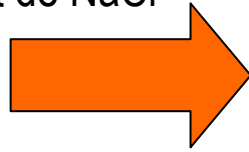
H2O

Boivent en grande quantité



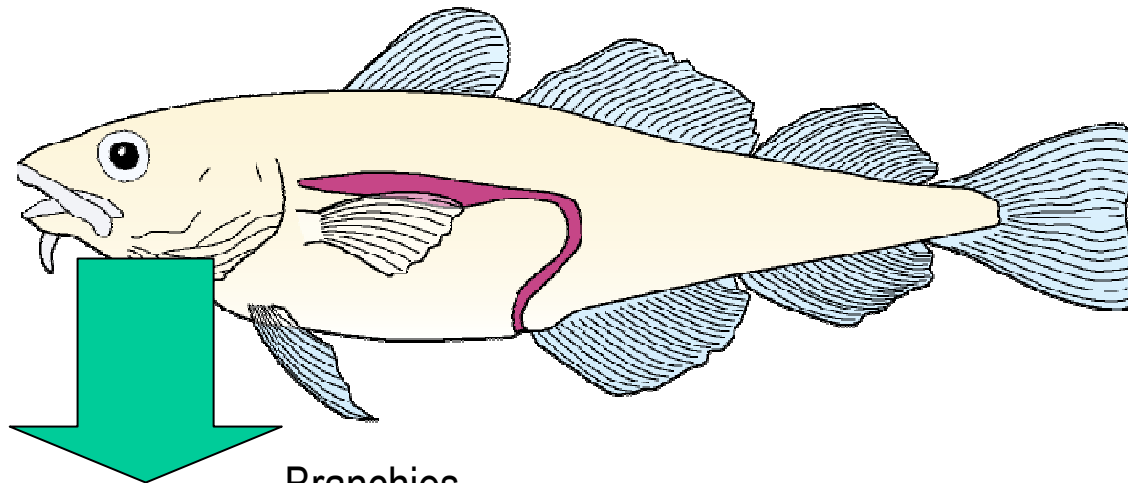
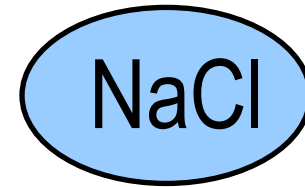
Poissons téléostéens

Boivent en grande quantité  
= Apport de NaCl



Branchies  
Gain de NaCl par osmose

Urines isotoniques  
(gain relatif)



Branchies  
Sécrétion active de NaCl



## Branchies

### Sécrétion active de NaCl

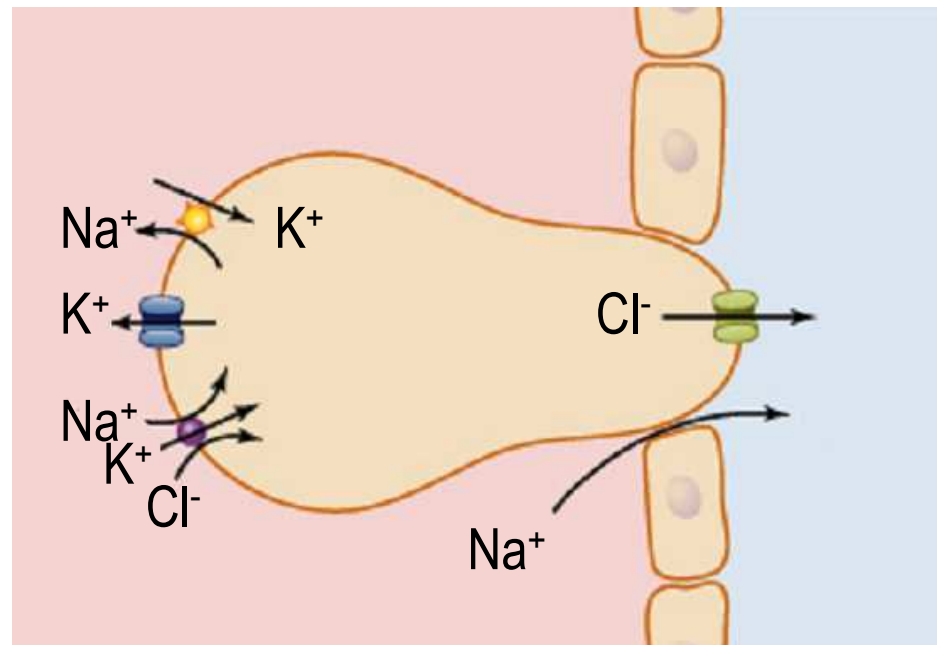
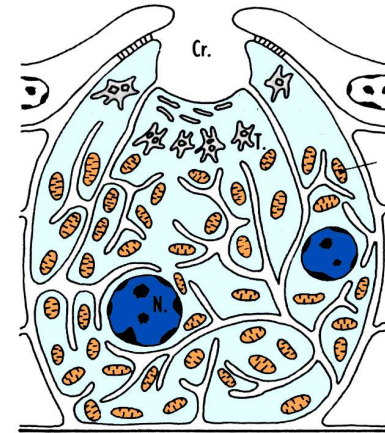
. par les branchies par les cellules à chlore

