

## Gestion des substances indésirables et à conserver

Excrétion, déchets azotés, contenu en eau

### I. Gestion des substances indésirables dans l'organisme.

Ces substances sont :

- les déchets de la digestion (= la matière non digérée)
- les déchets du métabolisme : CO<sub>2</sub> issu de la respiration, déchets du métabolisme azoté, ...
- les substances exogènes toxiques (= les toxines contenues dans la nourriture)
- les substances en excès : l'eau dans certaines situations, des ions dans certaines situations, et divers autres solutés
- des débris cellulaires, des microorganismes, ...

Toutes ces substances ne doivent pas pouvoir perturber le métabolisme. D'une manière ou d'une autre, tout animal doit donc les empêcher de rester libres dans l'organisme

Il existe deux manières de se débarrasser des substances indésirables :

- soit en les stockant dans des cellules ou des tissus particuliers, d'où elles ne sortent pas (le métabolisme n'est donc pas perturbé) : c'est l'accumulation

- soit en les rejetant à l'extérieur de l'organisme : c'est l'excrétion

Ces deux manières de procéder ne sont pas exclusives : beaucoup d'animaux excrètent une partie de leurs déchets et en accumulent une autre.

Accumulation

- structures qui accumulent les substances indésirables → cellules individuelles dont c'est la fonction principale, (ex : cellules chloragéniques de certains Annélides ou les coelomocytes des Échinodermes)  
→ cellules peuvent s'agglomérer et former des tissus spécialisés,
- cellules peuvent s'agglomérer dans des tissus dont le stockage des substances indésirables est une fonction parmi d'autres

Cellules aggrégation substances indésirables → « rein d'accumulation » (rein = excretion de ces substances)

Les tissus dont le stockage des substances indésirables est une fonction sont parfois appelés des reins d'accumulation

Le stockage des substances indésirables → temporaire OU permanent.

- temporaire → cellules qui accumulent ces substances sont, à un moment ou à un autre, excrétées en dehors de l'animal.
- permanent → les cellules restent à l'intérieur de l'animal jusqu'à sa mort.  
(Ex : chez les Urochordés et les Bryozoaires)

L'excrétion

→ peut être réalisée de trois manières :

1. par simple diffusion à travers le tégument. Cela peut être au niveau de l'ensemble du tégument ou de zones particulièrement perméables
2. par des cellules spécialisées dans l'excrétion, qui agissent individuellement
3. par des organes spécialisés dans l'excrétion. Quand de tels organes existent, ils forment ce qu'on appelle un « appareil excréteur »

→ substances indésirables sont de nature très diverse = diversité de modes d'excrétion

→ déchets de la digestion ne sont habituellement pas traités dans le champ de l'« excretion », car l'appareil digestif n'est pas considéré comme faisant partie de l'appareil excréteur

→ CO<sub>2</sub> n'est donc habituellement pas traité dans le champ de l'« excretion », car l'appareil respiratoire n'est pas considéré comme faisant partie de l'appareil excréteur



→ Une fois l'équilibre atteint, les mouvements de molécules ne s'arrêtent pas pour autant. L'équilibre est en effet dynamique car une molécule libre est toujours en mouvement.

→ La diffusion est un phénomène très lent, efficace seulement à de très courtes distances (~0,5 mm).

- diffusion régit → flux de substances à l'intérieur de l'organisme + flux entre l'intérieur de l'organisme et le milieu extérieur.

Les flux passifs dus à la diffusion peuvent parfaitement être contrôlés par l'animal :

- si une membrane imperméable à la substance empêche celle-ci de se déplacer vers là où elle est la moins concentrée.  
(ex : tégument imperméable à une substance donnée empêche le flux entre l'intérieur de l'organisme et le milieu extérieur)

- si un système de transport actif de la substance est mis en place et est d'une intensité au moins aussi importante que la diffusion passive

**première modalité de l'excrétion**, c'est la diffusion à travers le tégument. → possible qu'en milieu aquatique ou terrestre humide, et se décline de deux manières :

- la diffusion *transtégumentaire*, à travers l'ensemble de la surface de l'animal. (ex : grande majorité des non-Vertébrés aquatiques ou de milieux terrestres très humides excrètent leurs déchets azotés)

- la diffusion localisée, à travers des zones particulièrement perméables du tégument.

(ex : chez beaucoup d'animaux aquatiques et de milieux terrestres très humides)

→ zones particulièrement perméables sont en fait celles qui ont un rôle important dans la respiration.