Cellule polarisée

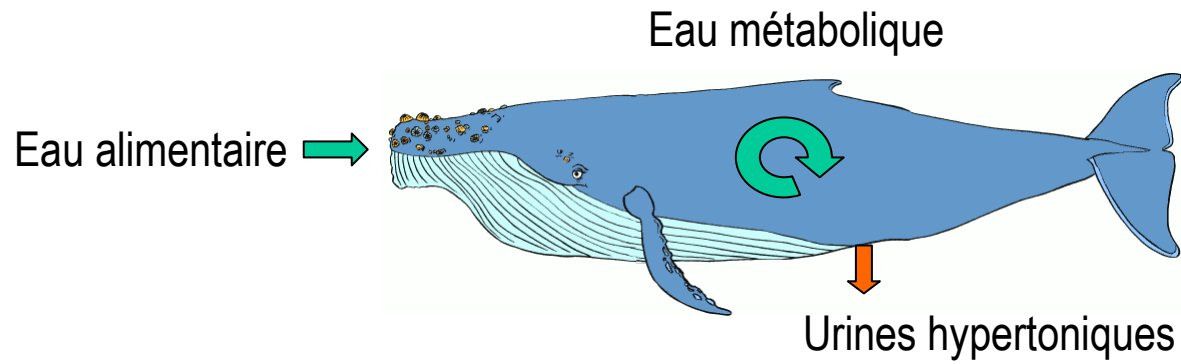
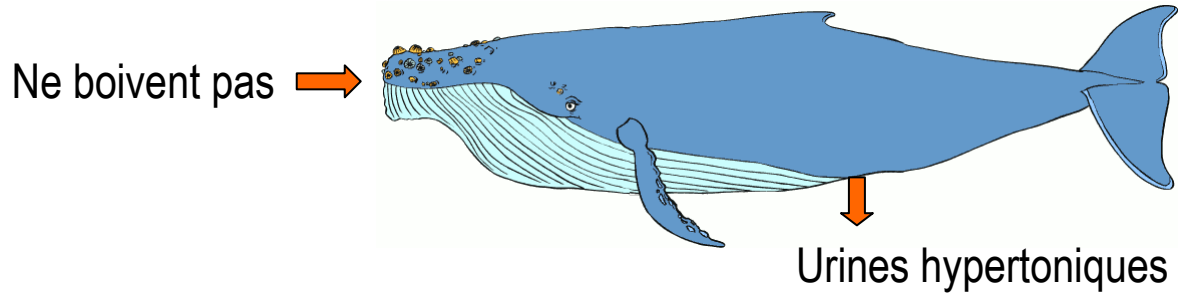
NaKCl<sub>2</sub> énergisée par Na/K ATPase

Permet un transport de Cl<sup>-</sup> du sang vers le milieu extérieur

Sécrétion de Na<sup>+</sup> suivant un gradient électrique



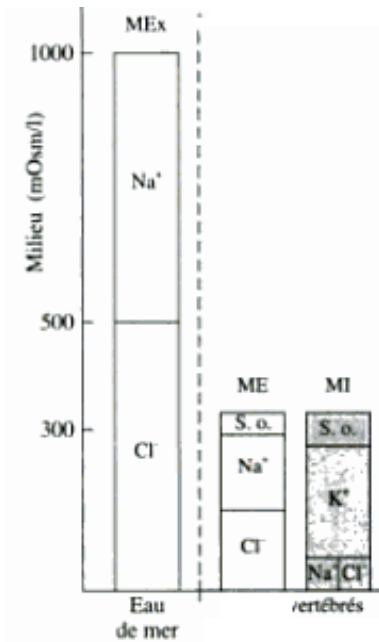
# Mammifères marins



NaCl

H<sub>2</sub>O

→ Milieu intérieur isolé du milieu extérieur



# HYPEROSMOTIQUES

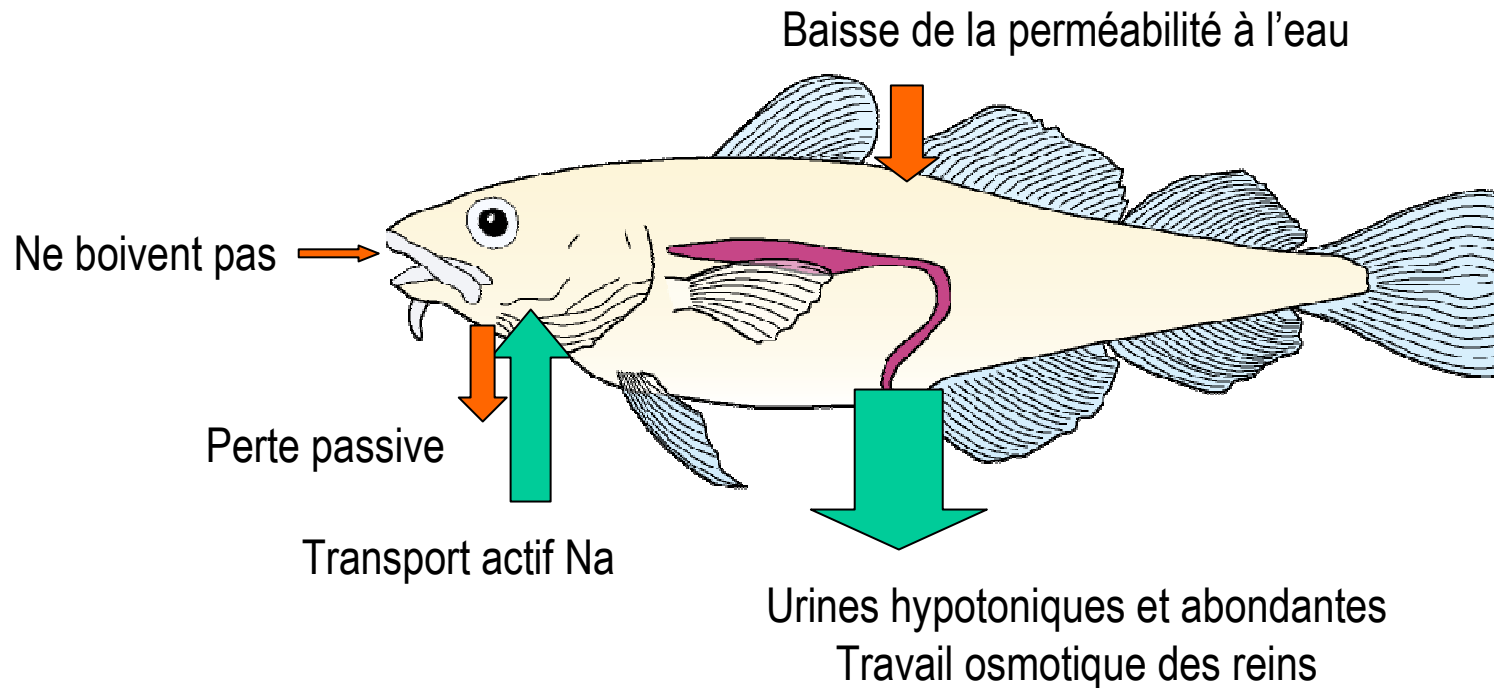
- . Poissons d'eau douce
- . Poissons marins en eau saumâtre ou douce

Contenu en NaCl supérieur à l'environnement

Perte de NaCl (diffusion passive branchiale)

Osmolarité supérieure à l'environnement

Intoxication à l'eau passive (Boissons – tégument par osmose – branchies par osmose)



# VERTEBRES AERIEN EN SITUATION D'EXPOSITION A UN MILIEU HYPEROSMOLAIRE

2 possibilités

1/ Capacité à concentrer ses urines à une valeur d'OsmoU supérieure à l'eau

Mécanisme « privilégié » par les mammifères

Mammifères marins Cf Supra baleine

ne boivent pas de façon adaptée  
urines très concentrées

Mammifères des régions désertiques

ne boivent pas de façon contrainte  
urines très concentrées (jusqu'à 30 fois la concentration plasmatique)

2/ Sécrétion extra-rénale de Na

Ex: oiseaux marins

Urines +/- hypertoniques (maximum 2 fois la concentration plasmatique)

Boivent l'eau de mer

Sécrétion de NaCl par des glandes à NaCl



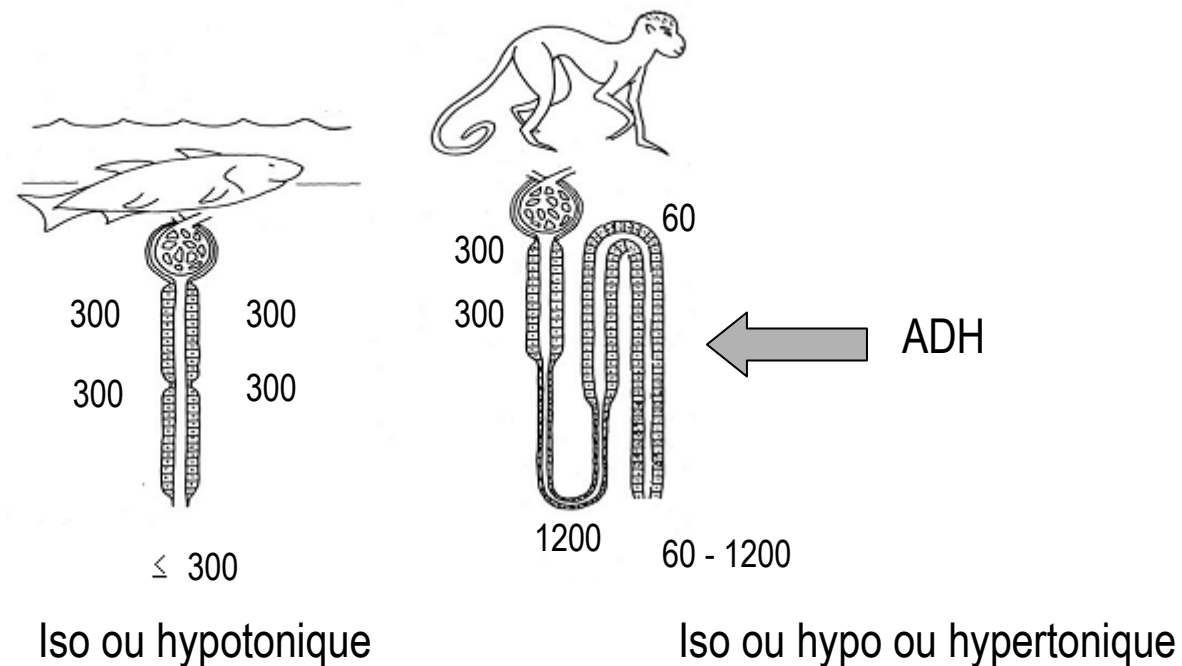
# MECANISMES DE CONCENTRATION DE L'URINE CHEZ LES MAMMIFERES

Concentration = fonction du tubule rénal (canal collecteur)

2 facteurs essentiels à la concentration

- Perméabilité du canal collecteur à l'eau dépendant de la sécrétion d'ADH
- Gradient de concentration entre le fluide tubulaire et l'interstitium