(→ déchets azotés sont majoritairement excrétés au niveau des branchies chez les animaux qui en ont OU au niveau d'autres structures à fonction respiratoire importante : pharynx des Urochordés, podia des Échinodermes)

**deuxième modalité de l'excrétion**, c'est grâce à des cellules spécialisées qui agissent individuellement.

→ possible qu'en milieu aquatique ou terrestre humide.

Ce n'est pas la modalité la plus fréquente, mais au moins deux exemples sont bien connus :

1. les vacuoles pulsatiles des Porifères dulcicoles, qui rejettent l'eau en excès dans l'organisme

2. les ionocytes des Actinoptérygiens marins, qui sont des cellules localisées au niveau des branchies et qui excrètent les ions en excès dans l'organisme

**troisième modalité de l'excrétion**, c'est grâce à des organes spécialisés (autrement dit un appareil excréteur). Même s'il existe une grande diversité anatomique de ces organes, leur principe fonctionnel est toujours le même :

1. urine primaire obtenue à partir du fluide interne de l'organisme (liquide interstitiel, liquide céloïdique ou pseudocéloïdique, hémolymphe, sang) obtenue par ultrafiltration le + svt + dans certains cas par transport transmembranaire (transport actif, qui entraîne en cascade un transport passif d'autres molécules par diffusion).

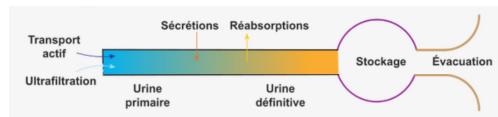
2. urine primaire modifiée par un ensemble de sécrétions et de réabsorptions sélectives, qui ont généralement lieu dans une sorte de tubule plus ou moins complexe.

→ sécrétions sélectives ajoutent à l'urine primaire des substances indésirables qui n'y sont pas + réabsorptions sélectives soustraient à l'urine primaire les substances à conserver dans l'organisme

= formation urine secondaire ou urine définitive.

3. Éventuellement, l'urine définitive peut être stockée dans une structure type vessie (propre à chaque organe excréteur ou commune à plusieurs)

4. l'urine définitive est évacuée de l'organisme (par un orifice propre à chaque organe excréteur, ou par un orifice commun à plusieurs voire de nombreuses structures individuelles).

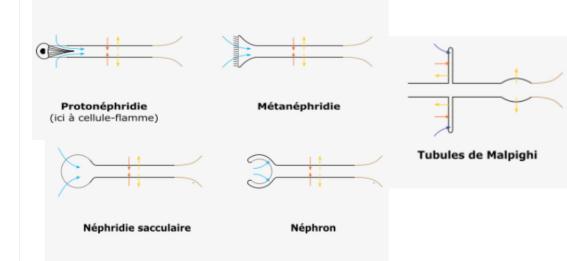


**organes excréteurs** les plus fréquemment rencontrés parmi les animaux sont :

1. les **néphridies** reposant sur l'ultrafiltration et qui varient selon la structure qui réalise cette ultrafiltration : protonéphridies, métanéphridies, néphridies sacculaires

2. les **néphrons** reposant sur l'ultrafiltration et qui sont en général aggrégés en grand nombre pour constituer un rein

3. les **tubules de Malpighi** reposant sur le transport transmembranaire et qui fonctionnent de pair avec l'appareil digestif (ils en sont des diverticules)



## Rétention

Organe excréteur :

rejeter de l'organisme les substances indésirables + retenir dans l'organisme les substances à conserver.

→ Fréquent rétention pas suffisante → complétée par des mécanismes de captage actif des substances dans le milieu extérieur, qui compensent les pertes.

→ 2 grands types de mécanismes de captage actif de substances dans le milieu extérieur :

1. l'ingestion

2. transport actif par des cellules spécialisées.

(ex : dans les branchies des Actinoptérygiens dulcicoles captage actif d'ions dans le milieu extérieur).

## II. Gestion des déchets azotés

Ces déchets proviennent majoritairement du catabolisme des acides aminés, et dans une moindre mesure de celui des nucléotides. Ils sont pour l'essentiel excrétés dans le milieu extérieur, sous l'une des trois formes suivantes (urée et acide urique synthétisé à partir d'ammoniaque) :

	Ammoniaque	Urée	Acide urique
Formule	$\text{NH}_3$	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	$\text{C}_5\text{N}_4\text{H}_4\text{O}_3$
Solubilité dans l'eau	Très élevée	Très élevée	Très faible
Perte en eau nécessaire pour éliminer 1 g d'azote	500 ml	50 ml	1 ml
Toxicité	Élevée	Faible (1 000 fois moins que l'ammoniaque)	Nulle
Énergie nécessaire à la synthèse	Nulle	3 ATP / molécule	5 ATP / molécule

### Ammoniaque (en milieu marin)

→ molécule la moins énergivore à produire. → possible de l'éliminer rapidement par excrétion dans l'eau environnante (donc ses effets toxiques ne se font pas ressentir)  
 → excrétion d'ammoniaque entraîne une perte importante d'eau pas contraignante pour les espèces aquatiques.  
 - maj espèces aquatiques excrètent donc leurs déchets azotés essentiellement sous forme d'ammoniaque.  
 → mode d'excrétion des déchets azotés est appelé **ammoniotélie**

### Acide urique et urée (milieu terrestre)

→ impossible d'excréter rapidement les déchets azotés en milieu terrestre (évacués épisodiquement dans l'urine ou les fèces)  
 → ils doivent être stockés en attendant évacuation  
 → Ammoniaque pas stocké car trop毒ique = excrétion déchets azotés sous forme d'urée ou d'acide urique (demandant coût énergétique supplémentaire pour synthèse) qui peuvent être accumulés sans risque de toxicité → urée pas accumulée en quantité suffisante pour être toxique  
 → excrétion cause des pertes en eau qui sont bien plus faibles que l'excrétion d'ammoniaque (pas possible de compenser perte causée par excrétion ammoniaque)

### Urée

→ moins énergivore à produire mais cause des pertes en eau plus importantes pour son élimination

### Acide urique

→ plus énergivore à produire mais cause des pertes en eau moins importantes (quasiment nulles) pour son élimination

RQ : excrétion mixte de ces molécules théoriquement possible MAIS

**Urétotélie** → excrétion sous forme d'urée (dans l'urine)

**Uricotélie** → sous forme d'acide urique (quasiment solide, dans les fèces), particulièrement fréquente chez les espèces vivant en milieu aride.

### Les Arachnides

→ excrètent leurs déchets azotés essentiellement sous forme de guanine (guanotélie)  
 La guanine a des propriétés proches de l'acide urique :  
 - elle contient plusieurs atomes d'azote (cinq)  
 - elle n'est pas toxique  
 - elle est quasiment insoluble dans l'eau ne causant ainsi quasiment aucune perte d'eau pour son élimination

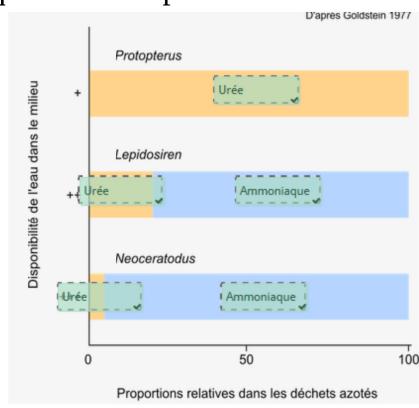
### milieu terrestre humide

→ + le taux d'humidité est important + l'ammoniaque semble intéressant  
 - le taux d'humidité est important + l'urée et l'acide urique semblent intéressants

Ex : -Myriapodes → excrètent à la fois de l'acide urique et de l'ammoniaque.

-Cloportes (isopodes) + crabes (décapodes) → excrétion d'ammoniac (=forme gazeuse de la molécule  $\text{NH}_3$ )

Les Dipneustes sont des Vertébrés aquatiques mais qui respirent à la fois dans l'eau et dans l'air, et qui pour certains vivent dans des milieux qui sont périodiquement complètement asséchés.



## Excrétion des déchets azotés à des échelles plus fines :

- esp aquatiques stade larvaire et terrestres au stade adulte → changement du mode d'excrétion des déchets azotés à la métamorphose :

-l'ammoniotélie → l'uréotélie, ex : Lissamphibiens

- l'ammoniotélie → l'uricotélie (Ex : Insectes comme les libellules).

- esp alternativement immergées et émergées → souvent un changement du mode d'excrétion des déchets azotés :

ex : -bigorneaux, ammoniotéliques à marée haute et uricotéliques à marée basse

-Crocodiliens, plutôt uricotéliques sur terre et plutôt ammoniotéliques dans l'eau

-esp qui accumulent une partie de leurs déchets azotés

→ accumulation se fait généralement sous forme d'urate (= sel d'acide urique) indépendamment du mode d'excrétion des autres déchets azotés.