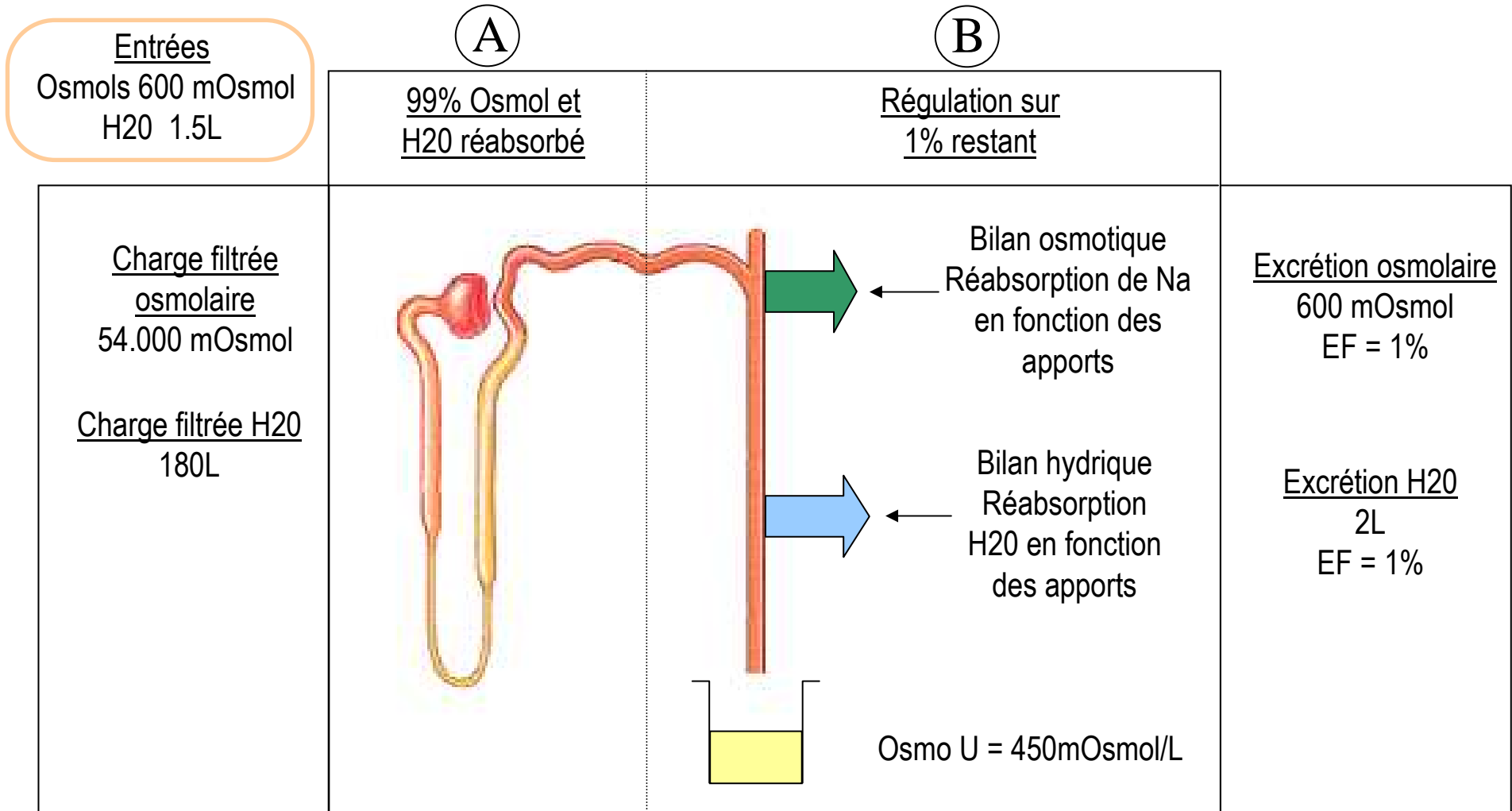
rendu possible par une évolution anatomique tubulaire = anse de Henle (propre aux mammifères et pour certains glomérules aux oiseaux)



# DESCRIPTION SCHEMATIQUE

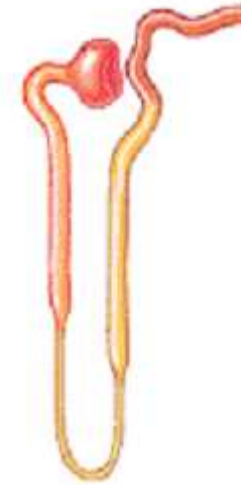
$$\frac{\text{Bilan osmotique (dont Na)} \longrightarrow \text{Nbre Osmol}}{\text{Bilan hydrique} \longrightarrow \text{H2O}} = \text{Osmo U}$$

➔ Le rein module l'osmolarité urinaire pour assurer un bilan nul d'eau et un bilan nul d'osmols

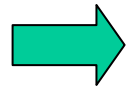


## EVENEMENTS TUBULAIRES INITIAUX

(A)



- Réabsorber la quasi totalité de l'eau et du Sel Filtré
- Créer un gradient de concentration cortico-papillaire
- Délivrer une urine hypotonique au canal collecteur

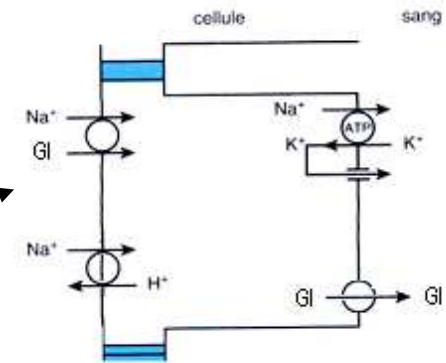
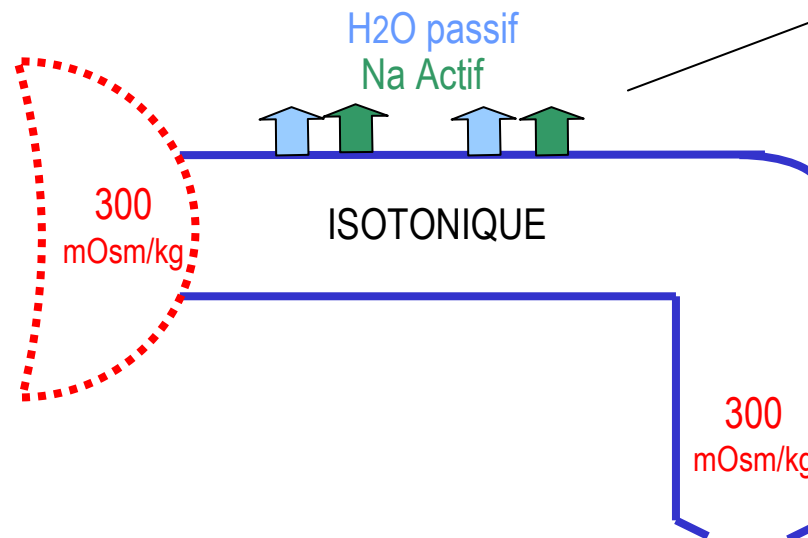