## Deux exemples chez des Amniotes aquatiques :

1. les *tortues marines* : excrétion sous forme d'urée. (ancêtre des tortues, et même plus généralement l'ancêtre des Diapsides (« reptiles » + Oiseaux), était uricotélique)

2. les *Cétacés* : excrétion sous forme d'urée. (ancêtre Cétacés, et même plus généralement l'ancêtre des Mammifère, était uréotélique)

## III. Gestion du contenu en eau

### EAU

→ l'eau est le constituant majoritaire des tissus vivants, et bon nombre de réactions enzymatiques nécessitent de l'eau (Il faut donc une quantité minimale d'eau dans l'organisme, sans quoi la mort survient)

→ l'eau en excès dans l'organisme endommage gravement les cellules et tissus, pouvant causer la mort (une quantité maximale d'eau à ne pas dépasser dans l'organisme)

Tout animal est donc caractérisé par deux bornes létales en termes de contenu en eau → manière de procéder pour rester entre ces bornes dépend toutefois totalement des contraintes fonctionnelles posées par le milieu de vie

→ Gestion en eau repose sur : différence de concentration osmotique entre le milieu extracellulaire et le milieu extérieur  
+ concentration des différents solutés osmotiquement actifs responsables de ces concentrations osmotiques.

### adaptations possibles contre la dessiccation chez les espèces terrestres de milieu sec

→ celles qui permettent de conserver dans l'organisme l'eau qui s'y trouve :  
- limiter l'évaporation en surface du tégument

1. via l'imperméabilisation du tégument)
2. internalisation des surfaces respiratoires
3. contrôle de l'ouverture des orifices menant à l'appareil respiratoire

- limitation au maximum des pertes d'eau associées aux phénomènes d'excrétion :

1. via une forte capacité de l'appareil excréteur à réabsorber l'eau dans l'urine primaire
2. à produire une urine peu abondante
3. une forte capacité de l'appareil digestif à réabsorber l'eau dans les fèces
4. un métabolisme azoté limitant les pertes d'eau liées à l'excrétion des déchets (uréotélie ou uricotélie)

- capter activement l'eau dans le milieu :

1. boisson et alimentation
2. récupération de la vapeur d'eau atmosphérique en fin de nuit et au petit matin  
- synthétiser de l'eau par des réactions enzymatiques

### L'osmose

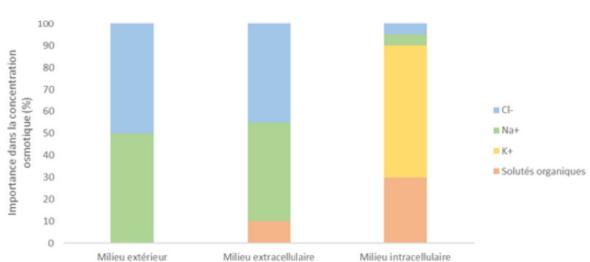
→ phénomène physique qui se met naturellement en place dès que deux compartiments communiquant par une membrane perméable n'ont pas les mêmes concentrations osmotiques.

→ « perméable » = « qui laisse passer l'eau et les solutés osmotiquement actifs ».

→ phénomène passif qui repose sur la diffusion.

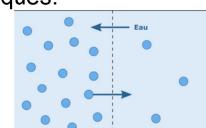
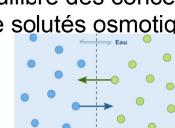
→ L'eau diffuse du compartiment le moins concentré vers le compartiment le plus concentré, et ce jusqu'à équilibre des concentrations osmotiques.

→ il peut y avoir des flux de solutés osmotiquement actifs sans flux d'eau



- concentrations osmotiques milieux extracellulaire = intracellulaire  
-ces concentrations sont soit autour de 300 mOsm/l, soit autour de 1 000 mOsm/l.

-La concentration du milieu extérieur varie elle entre presque 0 et 1 000 mOsm/l.



## Animaux et osmolarité

1. concentration osmotique de l'animal < à celle du milieu extérieur (animal **hypotonique à son milieu**)

= l'animal tend à perdre de l'eau + les sels (ou ions) tendent à s'accumuler dans l'organisme.

2. concentration osmotique de l'animal = [milieu ext](animal **isotonique à son milieu**)

= il n'y a ni perte ni gain d'eau + si les solutés osmotiquement actifs sont identiques et [milieu int animal] = [milieu ext] → il n'y a ni perte ni gains de sels (ou ions) non plus.