Pas de rôle direct dans l'homéostasie hydro-sodée

Mais indispensable pour que la modulation de l'excrétion hydrosodée dans les parties distales du néphron soit possible

### a- Tube contourné proximal

Réabsorption isotonique  
2/3 Na filtré  
2/3 H<sub>2</sub>O filtrée



# Anse de Henle

Segment de Concentration – Dilution

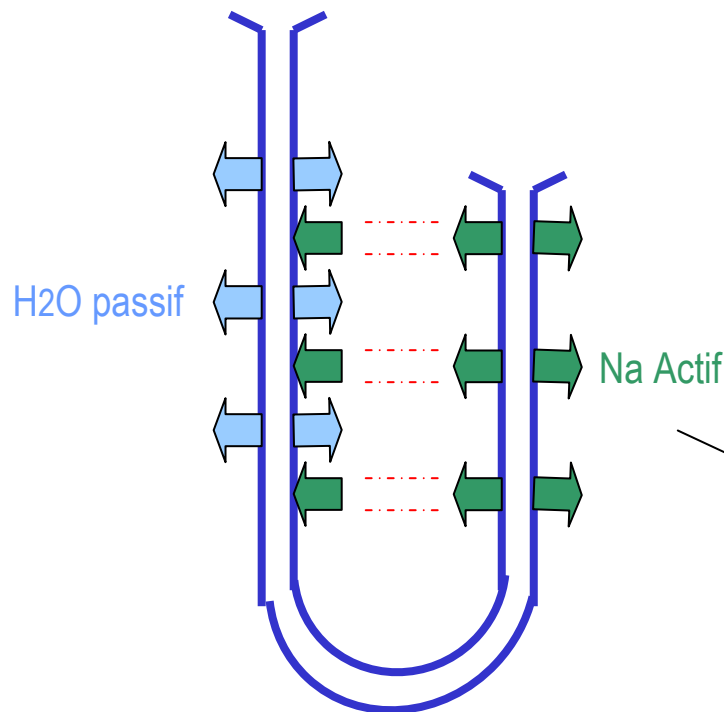
Système multiplicateur à contre courant

Phénomène initial = absorption de Na sans H<sub>2</sub>O par la branche ascendante (Na/K<sub>2</sub>Cl)

Phénomènes secondaires = Absorption d'H<sub>2</sub>O sans Na dans la branche descendante

Mouvement du fluide tubulaire

**H Y P O T O N I Q U E**



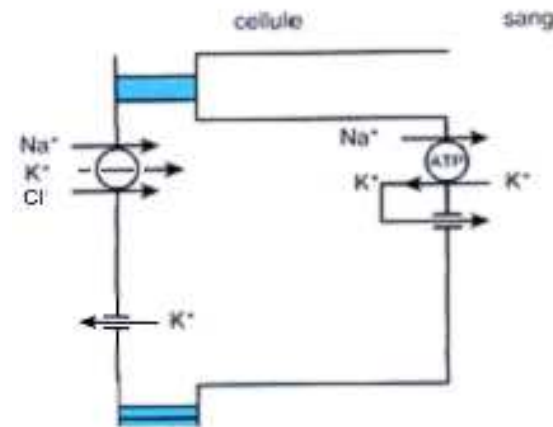
**H Y P E R T O N I Q U E**

Branche descendante

Réabsorption H<sub>2</sub>O seule = Hypotonique

Branche ascendante

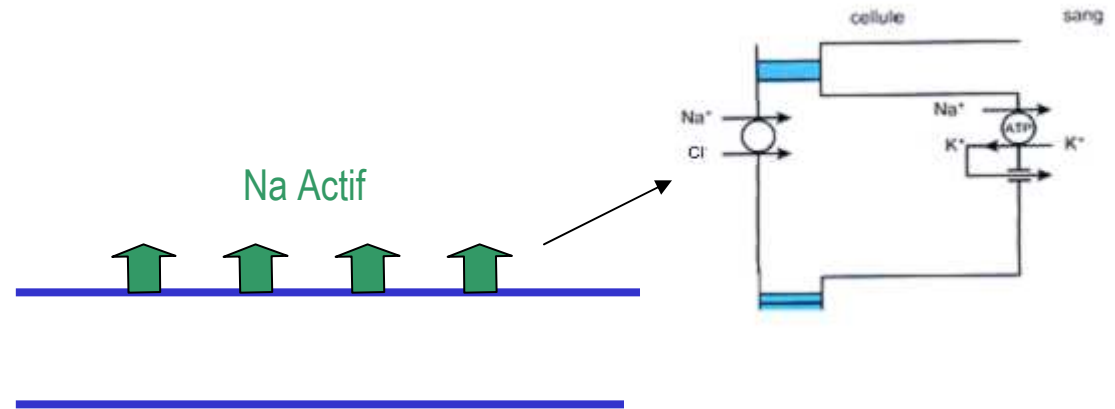
Réabsorption Na seule = Hypertonique





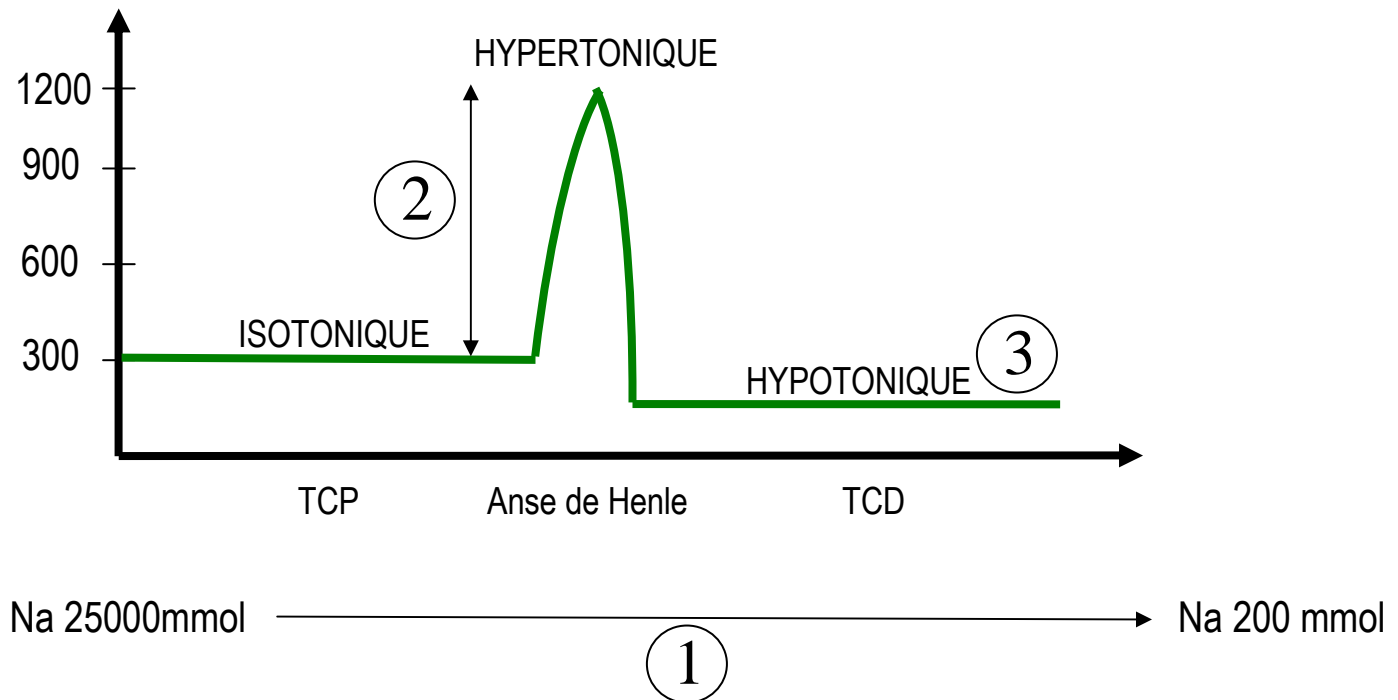
### c- Tube contourné distal

Réabsorption Na et Cl  
Sans H<sub>2</sub>O  
Urines hypotoniques



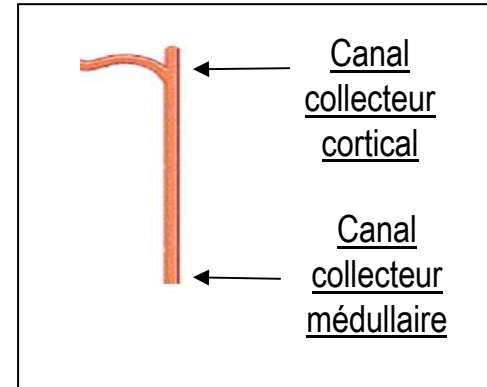
### AU TOTAL

EVOLUTION DE L'OSMOLALITE (U) LE LONG DU NEPHRON  
mOsmol/L



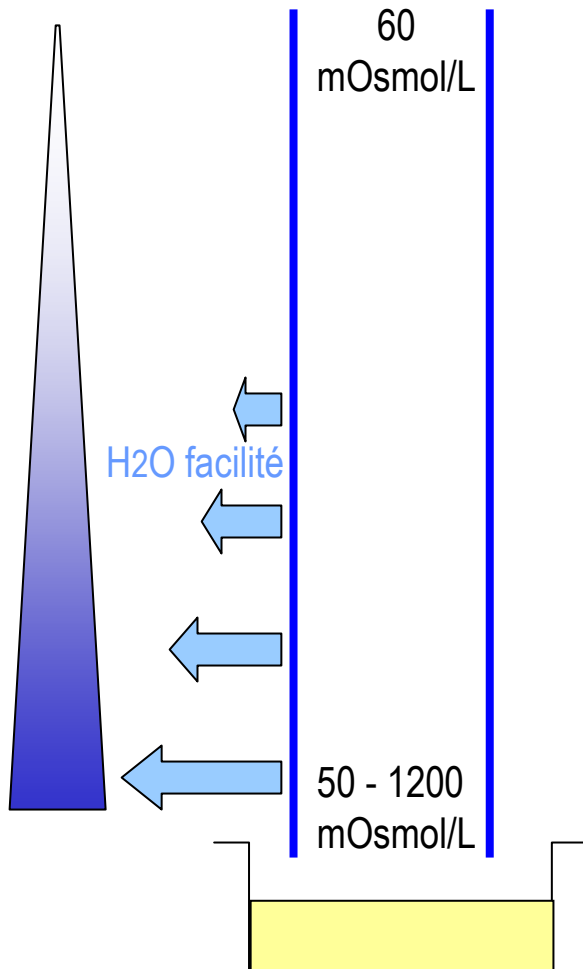
# EVENEMENTS TUBULAIRES TERMINAUX

(B)



## A- Homéostasie hydrique

→ Le long du canal collecteur (Cortical à médullaire)



## Réabsorption d'H<sub>2</sub>O

Selon un gradient osmotique entre la lumière et l'interstitium  
Augmentant du CCC vers le CCM (gradient)