Sinon flux de solutés du compartiment le plus concentré vers le moins concentré

3. [osmotique de l'animal] > [milieu extérieur] (animal **hypertonique à son milieu**)

= eau tend à s'accumuler dans l'organisme et les sels (ou ions) tendent à être perdus.

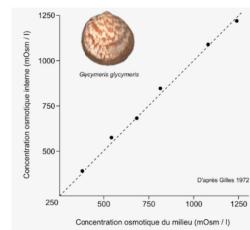
### osmoconformité (une isotonie permanente)

- concentration osmotique interne ne dépend que des phénomènes d'osmose, qui sont passifs, aucune dépense énergétique n'est nécessaire

-MAIS si la concentration osmotique du milieu extérieur devient extrême (trop faible ou trop élevée), le contenu en eau de l'animal peut se trouver au-delà des extrêmes qu'il peut tolérer

En + → pas les mêmes sels ou ions responsables de la concentration osmotique du milieu intérieur et du milieu extérieur = lutte contre des flux de sels (ou ions) qui ont lieu naturellement par diffusion

→ mep transporteurs actifs d'ions qui maintiennent des concentrations en ions différentes à l'intérieur de l'animal par rapport à l'eau environnante = **ionorégulation** (entraîne une dépense énergétique)

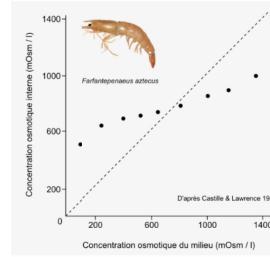


### osmorégulation (hypertonie maintenue activement OU une hypotonie maintenue activement)

→ Globalement, la concentration osmotique interne varie assez peu, sauf aux valeurs extrêmes (où l'osmorégulation est plus difficile).

→ Ceci est un cas particulier d'osmorégulation, dans lequel la concentration osmotique interne est maintenue à peu près constante quelle que soit la concentration osmotique externe = osmorégulation stricte

- l'animal est moins dépendant des conditions environnementales  
- dépense énergétique nécessaire est supérieure = cette dépense énergétique passe toujours par une ionorégulation (tous les osmorégulateurs sont aussi ionorégulateurs) + d'autres mécanismes



### animaux dulcicoles

[osmotique interne] de ces animaux est d'environ 300 mOsm/l

[osmotique de l'eau douce est quasiment nulle : 0-10 mOsm/l]

→ tégument de ces animaux est perméable (sur toute la surface du corps (comme chez les Porifères et les Cnidaires) OU localement (comme chez les Actinoptérygiens))

→ sont tous hypertoniques [osmotique eau douce] aussi faible est incompatible avec la vie = Leur concentration osmotique interne est donc nécessairement > à celle du milieu extérieur.

→ nécessairement tous osmorégulateurs = doivent maintenir activement un état hypertonique par rapport à l'eau environnante.

→ eau est une substance indésirable car elle tend à s'accumuler dans l'organisme par osmose

→ sels (ou ions) sont au contraire des substances à conserver dans l'organisme car ils tendent à être perdus par osmose

### -Adaptations possibles au potentiel trop plein d'eau :

-limiter les entrées d'eau :

1. en buvant très peu voire pas du tout
2. diminuer la perméabilité du tégument

-excréter l'eau en excès :

1.grâce à des vacuoles pulsatiles intracellulaires chez les Porifères

OU à des contractions de la cavité digestive chez les Cnidaires

OU en urinant beaucoup (Protostomiens et Actinoptérygiens)

### -Adaptations possibles ionorégulation :

-limiter les pertes de sels (ou d'ions)

1.en réabsorbant activement les ions dans l'urine primaire pour que le moins possible soient excrétés dans l'urine définitive (= néphridies et néphrons en général très développés)

2. capter activement des ions dans le milieu :

Ex : grâce à des cellules spécialisées qui transportent activement les ions ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  surtout) depuis le milieu extérieur vers l'organisme, qu'on trouve chez les Porifères, les Cnidaires, les Protostomiens et les Actinoptérygiens.

+ chez les « crustacés » et les Actinoptérygiens dulcicoles par exemple, ces cellules sont des ionocytes situés au niveau des branchies

## Animaux marins

L'eau de mer a une concentration osmotique de l'ordre de 1 000 mOsm/l.