Perméabilité à l'eau sous le contrôle hormonal de l'ADH



Pour qu'il y ait réabsorption d'eau, 2 conditions nécessaires

- Gradient osmotique (Force motrice)

- Epithélium perméable

Présence d'ADH

Sensibilité à l'ADH

# ADH ou Hormone anti-diurétique

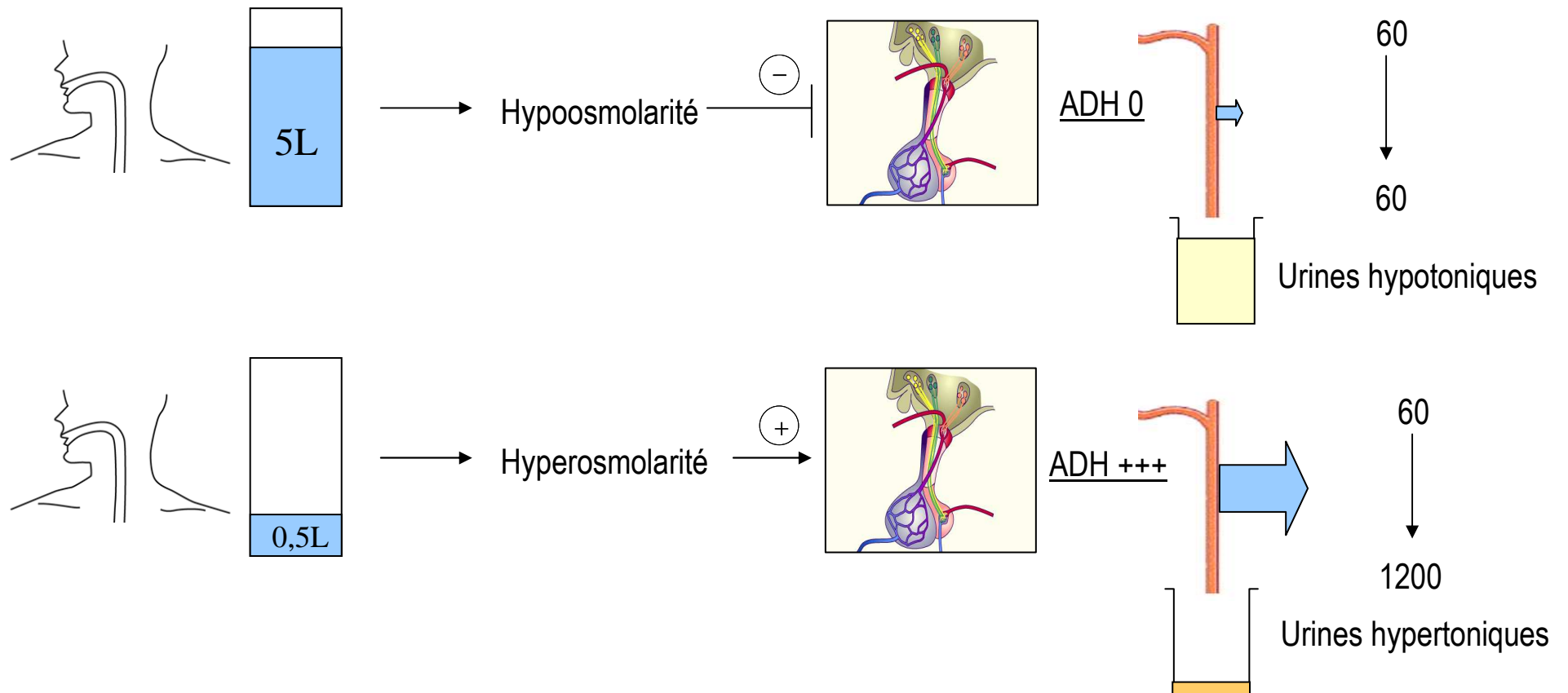
Peptide de 11 AA

Sécrété par l'hypophyse

En réponse aux variations plasmatiques d'osmolarité et de volémie

Rend le canal collecteur perméable à l'eau

## Mise en jeu physiologique



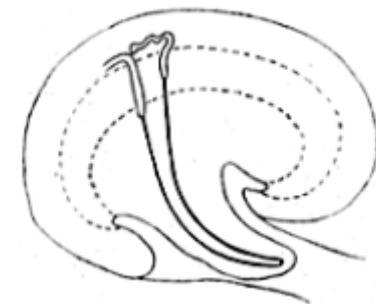
# MECANISMES DE CONCENTRATION DE L'URINE CHEZ LES MAMMIFERES

Pouvoir de concentration directement proportionnel à la longueur de l'anse de Henle

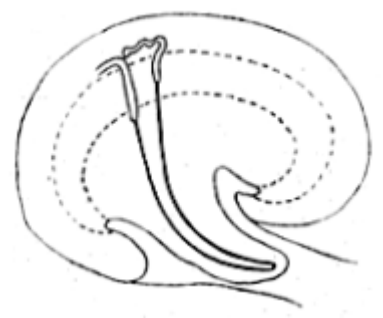
Animal	Urine (mosm/l)	Rapport urine/plasma
Castor	520	1,7
Porc	1100	3,6
Homme	1200	5,0
Rat	3000	10,0
Chat	3100	10,3
Rat Kangourou	5500	18,3
Rat des sables	6300	21,0
Souris sauteuse	9400	31,3