→ 2 gpes d'animaux marins:

1 <sup>er</sup> groupe	2 <sup>ème</sup> groupe
<p>-concentration osmotique interne d'environ 1 000 mOsm/l. On en trouve dans les taxons suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tégument perméable, toute surface du corps ou localement           <ul style="list-style-type: none"> <li>→ isotoniques (équilibre entre l'intérieur de l'animal et le milieu extérieur pour ce qui est de l'eau, et en général aussi pour les sels (ou ions))</li> <li>→ osmoconformes</li> </ul> </li> </ul> <p>RQ: concentration osmotique de certains cependant due à des solutés osmotiquement actifs qui ne sont pas les mêmes, ou pas dans les mêmes concentrations, que dans le milieu extérieur.</p> <p><b>Adaptations:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.une limitation des pertes en ions à conserver</li> <li>2. un captage actif de ces ions dans le milieu extérieur</li> <li>3. une excrétion des ions en excès</li> </ol> <p>RQ: la plupart des ces animaux ne sont pas ionorégulateurs (nephrons, néphridies peu développés)</p>	<p>→ concentration osmotique interne est d'environ <b>300 mOsm/l</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-tégument <b>perméable</b> localement (au niveau des surfaces respiratoires, les branchies)</li> <li>- <b>hypotoniques</b> (leur concentration osmotique interne est inférieure à celle du milieu extérieur)</li> <li>- <b>osmorégulateurs</b> (doivent maintenir activement un état hypotonique par rapport à l'eau environnante)</li> <li>-Les sels (ou ions) sont au contraire des substances <b>indésirables</b> dans l'organisme</li> <li>-eau à conserver</li> </ul> <p>→ Les adaptations en termes de gestion de l'eau consistent à :</p> <p style="text-align: center;"><b>limiter les pertes d'eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.en urinant très peu</li> <li>2.diminuant la perméabilité du tégument (les écailles et le mucus qui recouvrent la peau rendent le tégument peu perméable – sauf au niveau des branchies)</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>capter activement l'eau dans le milieu</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. en buvant beaucoup</li> </ol> <p>→ adaptations ionorégulation:</p> <p style="text-align: center;"><b>excréter les ions en excès:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.en produisant une urine très concentrée</li> <li>2. grâce à des cellules spécialisées qui transportent activement les ions (Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> surtout) depuis l'organisme vers le milieu extérieur (ionocytes situés au niveau des branchies)</li> </ol> <p>RQ: les néphrons sont en général bien moins développés que chez les espèces dulcicoles.</p>

## Les euryhalins

- de nombreux Protostomiens et Actinoptérygiens
- = peuvent vivre dans des eaux de salinité très variable
- plus souvent des espèces de milieux marins côtiers ou d'estuaires OU des espèces qui passent une partie de leur vie en eau douce et l'autre en milieu marin (avec possiblement plusieurs passages de l'un à l'autre).
- annélides, crustacés, cyclostomes, actinoptérygiens

3 types de stratégies chez les Protostomiens et Actinoptérygiens euryhalins :

- **l'osmoconformité** quel que soit le milieu (eaux saumâtres et de mer pas possible en eau douce)
- **l'osmorégulation** quel que soit le milieu. (stricte OU restreinte)

RQ : mécanismes de gestion de l'eau et des sels (et ions) s'inversent généralement au passage de l'eau douce à l'eau salée, et vice-versa.

## Animaux secondairement marins

- Amniotes marins (concentration osmotique interne d'environ 300 mOsm/l) hypotoniques et nécessairement osmorégulateurs.
- présentent une différence importante avec les Actinoptérygiens marins : leur tégument est totalement imperméable (ou quasiment)
- ceci s'explique car leurs ancêtres étaient terrestres.
- pas d'accumulation de sels dans l'organisme par osmose
- sels s'accumulent tout de même dans l'organisme avec l'alimentation, qui en est très riche
- Crocodiliens, mammifères, des oiseaux, des chéloniens, des lépidosauriens

-Adaptations pour lutter contre une accumulation de sels :

limiter les entrées de sels :

1. en buvant très peu voire pas du tout
2. excréter les sels en excès : par des glandes spécialisées OU par l'urine

## Les Chondrichthyens

- tégument perméable au niveau des branchies
- espèces marines sont isotoniques à l'eau de mer, avec une concentration osmotique interne d'environ 1 000 mOsm/l (environ la moitié de leur concentration osmotique interne est due à l'accumulation d'urée, un déchet azoté qui se trouve être osmotiquement actif)
- Cette accumulation d'urée à haute dose pose des problèmes de perturbation du métabolisme

*Identifier toutes les contraintes auxquelles les Chondrichthyens marins font face en termes d'eau, d'ions et de déchets azotés, et les adaptations possibles en réponse à ces contraintes*