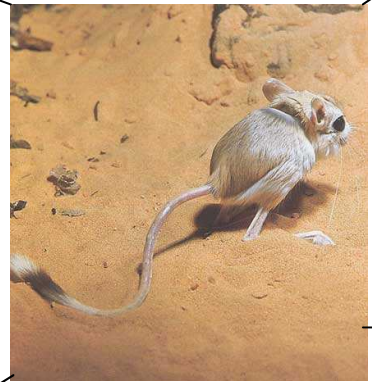
GERBOISE



# GERBOISE: Lutte contre la perte d'eau



Perte d'eau urinaires réduites  
Anses longues  
Urines solides



Perte d'eau respiratoire réduite  
Condensation nasale

Production d'eau métabolique

Perte d'eau cutanées réduites  
Absence de glande sudoripare

Contre-partie = mauvaise tolérance à la chaleur diurne

Besoins eau < eau alimentaire + eau métabolique  
→ Ne boit pas

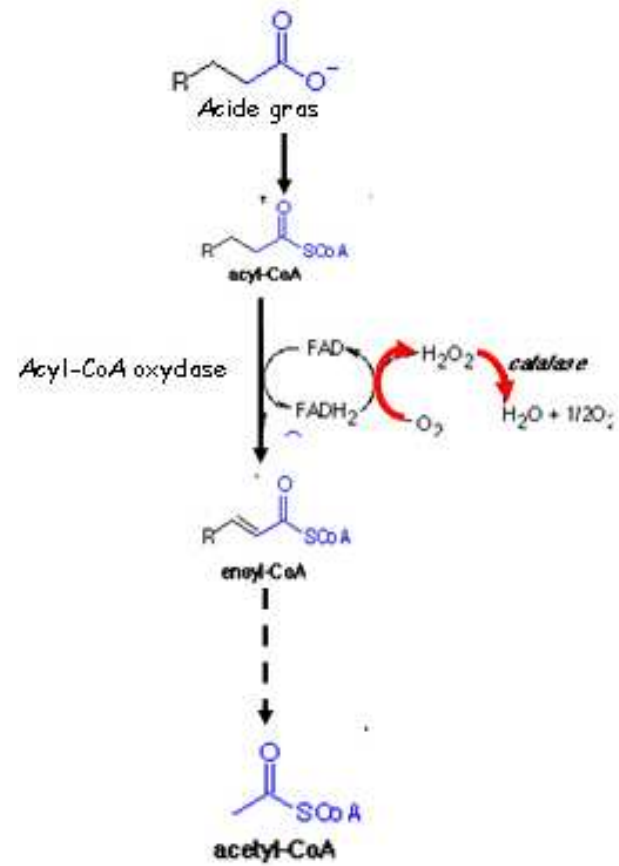
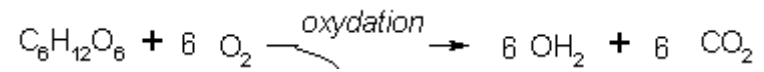
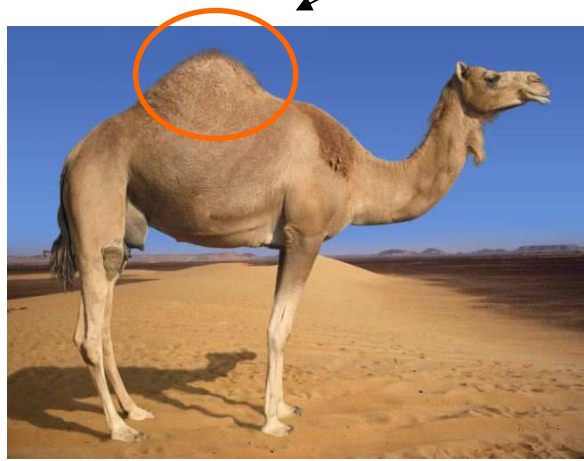
# Production d'eau métabolique

## Production d'eau métabolique pendant l'oxydation des aliments

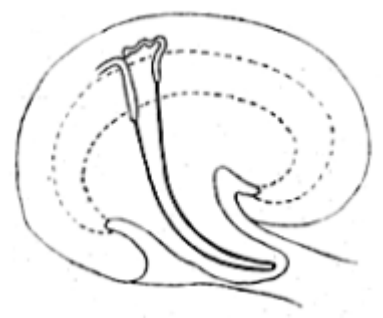
	Aliments		
	Glucides	Lipides	Protéines
Grammes d'eau métabolique par gramme de nourriture	0,56	1,07	0,40
Kilojoules dépensés par gramme de nourriture	17,58	39,94	17,54
Grammes d'eau métabolique par kilojoules dépensés	0,032	0,027	0,023

Source: Edney and Nagy, 1976.

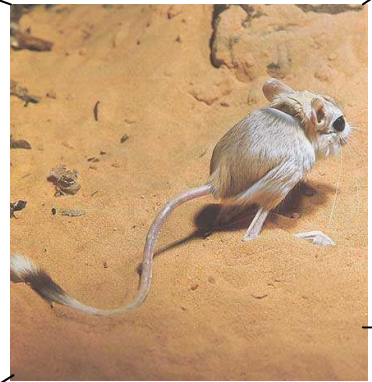
Lipides



# GERBOISE: Lutte contre la perte d'eau



Perte d'eau urinaires réduites  
Anses longues  
Urines solides



Perte d'eau respiratoire réduite  
Condensation nasale

Production d'eau métabolique

Perte d'eau cutanées réduites  
Absence de glande sudoripare

Contre-partie = mauvaise tolérance à la chaleur diurne

Besoins eau < eau alimentaire + eau métabolique  
→ Ne boit pas

## CONCLUSION : L'HOMME

### Organes évolués mais ne permettant pas d'adaptation à tous les milieux

- . Concentration urinaire possible mais inférieure à l'eau de mer
- . Pas de système de sécrétion nette de NaCl autre que le rein
- . Tégument exposé à la perte d'eau
- . Eau métabolique faible et insuffisante compte tenu du pouvoir de concentration du rein humain

Nécessite d'accès à des apports hydroosmolaires à osmolarité faible =L'accès à l'eau libre est indispensable à la vie humaine



